ALEKSANDRO STULGINSKIO UNIVERSITETAS
ŽEMĖS ŪKIO INŽINERIJOS FAKULTETAS
Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos institutas

Eglė Miniotaitė

ALKSNIŲ DŽIOVINIMAS AKTYVIĄJA VENTILIACIJA

Magistrantūros studijų baigiamasis darbas

Studijų sritis: Technologijos mokslai
Studijų kryptis: Mechanikos inžinerija
Studijų programa: Biomasės inžinerija

Akademija, 2013

Baigiamųjų darbų ir egzaminų vertinimo komisija:
(Patvirtinta Rektoriaus 2013m. Balandžio 10 d. įsakymu Nr. 101 – Kb)

Pirmininkas: Europos žemės ūkio inžinierių draugijos narys, prof. habil. dr. Bronius Kavolėlis.

Nariai: 1. Žemės ūkio inžinerijos fakulteto prodekanas, Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos instituto doc. dr. Egidijus Zvicevičius
2. Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos instituto prof. dr. Algirdas Jonas Raila
3. Žemės ūkio inžinerijos ir saugos instituto doc. dr. Antanas Sakalauskas
4. UAB "Vižerana" direktorius, inž. Žydrūnas Grencevičius

Mokslinis vadovas doc. Dr. Henrikas Novošinskas, Aleksandro Stulginskio universitetas

Recenzentas doc. Dr. Kęstutis Venslauskas, Aleksandro Stulginskio universitetas

Instituto direktorius doc. Dr. Kęstutis Navickas, Aleksandro Stulginskio universitetas

Oponentas doc. Dr. Mindaugas Martinkus, Aleksandro Stulginskio universitetas

ALEKSANDRO STULGINSKIO UNIVERSITETAS
ŽEMĖS ŪKIO INŽINERIJOS FAKULTETAS
ENERGETIKOS IR BIOTECHNOLOGIJŲ INŽINERIJOS INSTITUTAS

Magistrantūros studijų baigiamasis darbas

Alksnių džiovinimas aktyviąja ventiliacija

Autorius: Eglė Miniotaitė
Vadovas: Doc. Henrikas Novošinskas
Kalba – lietuvių

Darbo apimtis – 47 p.
Lentelių skaičius – 2
Paveikslų skaičius – 28
Naudota informacijos šaltinių – 44
Priedų skaičius – 1

Santrauka

Tikslas. Ištirti alksnių, kaip atsinaujinančių energetinių augalų, džiovinimo procesą.

Objektas. Du skirtingi džiovinimo būdai: konvekcinis ir aukštatemperatūrinis džiovinimas. Smulkinti ir nesmulkinti alksniai.

Lietuvoje ką tik nupjautos medienos drėgnis gali svyruoti nuo 50 % iki 70 % drėgnio. Siekiant išvengti ir apsaugoti medieną nuo mikrobiologinių veiksnių ir savaiminio kaitimo, laikymo procesas turi būti kontroliuojamas ir medieną būtina išdžiovinti iki 8-15% drėgnio.

Pateikto darbo literatūros apžvalgoje išanalizuota miško kirtimo atliekų naudojimo kurui galimybės, bei laikymo ir sandėliavimo parametrai.

Ištirtas dvejopas alksnio kirtimo atliekų džiovinimas, panaudojant skirtingas džiovinimo temperatūras, bei tiekiamus oro filtracijos greičius. Nustatyta, kad džiovinant alksnius aktyviąja ventiliacija džiovinimas yra ekonomiškiausias ir labiausias atitinka natūralias gamtos sąlygas.

Reikšminiai žodžiai: alksniai, džiovinimas, oro filtracijos greitis, aktyvioji ventiliacija.

ALEKSANDRAS STULGINSKIS UNIVERSITY
FACULTY OF AGRICULTURAL ENGINEERING
INSTITUTE OF ENERGY AND BIOTECHNOLOGY ENGINEERING

Master theses

Alder drying by active ventilation

Author: Eglė Miniotaitė
Supervisor: Henrikas Novošinskas
Language: Lithuanian

Pages: - 47 p.
Tables: - 2
Pictures: - 28
Sources of literature: - 44
Annexes: - 1

Summary

Purpose of the study. Investigate alder as a renewable energy crop, drying process.

The object of the work. Two different drying methods: convection and high temperature drying. Alder chips and whole wood.

Lithuania freshly cut wood moisture content can range from 50 % to 70 % moisture. In order to prevent and protect the wood from microbiological factors and self-heating, the storage process has to be controlled and the wood must be dried to a moisture content of 8 – 15 %. Literature of work review analyzed the logging waste for fuel options, and storage parameters. Investigated dual alder cutting waste drying, using different drying temperatures. It was found that drying Alder with active ventilation is the most economical and most natural drying method.

Keywords: alder, drying, air filtration speed, active ventilation

Simbolių aiškinamasis žodynas

A – pelenai %;

C^d – degioji anglis %;

C^n – naudojamoji anglis %;

c_{so} – savitoji sauso oro šiluma J/(kg·K);

G_g – vandens garų kiekis kg;

G_{so} – sauso oro kiekis kg;

h_g – garų entalpija J/kg;

H^n – naudojamasis vandenilis %;

i – ėminio eilės numeris;

M – mineralinės medžiagos %;

m_b – drėgno žaliavos ėminio masė g;

m_s – sausųjų medžiagų kiekis žaliavos ėminyje g;

mv – iš žaliavos ėminio išgarinto vandens kiekis g;

N – ėminių skaičius vnt;

N^d – degusis azotas %;

N^n – naudojamasis azotas %;

O^n – naudojamasis deguonis %;

P – atmosferinis slėgis Pa;

p_g –garų dalinis slėgis Pa;

p_s – sočiųjų vandens garų slėgis, pagal drėgno termometro parodymus Pa;

S – vidutinis kvadratinis nuokrypis %;

S^d – degioji siera %;

S^n – naudojamoji siera %;

t – temperatūra ^{0}C;

t_n – Stjudento koeficientas su n-1 laisvės laipsnių skaičiumi;

v – oro filtracijos greitis m/s;

W – tiriamos žaliavos drėgnis %;

W_i – žaliavos ėminio drėgnis %;

X – oro drėgnis kg/kg;

ΔW – žaliavos drėgnio nustatymo paklaida %;

ρ_g – garų tankis kg/m^3;

ρ_s – sočiųjų vandens garų tankis kg/m^3;

φ – santykinis oro drėgnis %.

TURINYS

ĮVADAS.....7
1. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ ANALIZĖ.....8
1.1 Medienos naudojimo perspektyvos Lietuvoje.....8
1.2 Medienos kuras ir jo klasifikacija.....11
1.3 Drėgno oro parametrai, jų įtaka džiovinimo procesams.....17
1.5 Oro drėgnumas ir jo absorbavimo galimybės.....18
1.6 Drėgmės kitimo modelis.....19
1.6 Medienos skiedrų džiovinimas bei sandėliavimas.....20
1.7 Alksnių auginimo ir naudojimo kurui poveikis gamtai.....23
1.8 Pagrindiniai skaičiai ir faktai įrodantys alksnių naudą biokuro gamyboje.....24
1.9 Literatūros skyriaus apžvalga.....25
2. TYRIMŲ TIKSLAS IR UŽDAVINIAI.....26
3. TYRIMŲ METODIKA.....27
3.1 Eksperimentinių tyrimų metodika.....27
4. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS.....37
4.1 Susmulkintų alksnių džiovinimas konvekciniu būdu tyrimas.....32
4.2 Aukštatemperatūrinis nesmulkintų alksnių džiovinimo tyrimas.....35
IŠVADOS.....42
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....43
MOKSLINIO DARBO APROBACIJA.....46
PRIEDAI.....47

ĮVADAS

Sparčiai daugėjant Žemės gyventojų, tęsiantis pasaulio industrializavimo procesui, vis daugiau suvartojama energijos. Tuo tarpu mineralinių žaliavų ir energijos išteklių atsargos mažėja. Jau keletą dešimtmečių tęsiasi diskusijos dėl būtinybės mažinti organinio kuro naudojimo apimtis. Gamtinių dujų atsargų mažėjimo ir kuro kainų augimo tendencija skatina ieškoti būdų, kaip racionaliai patenkinti augančius pasaulio energijos poreikius, plačiau naudojant atsinaujinančius energijos išteklius ir ateities energetikos technologijas [1].

Lietuvoje šiuo metu plačiausiai naudojamas įvairių rūšių medienos kuras. Tai lemia daugelis priežasčių: nemažos medienos kuro atsargos, nedidelė šio kuro kaina, santykinai nebrangios technologijos energijai iš medienos kuro gauti. Be to, naujos medienos kuro deginimo technologijos leidžia sumažinti kartu su degimo produktais išmetamų teršalų kiekius [2]. Praktikoje ruošiant biokurą galimi du technologiniai variantai:

- nukirsta mediena, arba miško ruošos atliekos, džiovinamos miško sandėlių aikštelėse;
- nukirsta mediena smulkinama iš karto ir džiovinamos skiedros.

Vienas iš potencialių miško kuro šaltinių yra kirtimo atliekos, kurių kasmet Lietuvoje galima panaudoti kurui apie 0,8 mln.m^3 [3]. Kirtimo atliekas sudaro medžių viršūnės, smulkūs stiebai, kelmai, šakos [4]. Ką tik nukirstos medienos drėgnis gali svyruoti nuo 50 – 60 %, o lauko sąlygomis laikomos medienos pusiausvyrasis drėgnis yra sąlyginai didelis 25 - 30 % [5]. Siekiant išvengti ir apsaugoti medieną nuo mikrobiologinių veiksnių ir savaiminio medienos kaitimo, laikymo procesas turi būti kontroliuojamas [6]. Medienos deginimas geriausias, kai ji išdžiovinta iki 8 – 15 % drėgnio.

Džiovinimas - tai procesas, kurio metu iš kietos medžiagos pašalinama drėgmė. Ekonominiu ir techniniu atžvilgiu ypač efektyvus yra džiovinimas, panaudojant aktyviąja ventiliaciją. Aktyvioji ventiliacija nuo kitų džiovinimo būdų skiriasi tuo, kad čia medžiaga džiovinama storame nejudančiame sluoksnyje, mažai pašildant orą, arba visai nešildant. Naudojamas džiovinimui oras prapučiamas per džiovinamą medžiagą. Prapučiamo oro kryptis paprastai būna vertikali iš apačios į viršų, rečiau radikali iš centro į išorę [7]. Ventiliaciją galima atlikti mechaninėmis priemonėmis (ventiliatoriais), bei natūraliu būdu: panaudojant vėjo energiją, arba natūralią ventiliaciją dėl temperatūrų, bei oro tankio skirtumų.

1. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ ANALIZĖ

1.1 Medienos naudojimo perspektyvos Lietuvoje

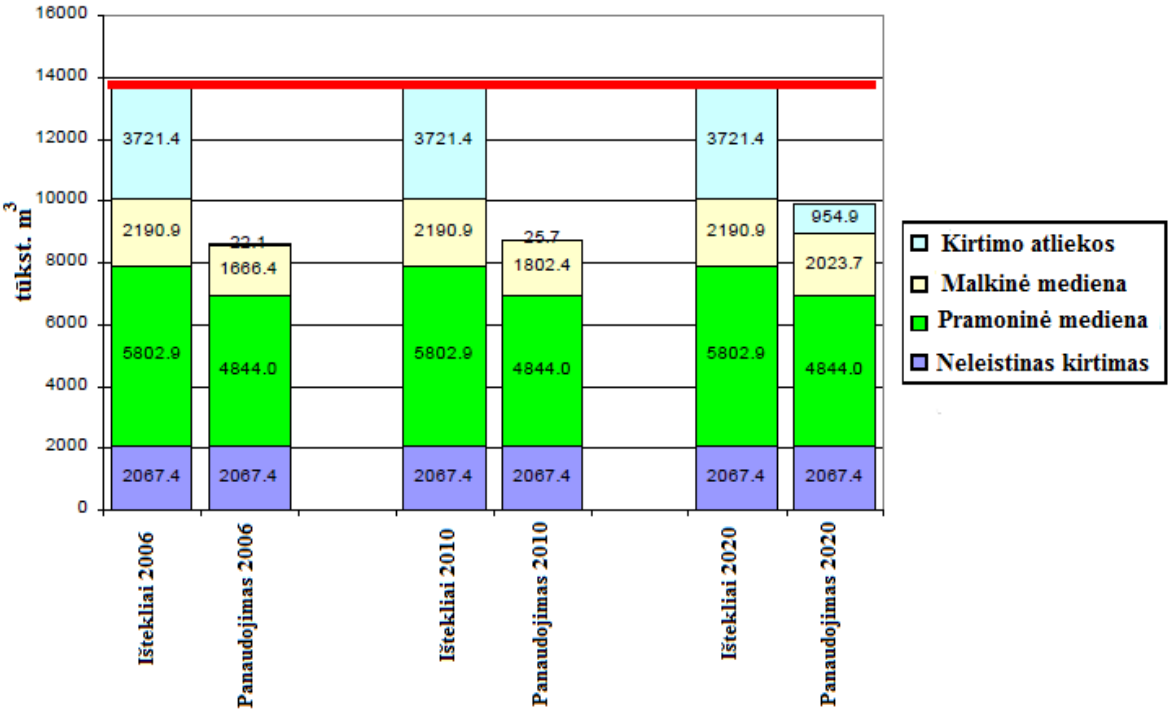
Lietuvos miškai turi labai didelę ekonominę, energetinę, ekologinę ir socialinę reikšmę. Todėl labai svarbu nustatyti, kiek, kur ir kada galima kirsti medžius, kokiais būdais atkurti iškirstus medynus, kokiomis priemonėmis išsaugoti miškus ateinančioms kartoms, kaip galima padidinti esamų medynų našumą ir pan. Atskiros biomasės rūšys gali būti naudojamos šilumos, elektros, degalų ir dujinio kuro gamybai. Biomasės ištekliai apima ne tik žemės ir miškų ūkio produkciją, bet ir jos dorojimo ir perdirbimo atliekas. Pagal formą kietasis biomasės kuras gali būti malkų, kapotinės bei drožlių, pjuvenų, ryšulių, briketų, granulių bei miltų pavidalo.

Valstybinės miškų apskaitos duomenimis, 2009 m. sausio 1 d. miško žemės plotas buvo 2150,3 tūkst. ha ir užėmė 32,9 % šalies teritorijos [8]. Nuo 2001 m. sausio 1 d. šis plotas padidėjo 130 tūkst. hektarų, o šalies miškingumas – 2 %. Miško žemės plotas didėjo pelkių ir žemės, nenaudojamos žemės ūkiui, sąskaita. Bendras medienos tūris 2009 m. sausio 1 d. buvo 426,9 mln.m^3. Brandžių medynų plotams padidėjus iki 358 tūkst. ha, juose sukauptas medienos tūris šiuo laikotarpiu išaugo iki 94,6 mln.m^3. Vidutinis medynų amžius išliko 53 metai. Metinis medienos tūrio prieaugis išaugo iki 13,8 mln.m^3, vidutinis einamasis metinis medienos tūrio prieaugis sudarė 6,8 m^3/ha.

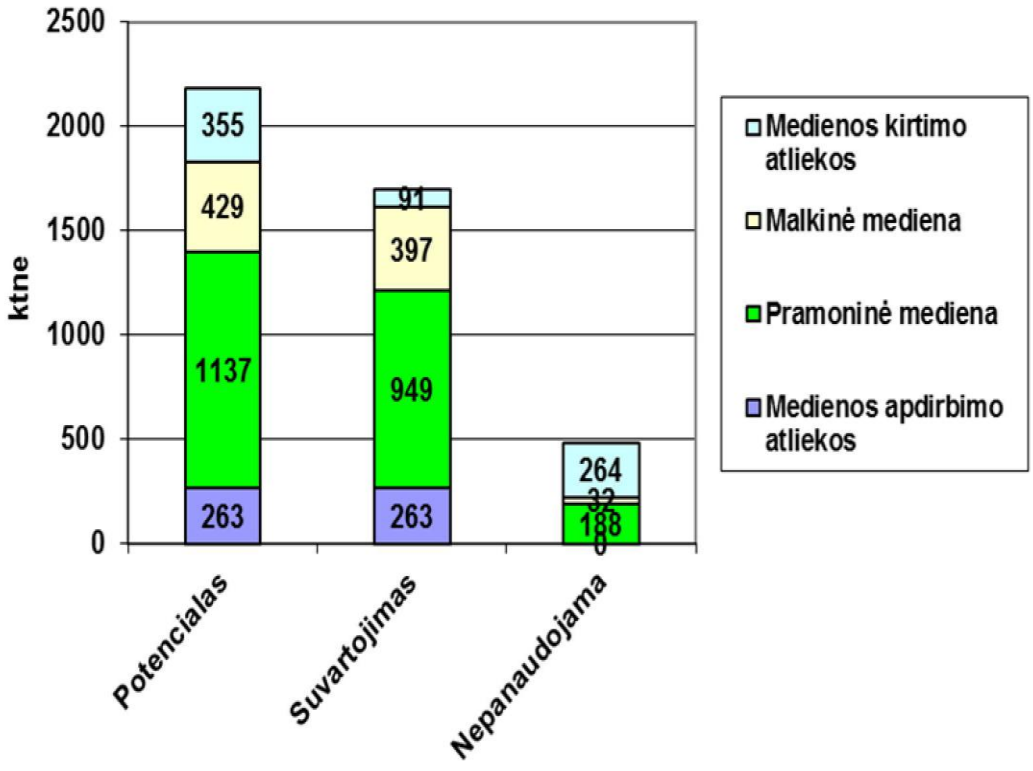
Europos Sąjungos (ES) šalyse numatoma energetinės biomasės apimtį iki 2020 m. padidinti 3 – 3,5 karto, o 2030 m. 3,5 - 4,5 karto. Prognozuojama, kad ES atsinaujinančios energijos vartojimas 2020 m. sudarys 20 % viso vidaus vartojimo (2010 m. – 12 %), o energetinės biomasės indėlis sudarys apie 13 % viso vidaus vartojimo (65 % visos atsinaujinančios energijos) [9].

Dabartiniu metu Lietuvoje iškertama iki 7 mln. m^3 medienos [10]. Šalies namų ūkiui sunaudojama apie 62 PJ energijos [11]. Kai tuo tarpu kaime gyvena apie 31,8 % visų šalies gyventojų [12].

Lietuvos energetikos institute buvo nustatytas galimas medienos kuro potencialas ir jo panaudojimo racionalios apimtys 2020 m [13]. Duomenys pateikti 1.1 pav. ir 1.2 pav.



1.1 pav. Medienos prieaugio panaudojimo galimybės [13].



1.2 pav. Energetinėms reikmėms tinkamos medienos potencialas ir jo panaudojimas 2020 metais [13].

Lietuvos biomasės energetikos asociacijos LITBIOMA duomenimis, prognozuojama, kad energetinėms reikmėms panaudojamų medienos išteklių apimtys 2025 m. padidės iki 5,9 mln.m^3 [14].

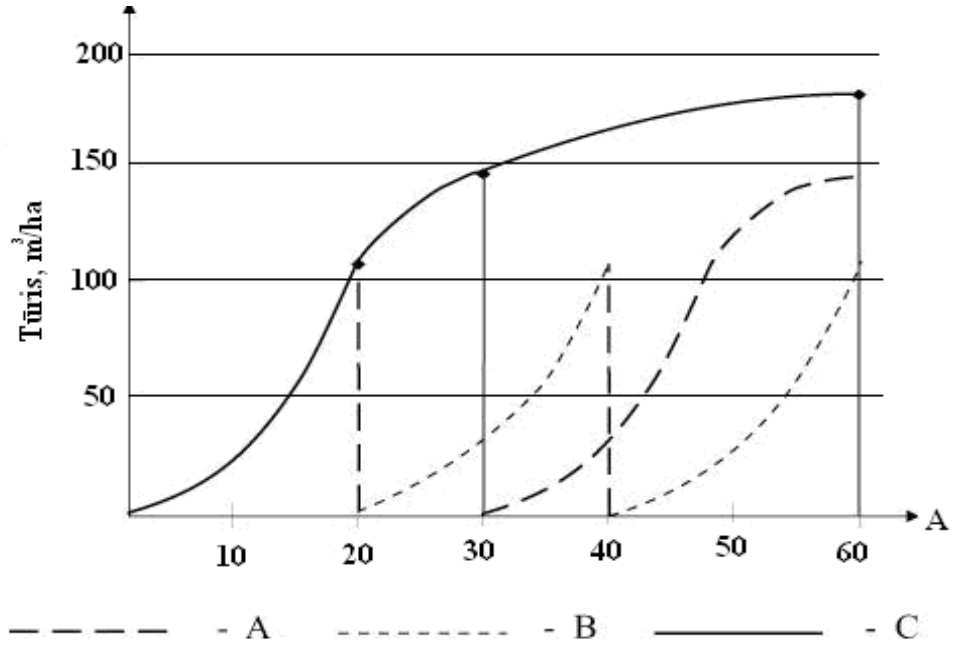
1.1 lentelė. Medienos kuro išteklių prognozė 2010-2025 m., tūkst. m^3

Medienos kuro išteklius	***2010***	***2025***
Malkinė mediena	2664	3218
Medienos pramonės atliekos	1578	1627
Kirtimo atliekos	882	1085
Viso	***5124***	***5930***

A. Jasinskas ir M. Nakčiūnas teigia, kad vienas iš svarbiausių atsinaujinančios energijos šaltinių yra energetinėms reikmėms naudojama augaline biomase [15]. Augalinės energetinės biomasės ištekliai gali būti papildyti specialiai auginamais augalais - greitai augančiais medžiais ir krūmais (sumedėjusiais augalais), įvairiomis tradicinėmis pašarui naudojamomis aukštaūgėmis daugiametėmis žolėmis bei stambiastiebiais netradiciniais žoliniais augalais (nesumedėjusiais augalais).

Lietuvoje yra didelės perspektyvos auginti biomasę energetiniams poreikiams, nes yra daug nenaudojamų žemių. Nepalankių ūkininkavimui dirvų plotas Lietuvoje sudaro apie 19 % žemės ūkio naudmenų. Šiose žemėse galėtų būti auginami įvairūs energetiniai augalai. Vieni iš jų gali būti alksniai (Alnus glutinosa). Valstybinė miškotvarkos tarnyba nurodo, kad 2009 m. pradžioje baltalksnynų plotas užėmė 130,6 tūkst. ha. Šiuose medynuose mediena buvo kaupiama sparčiausiai, medienos tūris siekė 20,2 mln.m^3.

Alksniai pasižymi gera atžaline galia. Šių rūšių medžiai ne tik duoda daug kelmų, atžalų, šaknų ataugų, paskleidžia didelį kiekį sėklų, bet ir greitai auga, ypač jaunystėje.



1.3 pav. Baltalksnynų augimo eiga, taikant įvairius kirtimų amžius: **A** – kertant perbrendusius 60 metų medynus (bendras iškertamos medienos tūris - 170 m^3/ha); **B** – taikant dabartiniu metu egzistuojantį kirtimo amžių (bendras iškertamos medienos tūris – 140+140 = 280 m^3/ha); **C** – taikant naujai siūlomą kirtimo amžių (bendras iškertamos medienos tūris – 150+150+150= 345 m^3/ha).

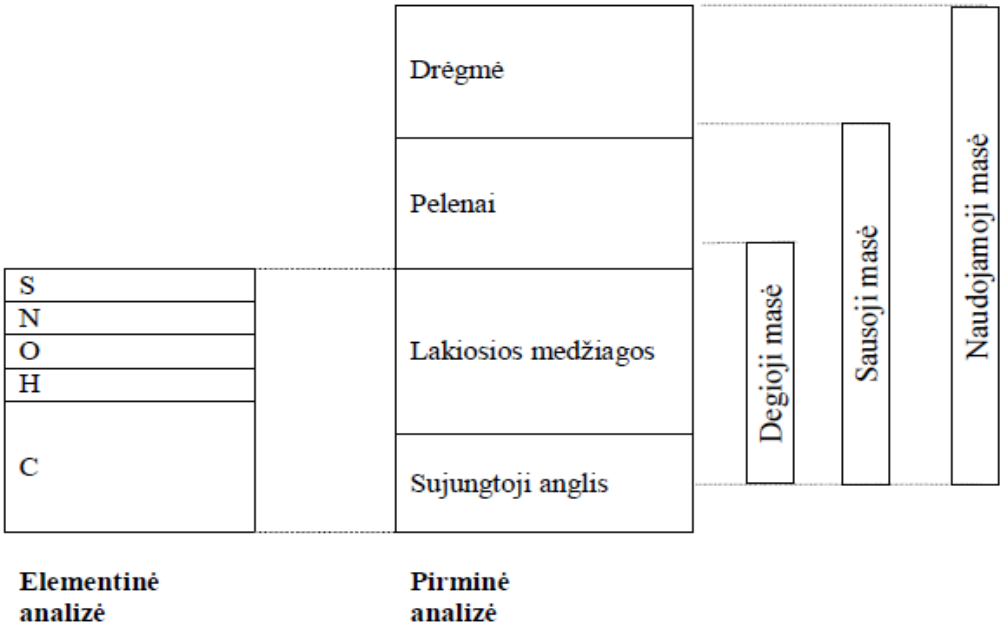
Kertant perbrendusius baltalksnynus (kirtimo amžius 60 m.) pagrindiniais kirtimais per apyvartą iš vieno hektaro gauname 170 m^3 medienos. Kertant prisilaikant dabartinių kirtimo amžių, taikomų valstybiniuose miškuose (30 m.), gauname 280 m^3 medienos Taikant naujai siūlomus kirtimo amžius - 345 m^3 medienos (trys kirtimo apyvartos po 115 m^3).

1.2 Medienos kuras ir jo klasifikacija

Sunku pasakyti, kaip pirmykštis žmogus pirmąkart įsižiebė ugnį ir kaip ją saugojo savo oloje, tačiau, be abejonės, tai buvo susiję su mediena ir mišku. Sumedėjusius augalus žmogus nuo seno naudojo kurui ir savo būsto šildymui. Netgi dabar beveik pusė pasaulio miškuose iškertamos medienos sunaudojama kurui [7]. Augalinės biomasės kuru vadinamos medžiagos, kurias techniškai ir ekonomiškai apsimoka deginti, kai reikia gauti didelius šilumos kiekius. Biomasė susidaro fotosintezės proceso metu, kai augalai, absorbuodami saulės spindulių energiją, iš atmosferoje esančio anglies dvideginio ir dirvoje esančio vandens, susintetina monosacharidus. Tolesniame sintezės procese iš monosacharidų susidaro pagrindiniai biomasės komponentai – celiuliozė, hemiceliuliozė, ligninas ir nedidelis kiekis dervų, tanidų, mineralinių ir kitų medžiagų. Įvairių medienos rūšių cheminė sudėtis šiek tiek skiriasi. Ji priklauso ne tik nuo medžių rūšies, bet ir nuo dirvožemio, klimato ir kitų veiksnių. Absoliučiai sausoje medienoje yra apie 50 % anglies, 43 % deguonies, 6 % vandenilio, 1 % azoto ir mineralinių medžiagų. Apie 90-

98 % absoliučiai sausos medienos masės sudaro ląstelių sienelės, į kurių sudėtį įeina celiuliozė (46 – 50 %), ligninas (20 – 30 %), hemiceliuliozė (23 – 35 %) – pentozanai ir heksozanai. Likusią dalį (5 – 10 %) sudaro ląstelių tuštumose esančios ir lengvai pašalinamos medžiagos: dervos, rauginės (tanidai), mineralinės ir kitos medžiagos [16,17]. Pagal fizinį būvį kuras gali būti kietasis, skystasis ir dujinis. Kietojo biokuro degieji elementai yra anglis (C), vandenilis (H) ir siera (S). Su šiais elementais jungiasi deguonis (O) ir azotas (N), sudarydami kuro vidinį balastą. Kure taip pat yra drėgmės (M) ir mineralinių medžiagų, kurios sudegus kurui, virsta pelenais (A).

Remiantis V. Miškinio 2011 metų kietojo biokuro apskaitos ataskaita, kietojo biokuro sudėtį galime pavaizduoti taip [1]:



1.4 pav. Kietojo biokuro sudėtis.

A. Raila ir K. Navickas teigia, kad kuras, koks jis patenka vartotojui, vadinamas naudojamuoju kuru, o jo masė – naudojamąja mase. Iš kuro pašalinus drėgmę lieka sausoji masė. Sudeginus sausąją kuro masę lieka pelenai [18].

Kuro naudojamosios masės cheminę sudėtį galima išreikšti taip [18]:

$$C^n + H^n + S^n + O^n + N^n + A^n + M^n = 100\% \quad (1.1)$$

Kuro degiosios masės cheminė sudėtis, pašalinus drėgmę ir pelenus, užrašoma taip:

$$C^d + H^d + S^d + O^d + N^d = 100\%. \quad (1.2)$$

Medienos atliekas ir kitas kietojo biokuro rūšis naudojant energijai gaminti labai svarbu patikimai nustatyti jų šilumingumą, kure esantį drėgmės kiekį ir peleningumą [1].

- ***Kuro šilumingumas***.

Kietojo biokuro šilumingumas priklauso nuo jo cheminės sudėties, t.y. nuo celiuliozės, hemiceliuliozės, lignino ir kitų medžiagų tarpusavio santykio. Būtina skirti dvi kuro šilumingumo reikšmes – aukštutinę naudojamosios masės degimo šilumą ir žemutinę degimo šilumą. Aukštutinė degimo šiluma apskaičiuojama įvertinant šilumos kiekį, kuris išsiskiria kondensuojantis degimo produktuose esantiems vandens garams (išsiskyrusiems dėl medienos drėgnumo ir susidariusiems degant vandeniliui). Įprastiniuose katiluose kondensavimosi šiluma prarandama, kadangi degimo produktai patenka į dūmtraukį, esant aukštesnei nei 100°C temperatūrai. Todėl biokuro naudojamosios masės, deginamos tokiuose katiluose, šilumingumui apibūdinti naudojamas žemutinės degimo šilumos rodiklis.

- ***Kuro drėgnis.***

Drėgnis – tai vandens kiekis kure. Biokuras, ypač mediena gerai sugeria vandenį. Drėgmė biokure gali kisti plačiose ribose nuo 0 iki 70 % kuro naudojamosios masės. Esant dideliam drėgnumui, kurą sunkiau uždegti, mažesnis jo šilumingumas, nes kure esančiam vandens kiekiui išgarinti suvartojama dalis degimo metu išsiskyrusios šilumos. Deginant drėgną kurą, žemėja kūryklos temperatūra, blogėja šilumos mainai. Todėl vienas iš svarbiausių kietojo biokuro kokybės parametrų yra jame esantis drėgmės kiekis. Kuro drėgnumas paprastai charakterizuojamas santykine drėgme, t.y. drėgmės kiekiu išreikštu procentais nuo kuro naudojamosios masės.

- ***Kuro peleningumas.***

Biokuro peleningumo nustatymo metodą apibrėžia standartas LST CEN/TS 14775. Šiame standarte pagrindinė apibrėžtis – sausos medžiagos peleningumas, t.y. neorganinio likučio po kuro sudeginimo nustatytomis sąlygomis masė, išreikšta kuro sausosios medžiagos masės procentais [19].

2006 m. R. Ozolinčius ir kt. paskelbė straipsnį „Energetinė miškininkystė. Kokia jos ateitis Lietuvoje?“, kuriame teigia, kad kuro peleningumas priklauso nuo mineralinių medžiagų, esančių kuro masėje arba patenkančių į kurą jį ruošiant. Vadinasi iš sausosios kuro masės pašalinus pelenus gausime degiąją kuro masę, kuri gali būti vadinama ir sausąja bepelenine baze [9].

Sumedėjusių augalų naudojimą energetinėms reikmėms, lyginant su žoliniais, skatina šios priežastys:

1. Jie yra daugiamečiai (auginant energetikai, jų nereikia kiekvienais metais iš naujo sėti);

2. Pakankamai produktyvūs (hektaras našaus miško kasmet produkuoja 7-12 tonų sausos biomasės);
3. Kai kurios rūšys gerai atželia savaime (tokių miškų nereikia sodinti);
4. Mediena pasižymi gera energetine verte (degios medžiagos – vandenilis ir anglis – sudaro 54-58 % sausos masės);
5. Medieną patogu transportuoti ir laikyti (sandėliuoti), jos kuras pasižymi geru energijos balansu, t.y. santykiu tarp iš kuro gautos energijos ir energijos, sunaudotos auginimui, derliaus nuėmimui bei transportavimui (pavyzdžiui, šis santykis, naudojant energetiniams tikslams skiedrą, gautą iš miško kirtimo atliekų, yra 3 kartus didesnis nei naudojant rugius ar pievų žolę).

Medieną, naudojamą kurui, buvo įprasta vadinti malkomis. Tačiau pastaruoju metu vis plačiau naudojamas terminas „medienos kuras“ ir „miško kuras“. Sąvoka „medienos kuras“ yra žymiai platesnė. Ji apima naudotos medienos kurą, kurą iš energetinių plantacijų ir miško kurą. Naudotos medienos kuras skirstomas į medieną, naudotą pakavimui, statybos atliekas ir kt.

Miško kuras (gaunamas įprasto, tradicinio miškininkavimo metu) skirstomas į kirtimo atliekas (kelmas, padarinės medienos žievė, pjuvenos, užlaidos, šakos), nepadarinę medieną, t.y. malkas (liemens viršūnė, stambios šakos, nekokybiška liemens dalis, pažeista medieną pūdančių grybų, vabzdžių ir kt., bei medžiai, iš kurių priekelminės dalies negali būti gautas ilgesnis kaip 2,0 metrų ilgio padarinis rąstas) ir miško pramonės atliekas (pjuvenos, skiedros, drožlės).

Vienas pagrindinių medienos energetikai šaltinių Lietuvoje – malkinė mediena bei kirtimo atliekos (šakos, viršūnės, žievė, ir kt.) [7].

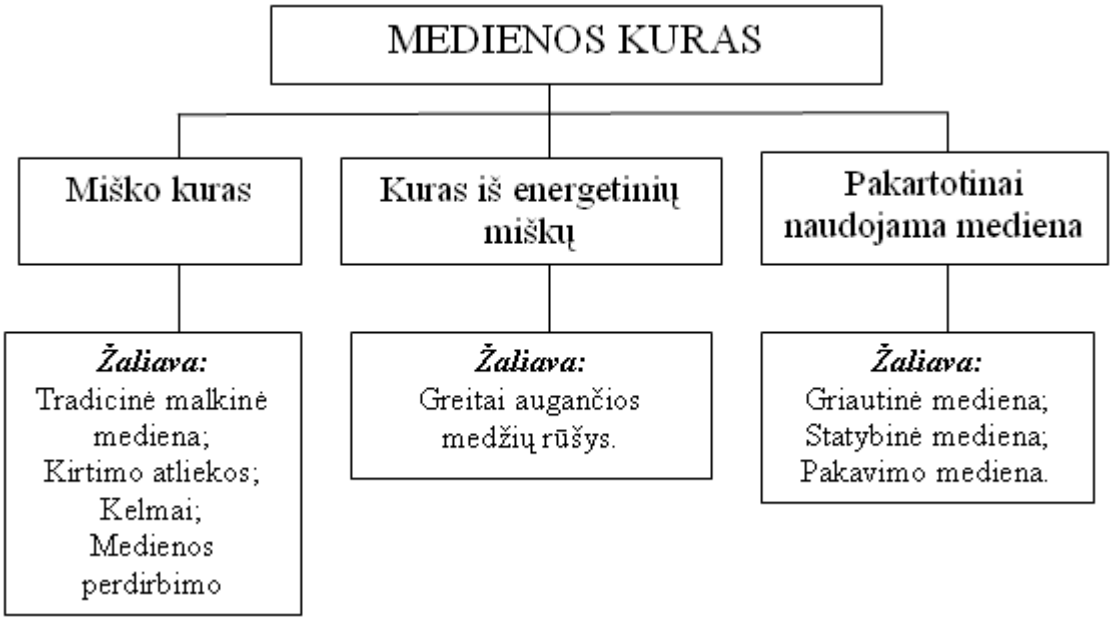
2009 m. A. Gedminas ir kt. parašė straipsnį „Kaip ir kokie miškai auginami malkoms, arba energetinė miškininkystė“, kuriame skelbė, kad kietojo biokuro klasifikacija pradedama nuo kuro kilmės nustatymo, pagal tai biokuras yra skirstomas į:

- medienos biomasę;
- žolinę biomasę;
- vaisinę biomasę;
- biokuro darinius ir biokurą su priedais [20].

Baltijos jūros šalyse labiausiai naudojamas medienos biokuras ir tik kai kurios žolinio biokuro rūšys [21].

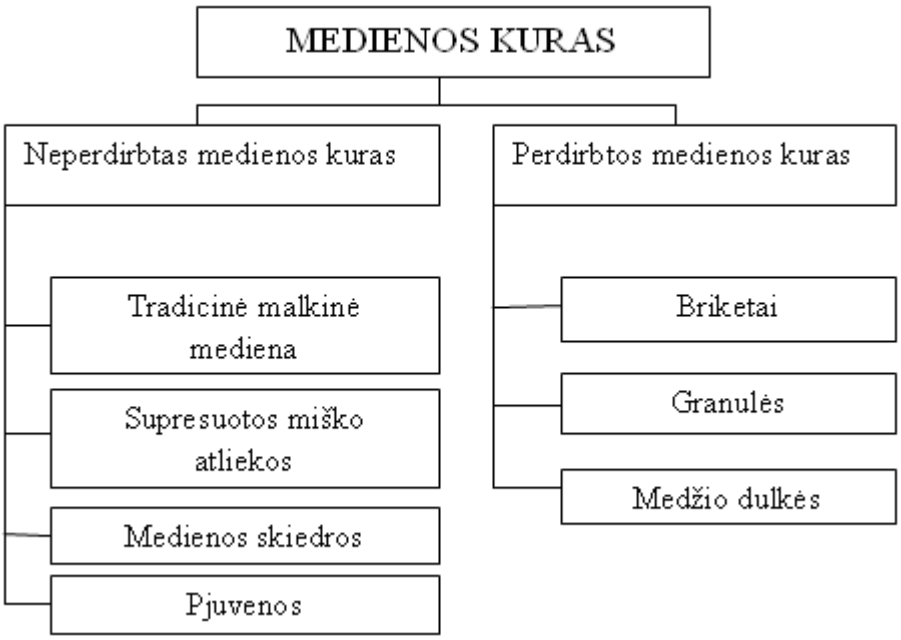
Medienos biokurą galėtumėme suskirstyti į dvi klasifikacijas [22].

- ***Pagal žaliavos kilmę***:



1.5 pav. Medienos kuro klasifikacija pagal žaliavos kilmę.

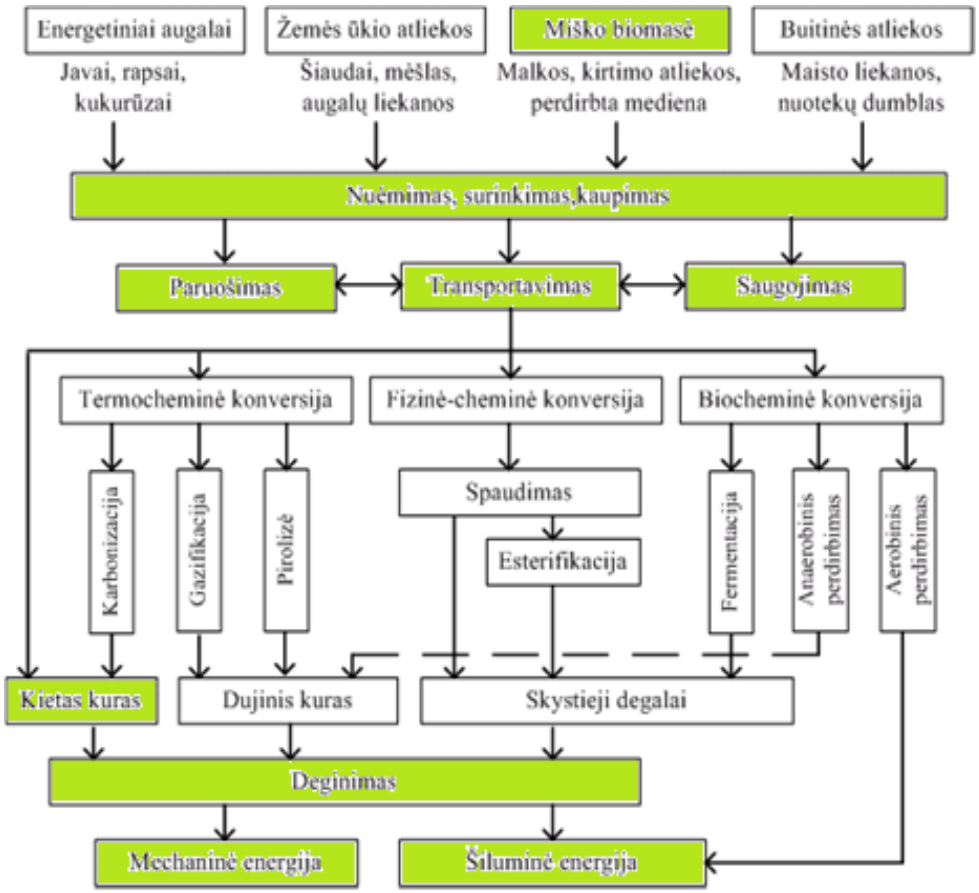
- ***Pagal perdirbimo laipsnį*:**



1.6 pav. Medienos kuro klasifikacija pagal perdirbimo laipsnį.

Medienos biokurą naudoja privatūs vartotojai, didieji šilumos bei elektros energijos gamintojai. Biokuro gamybai naudojamas technologijas galima klasifikuoti pagal technologinės konversijos būdą. Gamybos būdai (1.7 pav.) skirstomi į [18]:

- termocheminius;
- fizinius-cheminius;
- biocheminius.



1.7 pav. Biomasės naudojimo energetinėms reikmėms būdai

Kietosios biomasės perdirbimui gali būti naudojama termocheminė konversija. Tokiu atveju gausime medžio anglį. Fizinė – cheminė konversija taikoma aliejinių degalų gamybai, o biocheminiai būdai naudojami bioetanolio ir biodujų gamybai.

1.3 Drėgno oro parametrai, jų įtaka džiovinimo procesams

Džiovinimas, tai procesas kada pašalinama drėgmė. Medžiagoje esanti drėgmė gali būti pašalinama šiais metodai:

- Mechaniniais (presuojant, filtruojant,..);
- Fizikiniais – cheminiais (sugeriant drėgmę higroskopinėmis medžiagomis, pvz., kalciochloridu, sieros rūgštimi);
- Šiluminiais (išgarinant drėgmęir garus pašalinant nuo medžiagos paviršiaus) [23]. Džiovinimo procesu metu iš kietos medžiagos pašalinama ne tik drėgmė, bet ir prie jos paviršiaus susikaupę garai.

Džiovinimo metu drėgna medžiaga nuolat liečiasi su judančiu džiovikliu, todėl jo parametrai kinta priklausomai nuo medžiagos parametrų. Apie tinkamą procesų eigą galima spręsti iš džioviklio parametrų, todėl labai svarbu žinoti pagrindinius drėgno oro parametrus. Drėgnas oras, tai sauso oro ir jame esančių vandens garų mišinys.

Drėgno oro parametrai:

- Temperatūra t;
- Slėgis p;
- Tankis ρ;
- Santykinis drėgnis φ;
- Absoliutus drėgnis φ_a;
- Entalpija h;
- Vandens garų dalinis slėgis p_g;

A. Balandis teigia, kad garų neprisotinto oro drėgmę sudaro perkaitinti vandens garai, todėl drėgno oro savybės nusakomos idealiųjų dujų dėsniais [23]:

- *Absoliutus oro dėsnis* φ_a, kurį sudaro vandens garų kiekis, kg, esantis 1 m^3 drėgno oro. Ore esančių garų tūris yra lygus viso mišinio tūriu. Todėl absoliutus oro drėgnis lygus 1 m^3 vandens garų masei, arba garų tankiui p_g.
- *Santykinis oro drėgnis*, kurį sudaro 1 m^3 oro esančių vandens garų kiekio ir to garų kiekio, kuris prisotintų orą, esant tai pačiai temperatūrai ir tam pačiam slėgiui santykis:

$$\varphi = \frac{\rho_g}{\rho_s}. \tag{1.3}$$

Garų tankis yra proporcingas jų daliniam slėgiui mišinyje, esant tai pačiai temperatūrai. Todėl santykį oro drėgnį galima išreikšti slėgių santykiu:

$$\varphi = \frac{p_g}{p_s}; \tag{1.4}$$

Džiovinant kinta virš drėgnos medžiagos esančio oro tankis ir jo absoliutus drėgnis, nes oras atiduoda šilumą drėgmei išgarinti, todėl vėsta, sugerdamas iš medžiagos garuojančią drėgmę. Džiovinant drėgname ore esantis absoliučiai sauso oro kiekis yra pastovus. Vandens garų kiekis, tenkantis 1 kg absoliučiai sauso oro, vadinamas oro drėgniu ir žymimas x.

$$x = \frac{G_g}{G_{so}} = \frac{M_g}{M_{so}} \times \frac{p_g}{P - p_g}; \tag{1.5}$$

Drėgnas oras, kaip džioviklis, apibūdinamas entalpija *h*, kuri lygi sauso oro ir jame esančių vandens garų entalpijų sumai [23]:

$$h = c_{so} \times t + x \times h_g; \tag{1.6}$$

Vandens garų tankis yra mažesnis už sauso oro tankį, todėl drėgnas oras yra lengvesnis už sausą.

1.4 Oro drėgnumas ir jo absorbavimo galimybės

Oro drėgnumas priklauso nuo meteorologinių sąlygų. Priklausomai ar iš sausų ar iš drėgnų rajonų atslenka oras, jis absorbuoja drėgmę, kurią išgarina augalai ir vandens telkiniai, arba jo drėgmė iškrinta lietaus arba rasos pavidalu. Augalai turi savybę absorbuoti saulės energiją ir ją sukaupti cheminių junginių pavidalu [24].

V. Kučinskas nustatė, kad esant ore pastoviam drėgmės kiekiui, keičiasi santykinis oro drėgnumas. Dėl to džiovinimo aktyviąją ventiliacija sąlygos atskiruose respublikos rajonuose yra skirtingos. Oro temperatūros ir santykinio drėgnumo kitimas dienos bėgyje, esant aukštai ir žemai temperatūrai yra skirtingi. Abiem atvejais oro absoliutinis drėgnumas yra vienodas. Naktį santykinis oro drėgnumas gali pasiekti net iki 100 %. Rytą oro temperatūra didėja, todėl oro santykinis drėgnumas mažėja (1.2 lentelė) [25].

1.2 lentelė. Drėgmės kiekis (g), tenkantis 1 kg sauso oro, esant įvairiam santykiniam drėgniui ir įvairiai temperatūrai.

Temperatūra ^0C	*Santykinis drėgnis, %*					
	100	90	80	70	60	50
10	7.63	6.87	6.10	5.35	4.58	3.82
11	8.16	7.34	6.51	5.71	4.90	4.08
12	8.73	7.86	6.98	6.11	5.24	4.37
13	9.33	8.40	7.46	6.53	5.60	4.67
14	9.97	8.97	7.98	6.89	5.98	4.99
15	***10.65***	***9.59***	***8.52***	***7.46***	***6.39***	***5.33***
16	11.36	10.22	9.09	7.96	6.82	5.68
17	12.12	10.91	9.70	8.48	7.27	6.06
18	13.79	11.64	10.34	9.05	7.76	6.47
19	15.56	12.42	11.03	10.28	8.27	6.90
20	16.66	13.22	11.75	10.98	8.81	7.35
21	17.74	14.09	12.52	11.66	9.39	7.83
22	18.87	14.99	14.19	12.42	10.00	8.33
23	20.07	15.97	15.10	13.21	10.64	9.44
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Kiekvieną oro temperatūrą ir santykinį drėgnumą atitinka tam tikras drėgmės kiekis. Iš lentelės galime teigti, kad 15 ^{0}C temperatūros ir 100 % drėgnumo ore turi būti 10,65 g/kg drėgmės [27].

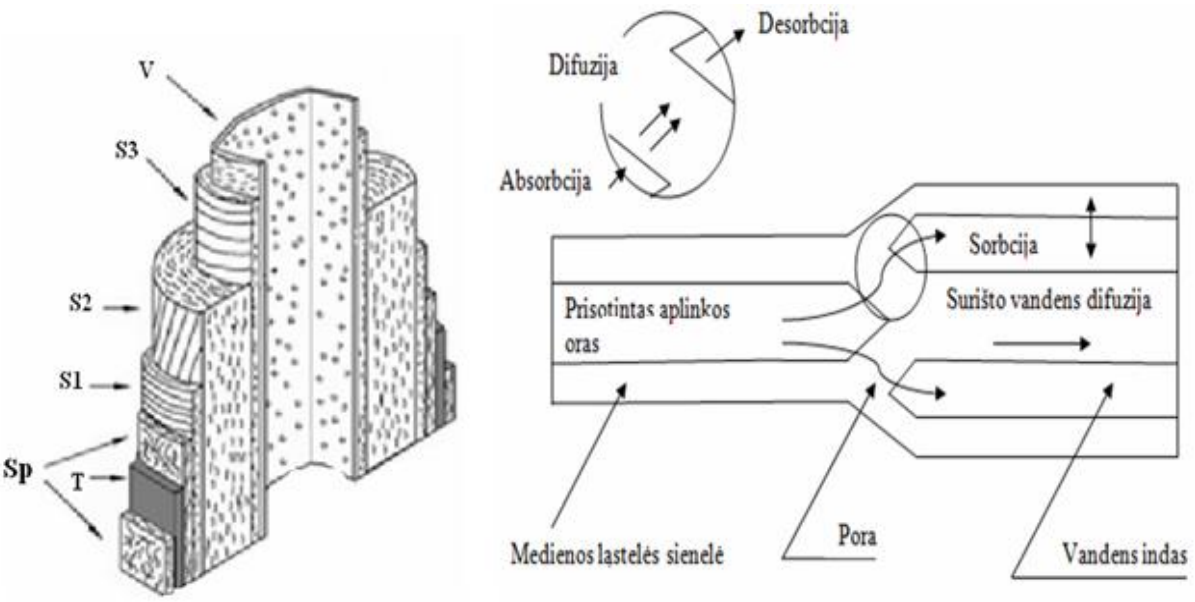
1.5 Drėgmės kitimo modelis

Medienos drėgnis priklauso nuo aplinkos oro parametrų (oro santykinio drėgnio ir temperatūros). Kaip aplinkos oro parametrai pastovūs ilgą laiką, laikomos medienos drėgnis pasiekia pusiausvyrą.

Virdžinijos mokslininkas J. F. Siau ištyrė drėgmės migraciją medienoje izoterminėmis sąlygomis. Jis teigia, kad medienoje skiriamos difuzijos formos: laisva garavimo (kapiliarinė) difuzija ir sujungto vandens (higroskopinė) difuzija [26]. Higroskopiškumu vadinama savybė, kuomet drėgmė medienoje migruoja iš džiovinamo kūno vidurio į paviršių [27].

Medienos difuzijos koeficientas išreiškiamas medienos poringumu, medienos sujungto vandens difuzijos koeficientu ir medienos laisvos garavimo difuzijos koeficientu

induose [28,29,30]. Laisva garavimo difuzija vyksta kartu su aplinkos oru patenkant ar išgarinant vandens garus kapiliarinėse medienos indų ląstelėse (1.8 pav.).



1.8 pav. Medienos (indų) ląstelės struktūra ir drėgmės mainai: V – vandens indas "lumen" (tuščias vidus); T – tarpląstelinė terpė, pripildyta lignino; Sp – pirminė ląstelės sienelė; S1, S2, S3 – antrinių sienelių sluoksniai (brūkšneliai – mikrofibrilės) [31].

2010 m. N. Ciganas ir A. Raila paskelbė straipsnį „ Aplinkos oro veiksnių įtaka sandėliuojamų medienos skiedrų džiovinimo procesui", kuriame teigia, kad sujungto vandens difuzija vyksta per medienos indų ląstelių sienelėse esančias poras. Realioje natūralioje aplinkoje vykstanti nuolatinė džiūvimo procesus sąlygojančių veiksnių kaita lemia ne tik drėgmės mainų intensyvumą, bet ir kryptį, todėl džiovinimo procesus aplinkos oru tiksliau prognozuoti gana sunku, galima numatyti tik medienos džiovinimo proceso kitimo tendencijas [6].

1.6 Medienos skiedrų džiovinimas bei sandėliavimas

Labai perspektyvi Lietuvoje yra mediena ir jos perdirbimo atliekos. Lietuva yra miškingas kraštas, kuriame miškai užima trečdalį šalies ploto [32]. Medienos skiedrų poreikis ir tiekimas priklauso nuo metų laiko, todėl yra reikalinga skiedras išdžiovinti bei sandėliuoti.

Medienos džiovinimo privalumai:

- Sumažina medienos svorį, transportavimo, bei tvarkymo išlaidas;
- Lengvesnis ir greitesnis medienos apdirbimas;
- Sumažėja grybelinė, lervų ataka, ir panašios žalos ir kt.

Derliaus džiovinimas ir sandėliavimas yra viena iš pagrindinių technologinių operacijų ruošiant kurą. Ką tik nuimtų energetinių augalų drėgnis būna apie 50 %. Deginant labiau tinka

sausa medžiaga, todėl reikia derlių išdžiovinti iki optimaliausios temperatūros. Žiemą šildymo tikslams mediena gali būti nukirsta ir iš karto panaudota. Sandėliuose laikoma labai nedaug ir laikinai. Daugiau sandėliuojama gaminant elektros energiją ar šildant ištisus metus.



1.9 pav. Laikymo sandėlis

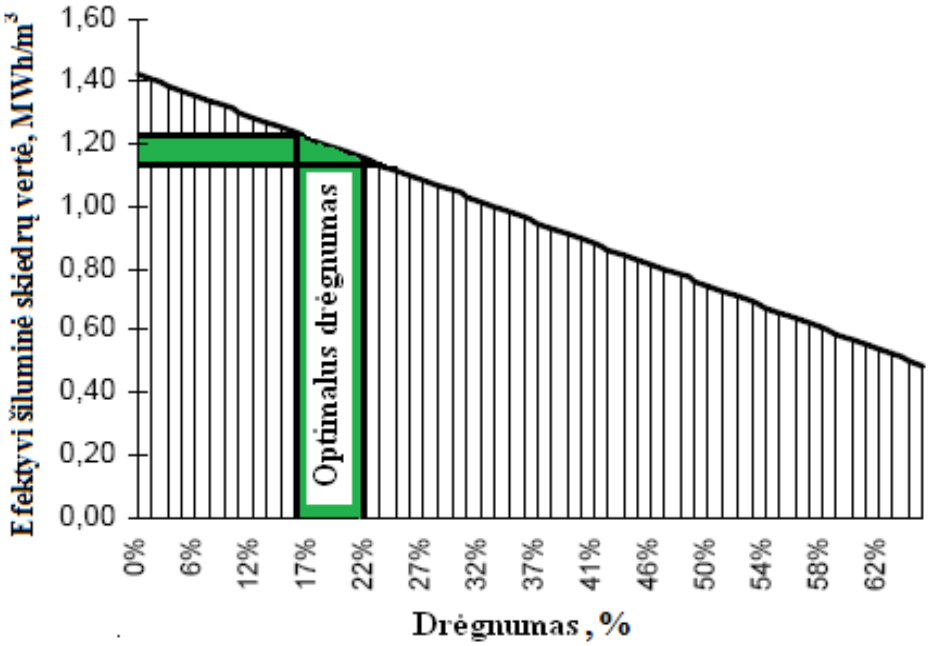
Išauginta ir nuimta biomasė dėl didelio drėgnio, užterštumo miksomicetų pradais dažniausia yra netinkama ilgalaikiam saugojimui. Saugant drėgną medieną pastebėtas ženklus sausosios medžiagos nuostolis (apie 3 % per mėnesį) ir padidėjąs mikrobiologinis grybų sporų aktyvumas (termofilinių grybų sporų skaičius gali išaugti nuo $5x10^4$ iki $13x10^8$ kilograme sausos medžiagos) [33]. Sandėliuojant tokią medieną, jos sluoksnyje susidaro palankios sąlygos biocheminiams ir mikrobiologiniams procesams, tam naudojamos sukauptos maisto medžiagos, o joms skylant naudojamas deguonis išskiria anglies dvideginis, vanduo ir šiluma. Kylant temperatūrai sandėliuojamos medienos sluoksnyje, pakilusi temperatūra ir aplinkos drėgnis sudaro palankias sąlygas mikromicetų vystymuisi [18]. Siekiant išvengti ir apsaugoti medieną nuo mikrobiologinių veiksnių, laikymo procesas turi būti kontroliuojamas [6], ir mediena privalo būti išdžiovinta iki 8-15 % drėgnio. Ekonominiu ir techniniu atžvilgiu, ypač efektyvus, yra konvekcinis džiovinimas. Konvekcinis džiovinimo būdas tai toks džiovinimas, kuomet oro srautas apiplauna kiekvieną džiovinamą dalelę. Tokį džiovinimo būdą galima gauti naudojant aktyviąja ventiliaciją arba džiovinant lauke esant pakankamai stipriam vėjui. Aktyvioji ventiliacija nuo kitų džiovinimo būdų skiriasi tuo, kad čia medžiaga džiovinama storame nejudančiame sluoksnyje, mažai pašildant orą, arba jo visai nešildant [25].

2010 m. K. Plieskis ir kt. paskelbė straipsnį „Susmulkintų gluosnių stiebų masės džiovinimas aktyviosios ventiliacijos įrenginiais“, kuriame teigia, kad džiovinant kitais būdais, džiovinimo agentas yra aukštesnės temperatūros ir medžiaga juda. Todėl mediena aktyviąja

ventiliacija paprastai džiovinama jos laikymo vietoje [7]. Ankstyvaisiais vasaros mėnesiais (birželio-liepos) paprastai džiovinama nepašildytu oru, vėlyvesniais vasaros ar ankstyvesniais rudens mėnesiais (rugpjūtis - rugsėjis) daugiausia naudojamas pašildytas oras.

Naudojamas džiovinimui oras prapučiamas per džiovinamą medžiagą. Prapučiamo oro kryptis paprastai būna vertikali iš apačios į viršų, rečiau radiali iš centro į išorę. Dar rečiau sutinkamas siurbimas iš išorės į centrą [25].

Išgarintas iš džiovinamos medžiagos drėgmės kiekis priklauso nuo jos pradinio ir galutinio drėgnio [34]. Ką tik nupjautos medienos drėgnis būna 50 – 60 %, todėl džiovinimas turi svarbų vaidmenį medienos šiluminei vertei (1.10 pav.).



1.10 pav. Skiedrų efektyviosios šiluminės vertės (MWh/m^3) priklausomybė nuo drėgnio (%) [35].

Nedžiovinta mediena turi žymiai mažiau energetinės vertės negu džiovinta. Ką tik nukirstos medienos energetinė vertė yra 2,2 karto mažesnė negu tinkamos, 12 % drėgnio, medienos. Tokiu atveju galime teigti, kad džiovinimas yra vienas iš svarbiausių veiksnių, biokuro ruošime.

2008 m. A. Jasinskas ir kt. paskelbė straipsnį „Gluosnių stiebų pjaustinio masės kitimo dinamika laikymo metu“, kuriame teigia, kad skiedros turi gali būti sėkmingai išdžiovintos ir tik tada sandėliuojamos minimaliais sausųjų medžiagų nuostoliais [36]. Todėl ne ką mažesnė reikšmė tenka ir sandėliavimui, kuris padidina skiedrų energetinę vertę. Sandėliavimo sąnaudos, išreikštos MWh, susideda iš dviejų dalių:

1) kapitalo investavimas į laikomą medžiagą (pirkimas, transportavimas, medžiagos smulkinimas ir t.t.) ;

2) energetinės vertės pakitimas laikymo metu.

Siekiant sumažinti sandėliavimo sanaudas, reikalingos tinkamos laikymo sąlygos. Mediena turėtų būti laikoma mažais kiekiais, kiek galima trumpesnį laiką, bei kuo mažiau susmulkinta. Energetinės vertės pakitimai sandėliavimo metu yra salygojami sudėtingų faktorių. Svarbiausi iš jų yra cheminė medžiagų sudėtis, drėgmės kiekis, laikymo periodo trukmė, oro salygos, laikymo vieta ir kita. Laikoma medžiaga sudaryta iš žievės ir kitų medžio dalių, todėl mikrobiologinis aktyvumas yra pagrindinė priežastis energijos praradimui [35].

1.7 Alksnių auginimo ir naudojimo kurui poveikis gamtai

Šiais laikais ypač didelis dėmesys skiriamas gamtos saugojimui, jos neteršimui ir tausojimui. 2000 m. I. Šateikis paskelbė straipsnį „Atsinaujinančios energijos gavybos ir naudojimo Lietuvos žemės ūkyje potencialas“ kuriame teigia, kad plečiant atsinaujinančios energijos naudojimą mažinamas energetinių žaliavų importas, mažėja priklausomybė nuo užsienio, didėja gyventojų užimtumas, kuriamos naujos darbo vietos [37].

Kad neprarastumėme savo gėlo vandens ar miškų, kuo toliau tuo labiau stengiamasi imtis įvairiausių apsisaugojimo būdų. Vienas iš gamtos saugojimo būdų yra panaikinti užterštumą, todėl stengiamasi atrasti ekologiškesnių kuro rūšių.

Galima pateikti keletą atvejų, kodėl verta naudoti alksnius, kaip biokurą:

1. *Šiltnamio efektą sukeliančios dujos, visuotinis atšilimas* – gaminant energiją iš alksnių mažėja anglies dioksido kiekis, kuris sukelia šiltnamio efektą. Alksniai turi labai mažai sieros, todėl deginimas nekelia didelių problemų dėl sieros dioksido emisijos ar rūgštaus lietaus.

2. *Energijos balansas* – energija gaunama iš alksnių gali būti iki 20 kartų didesnė, negu sunaudota juos auginant.

3. *Flora ir fauna* – giraičių auginimas yra labai efektyvi priemonė gausinti įvairius augalus. Alksniai suteikia ekologinį koridorių visų tipų gyvūnams judėti. Žiemą kuomet nuimamas derlius, netrukdoma paukščiams perėjimo metu, ar vasarą jiems migruojant. Plotas kada neseniai buvo nuimamas derlius patrauklus pempėms, dirviniams vieversiams ir kurapkoms. Insekticidų naudojimas alksnių plantacijose yra minimalus, didelė dalis vabzdžių tampa maisto šaltiniu paukščiams ar smulkiems žinduoliams. Šikšnosparniai, kirstukai, ežiai ir pelėnai mėgsta šią aplinką, kadangi dažnai būna daug drugelių ir naudingų vabzdžių.

4. *Transporto operacijos* – nedidelės alksnių pavertimo į energiją operacijos reikalauja nedaug transporto priemonių, dažniausiai žemės ūkio sunkvežimių, kurie turi tik nežymią įtaką vietiniam eismui. Auginant daug alksnių jie turi būti transportuojami dideliais sunkvežimiais. Svarbu apsvarstyti šio eismo įtaką vietiniai aplinkai (triukšmas, transporto

priemonės išmetamųjų dujų emisija, ir kt.), žemės ūkio kelių ir tiltų priežiūros reikalavimams [38].

5. *Vizualinė įtaka* – plantacijos padeda sukurti kraštovaizdžio įvairovę, maišant rūšis (siekiant mažinti ligų problemas) atsiranda augimo spalvų mišinys. Kai kurie plotai yra kertami kasmet, o tai sudaro sąlygas pastoviai besikeičiančiam kraštovaizdžiui su augalų aukščių laipsniškumu. Alksniai paprastai yra aukštesni negu kiti žemės ūkio augalai ir gali užstoti vaizdą nuo kelio ar pėsčiųjų takų.

6. *Alksnių naudojimas siekiant sumažinti taršą* – alksniai gali greitai augti ir kartu pasisavinti daug nitratų ir fosfatų iš dirvos drėgmės. Kadangi augalai auginami ne maistui, jie gali būti laistomi užterštu vandeniu. Alksniai yra naudojami valyti atliekomis užterštą vandenį po miesto priežiūros darbų šarmų pašalinimo iš atliekų užkasimo vietų, taip pat gali būti naudojami užterštai žemei gydyti. Alksnių lapai, krentantys ant dirvos, linkę neutralizuoti rūgštingumą (priešingai nei pušys ar melsvos eglės) [39].

Tačiau negalėtumėme taip drastiškai teigti, kad biokuras yra 100 % gamtai nežalingas, net ir čia galima rasti keletą priekaištų:

1. *Tarša, atsirandanti dėl alksnių energijos konversijos* – elektrinėje, paverčiančioje alksnius į energiją, nėra įmanoma visiškai išvengti triukšmo, dulkių ir kvapų. Garo kamuoliai gali būti matomi tam tikromis oro sąlygomis. Emisija gali turėti „mėlynos miglos“ efektą, jei alksniai buvo džiovinami aukštoje temperatūroje.

2. *Šalutinis produktas - pelenai* – verčiant alksnius į energiją atsiranda šalutinio produkto pelenų. Galima teigti, kad juos galime naudoti kaip trąšą laukams kalkinti, tačiau gaunami pelenų kiekiai smarkiai viršija jų poreikį.

Taigi niekada negalime teigti kad atsirandantys nauji energijos šaltiniai mums atneš vien tiktai naudą [40].

1.8 Pagrindiniai skaičiai ir faktai įrodantys alksnių naudą biokuro gamyboje.

- 20 tonų žalios masės prilygsta 5 tonoms akmens anglių.
- Viena tona žalios masės duoda 8,9 GJ, tai yra maždaug tiek pat, kiek ir viena tona durpių briketų. Palyginimui: 1 tona mazuto – 38,5 GJ šilumos.
- Lietuvoje dabar veikia 70 stambesnių medžio atliekomis kūrenamų katilinių, kurios galėtų naudoti alksnių žaliąjį kurą.
- Lietuvoje baltalksnynuose susikaupė 17,1 mln.m^3 medienos [41]. Valstybiniuose miškuose alksnius galima kirtsti tik nuo 31 metų, o privačiose plantacijose pirmojo derliaus

sulaukiama jau po 4- 5 metų [42,43]. Paskui jis imamas kas treji metai. Metinis biomasės prieaugis 7-8 t/h.

- Alksniai fiksuoja ore esantį azotą ir taip didina dirvožemio derlingumą.
- Alksniai jų augintojams duoda vidutiniškai 800 lt. Metinių pajamų iš ha.
- 1 m^2 medienos per metus išgarina vieną toną vandens.
- Per 3 augimo metus pagamina maždaug tiek deguonies, kiek sueikvojama juos deginant.

1.9 Literatūros skyriaus apžvalga

Iš pateiktos literatūrinės apžvalgos matome, kad Lietuvoje didėjant kuro kainai, neišvengiamai turime atsisukti atgal ir vėl pradėti naudoti beveik pamirštą kuro rūšį – medieną. Vieni iš perspektyviausių augalų yra alksniai. Jie pasižymi gera atžaline galia, duoda daug kelmų, atžalų, šaknų ataugų, paskleidžia didelį kiekį sėklų, bei greitai auga. Norint naudoti alksnius energijai gauti reikia tinkamai juos paruošti. Ką tik nuimta biomasė dėl didelio drėgnio negali būti nei naudojama, nei sandėliuojama. Todėl reikia surasti tinkamiausią džiovinimo būdą.

Literatūros apžvalgai nepavyko rasti pakankamai duomenų, pagrindžiančių oro filtracijos įtaką džiovinimo intensyvumui.

2. TYRIMŲ TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Tyrimų tikslas: ištirti alksnių, kaip atsinaujinančių energetinių augalų, džiovinimo procesą.

Tyrimų uždaviniai:

1. Ištirti drėgmės, masės ir temperatūros kitimo dėsningumus;
2. Nustatyti oro filtracijos greičių įtaką džiovinimo procese;
3. Nustatyti alksnių džiovinimo trukmę.

3. TYRIMŲ METODIKA

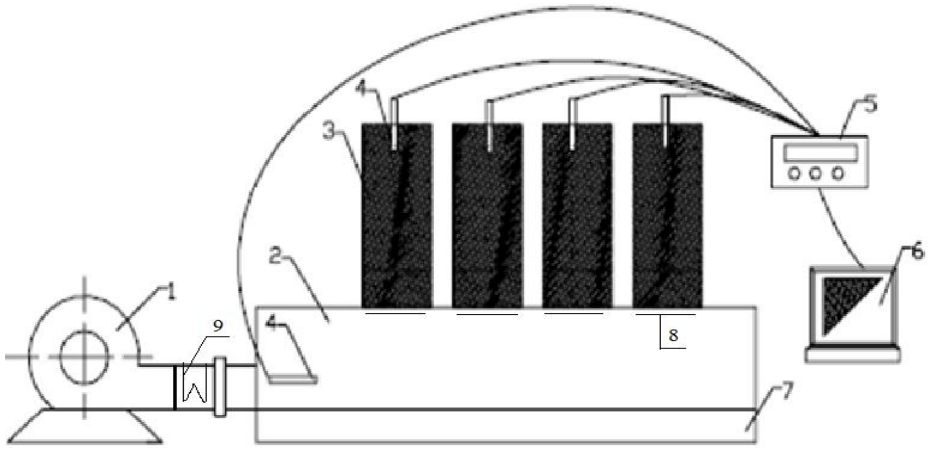
3.1 Eksperimentinių tyrimų metodika

Žinant, kad efektyviausias džiovinimas vyksta tuomet, kuomet yra naudojama intensyvi ventiliacija ir kaitinamas džiovinimo produktas, todėl tyrimai buvo atliekami dviem etapais:

I etape – nustatėme tinkamiausią ventiliuojamo oro intensyvumą džiovinant konvekciniu būdu (aktyviąja ventiliacija);

II etape – buvo ištirta temperatūros įtaka džiovinimui, džiovinant alksnius aukštose temperatūrose.

I etapas. Eksperimentiniams sumedėjusių augalų džiovinimo tyrimams, Aleksandro Stulginskio universiteto Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos institute, buvo pagamintas aktyviosios ventiliacijos sistemos stendas (3.1 pav.), kuriame buvo atlikti smulkintų alksnių džiovinimo bandymai. Tyrimams naudojome Kelmės rajone augančių baltalksnių (Alnus glutinosa) kirtimo atliekas, šakas.



3.1 pav. Alksnių džiovinimo stendo schema: 1 – keičiamo sukimosi dažnio ventiliatorius; 2 – oro paskirstymo kanalas; 3 – ventiliavimo cilindrai su alksniais; 4 –temperatūros ir drėgnio jutikliai; 5 – duomenų kaupiklis ALMEMO 5690-2M; 6 – kompiuteris; 7 – pamatas; 8 – sklendė; 9 – elektrokoloriferis.

Keičiamo sukimosi dažnio 1 ventiliatorius „KVKE 250 L TW“ tiekia orą į elektrokoloriferį 9, kuris, viso džiovinimo metu, orą pašildo iki 20 ^{o}C temperatūros. Vėliau oras paduodamas į paskirstymo kanalą 2, iš kurio nukreipiamas į ventiliavimo cilindrus 3. Pučiamo oro tiekimas į kiekvieną ventiliavimo cilindrą (ventiliavimo cilindro skersmuo 0.18 m) reguliuojamas oro paskirstymo kanale įrengtomis sklendėmis (3.2 pav.).



3.2 pav. Į smulkintų alksnių sampilą paduodamo oro srauto reguliavimo sklendė (vaizdas iš viršaus).

Eksperimentinių tyrimų metu 50 % drėgnio alksniai buvo džiovinami iki 10 – 15 % drėgnio. Medienos džiovinimo procesas nebuvo stabdomas net ir nepalankiomis oro sąlygom, kuomet lauke lijo lietus. Visą džiovinimo periodą buvo ventiliuojama vienodų parametrų aplinkos oru, tačiau skirtingu intensyvumu. Bandymų metu buvo fiksuojami alksnių drėgnio, masės, oro filtracijos greičio, oro temperatūros ir santykinio drėgnio parametrai bei džiovinimo trukmė (3.3 pav.).

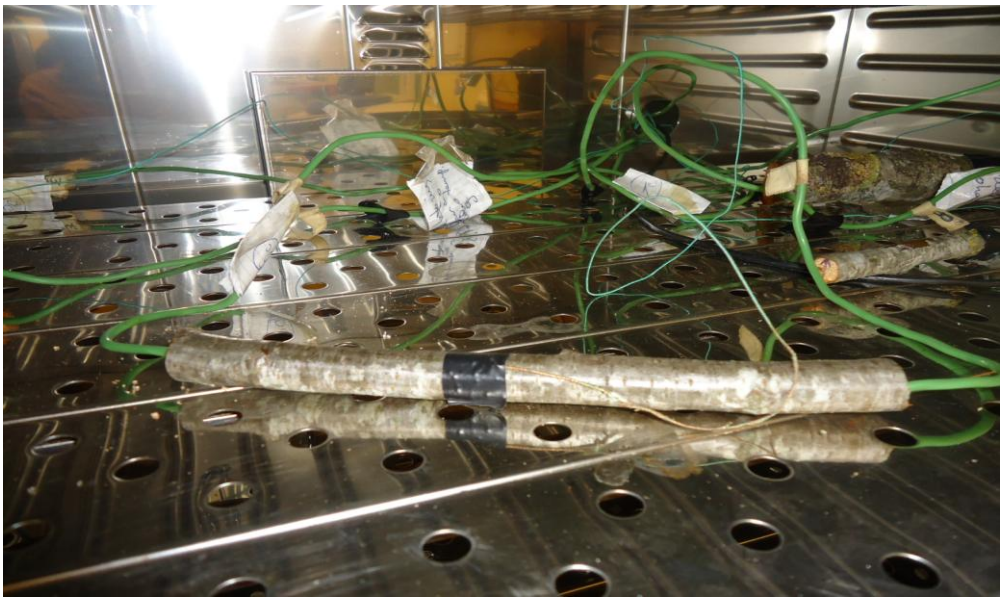


3.3 pav. Eksperimentinio aktyviosios ventiliacijos sistemos stendo bendras vaizdas.

Džiovinimo pradžioje, mechaninėmis svarstyklėmis RP – 200Š13, buvo pasverti tušti ventiliavimo cilindrai. Vėliau į visas keturias talpas, buvo supiltas vienodas kiekis (7,98kg) smulkintų, 1-3 cm dydžio, alksnių skiedrų. Pradėjus džiovinti skiedras, jų masė buvo fiksuojama, 5 kartus per dieną, nukeliant pripildytus cilindrus nuo oro padavimo kanalo ir pasveriant svarstyklėmis (RP-200Š13). Masės kitimas buvo lyginamas su apskaičiuotu iki reikiamo drėgnio, o žinant pastarąjį dydį ir pradinę skiedrų masę, alksnių masės sumažėjimas, buvo išreiškiamas masės vienetais.

Oro filtracijos greitį virš kiekvieno ventiliavimo cilindro matavome termoanemometru MMN-240. Ventiliuojamo agento temperatūra ir santykinis drėgnis buvo nustatomi ALMEMO firmos temperatūros ir drėgnumo jutikliais FH A646-21 (Ahlborn Mess – und Regelungstechnik GmbH, Vokietija) oro paskirstymo kanale (prieš patenkant į pripildytus cilindrus) ir jau perėjus skiedrų sluoksnį, t. y. viršutiniuose smulkintų alksnių sampilo sluoksniuose. Tyrimų metu elektroninio duomenų kaupiklio ALMEMO 3290 ir jutiklių FH A646-21 pagalba matuojama, ir kas 30 minučių fiksuojama, džioviklio temperatūra ir santykinis drėgnis: aplinkos oro temperatūra ir drėgnis, išeinančio ir įeinančio oro temperatūra ir drėgnis. Vėliau, naudojant AMR programą, duomenys buvo perkeliami į kompiuterio atmintį ir čia apdorojami.

II etapas. Jo metu buvo nustatytas temperatūros poveikis džiovinimo procesui. Tyrimai buvo atlikti džiovinimo spintoje Memmert UFP600, panaudojant 200 mm ilgio, nesmulkintus, skirtingų skersmenų keturis alksnių mėginius (3.4 pav.).



3.4 pav. Nesmulkintų alksnių džiovinimas aukštatemperatūrinėje aplinkoje.

Į kiekvieną mėginį buvo įvestos temperatūrą matuojančios termoporos, kurios temperatūrą fiksuodavo alksnio žievėje, po žieve ir centre. Taip pat buvo matuojamas aplinkos oro drėgnis ir temperatūra. Džiovinimo bandymai buvo kartojami keturis kartus prie skirtingų temperatūrų (30 ^{o}C, 50 ^{o}C, 70 ^{o}C ir 100 ^{o}C). Antrinio prietaiso, ALMEMO 3290, pagalba duomenys buvo fiksuojama kas 5 minutes ir vėliau, naudojant AMR programą, įrašomi į kompiuterį.

Abiejų etapų metu alksnių pradinį drėgnumą nusistatėme pagal standarto LST 1530:2004 reikalavimus. Drėgnio W_i nustatymui, vidutinis žaliavos ėminio pavyzdys, džiovinamas 105 ^{o}C temperatūroje Memmert Model 100-800 džiovinimo spintoje iki pastovaus svorio (3.5pav.).



3.5 pav. Drėgnio nustatymas džiovinimo spintoje.

Kiekvieną kartą nustatant žaliavos drėgnį buvo atliekami ne mažiau kaip 5 pakartojimai, ir apskaičiuojamas ėminio išgarinto vandens kiekio ir pradinio drėgnos žaliavos ėminio masės santykiu:

$$W_i = \frac{m_v}{m_b} \cdot 100; \tag{3.1}$$

$$W_i = \frac{m_v}{m_s + m_v} \cdot 100, \tag{3.2}$$

čia W_i – žaliavos ėminio drėgnis %;

m_v – iš žaliavos ėminio išgarinto vandens kiekis g;

m_s – sausųjų medžiagų kiekis žaliavos ėminyje g;

m_b – drėgno žaliavos ėminio masė g.

Kadangi pakartojimai vyko po kelis kartus, todėl apskaičiavome vidutinę žaliavos drėgnio reikšmę ir pasikliautinąjį intervalą su 95 % patikimumu. 95% patikimumas laikomas pakankamu nagrinėjant technologinių mokslų problemas [44].

Vidutinis alksnių drėgnis :

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i}{n}, \tag{3.3}$$

čia W – tiriamos žaliavos drėgnis %;

i = 1, 2, 3…n – ėminio eilės numeris;

n – ėminių skaičius vnt.

Matavimo duomenų vidutinis kvadratinis nuokrypis [44]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (W_i - W)^2}{n-1}}, \tag{3.4}$$

čia S – vidutinis kvadratinis nuokrypis %.

Matavimo duomenų vidurkio paklaida [44]:

$$\Delta W = \frac{t_n \cdot S}{\sqrt{n}}, \tag{3.5}$$

čia ΔW - žaliavos drėgnio nustatymo paklaida % (pasikliautinasis intervalas su 95 % patikimumu);

t_n – stjudento koeficientas =4 (su n-1 laisvės laipsnių skaičiumi).

Skaičiavimai atlikti naudojant *MS Office Excel* ir *Matehematica* kompiuterinias programas.

4. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

4.1 Susmulkintų alksnių džiovinimas konvekciniu būdu tyrimai

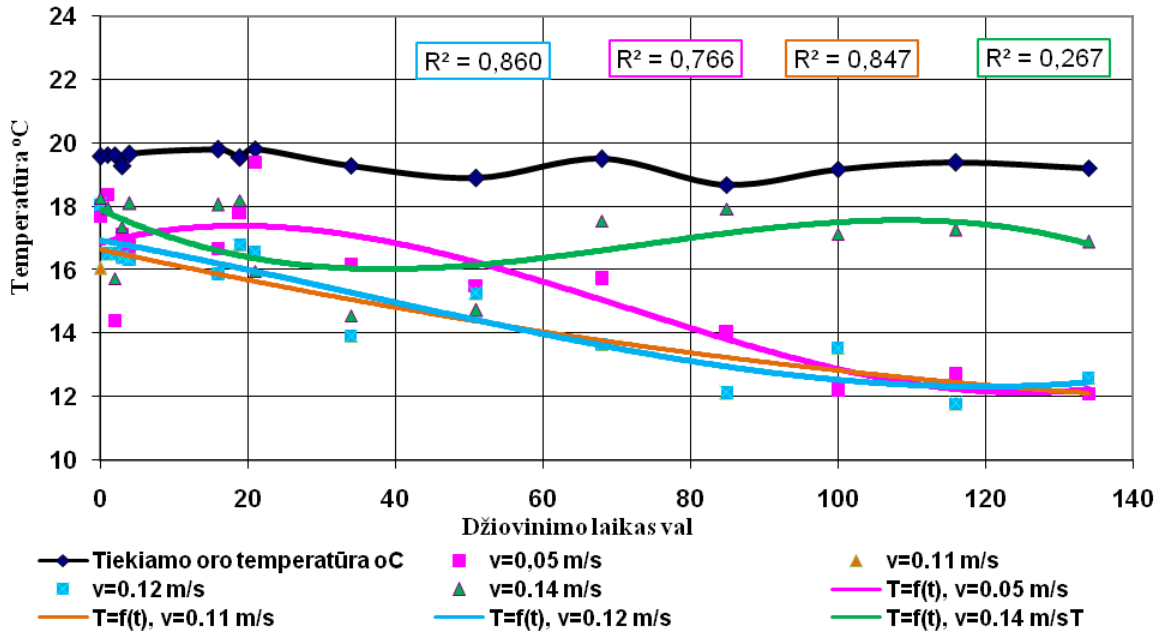
Konvekcinis džiovinimo būdas tai toks džiovinimas, kuomet oro srautas apiplauna kiekvieną džiovinamą dalelę. Tokį džiovinimo būdą galima gauti naudojant aktyviąja ventiliaciją arba džiovinant lauke esant pakankamai stipriam vėjui. Stipriausi vėjai pučia pajūrio zonose, silpniausi Lietuvos rytuose (4.1 pav.). Tyrimai buvo atliekami Kauno apskrityje, kur vidutinis metinis vėjo greitis yra 3,5 – 4 m/s. Kadangi vėjas pučia nepastoviu greičiu ir išmatuoti arba palaikyti pastovų būtu beveik neįmanoma, todėl tyrimams atlikti buvo pasirinktas artimiausias konvekcijai džiovinimo būdas - aktyvioji ventiliacija.

Vietovės nr.	Vidutinis metinis vėjo greitis, m/s
1	< 2,5
2	2,5 – 3,5
3	3,5 – 4,0
4	4,0 – 5,5
5	> 5,5



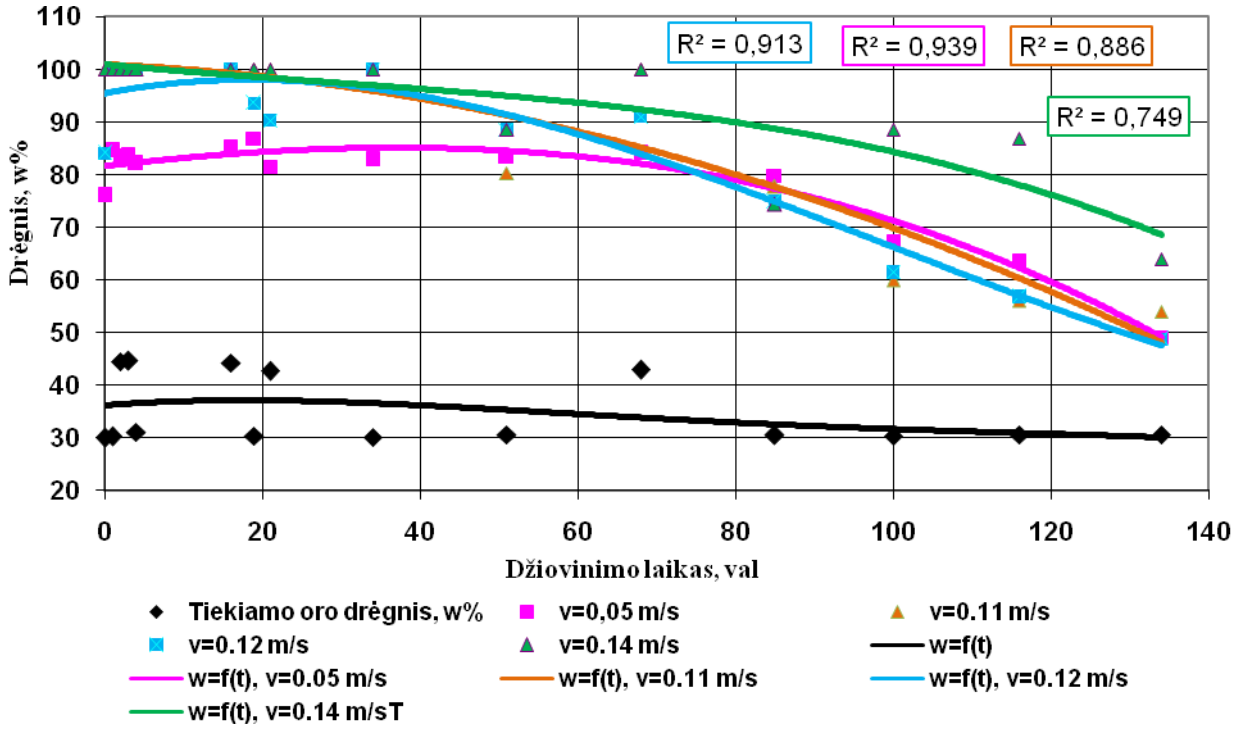
4.1 pav. Vidutinis metinis vėjo greitis Lietuvoje.

Tyrimų metu buvo siekta, kad džiovinimas aktyviąja ventiliacija būtu kuo panašesnis į natūralias lauko sąlygas, todėl bandymus atlikome panaudojant skirtingus oro filtracijos greičius, bei elektrokoloriferio pagalba bandėme palaikyti pastovią ~ 20 ^{0}C temperatūrą. Kadangi 20 ^{0}C temperatūrą stabilią palaikyti gan sunku, todėl džiovinimo procesas šiek tiek pakito. Didžiausias oro filtracijos greitis buvo v - 0,14 m/s, o mažiausias v – 0,05 m/s. Džiovinant 50 % drėgnio susmulkintus alksnius, 36 cm sluoksnio storyje, pastebėta, kad intensyviausias džiovinimas vyko pirmąsias 40 valandų. Vėliau susmulkinti alksniai džiuvo tolygiai, kol pasiekė reikiamą drėgnį. Išskyrus tą atvejį, kuriame buvo tiekiamas didžiausias oro filtracijos greitis v – 0,14 m/s, alksniai išdžiūvo per 70 valandų.



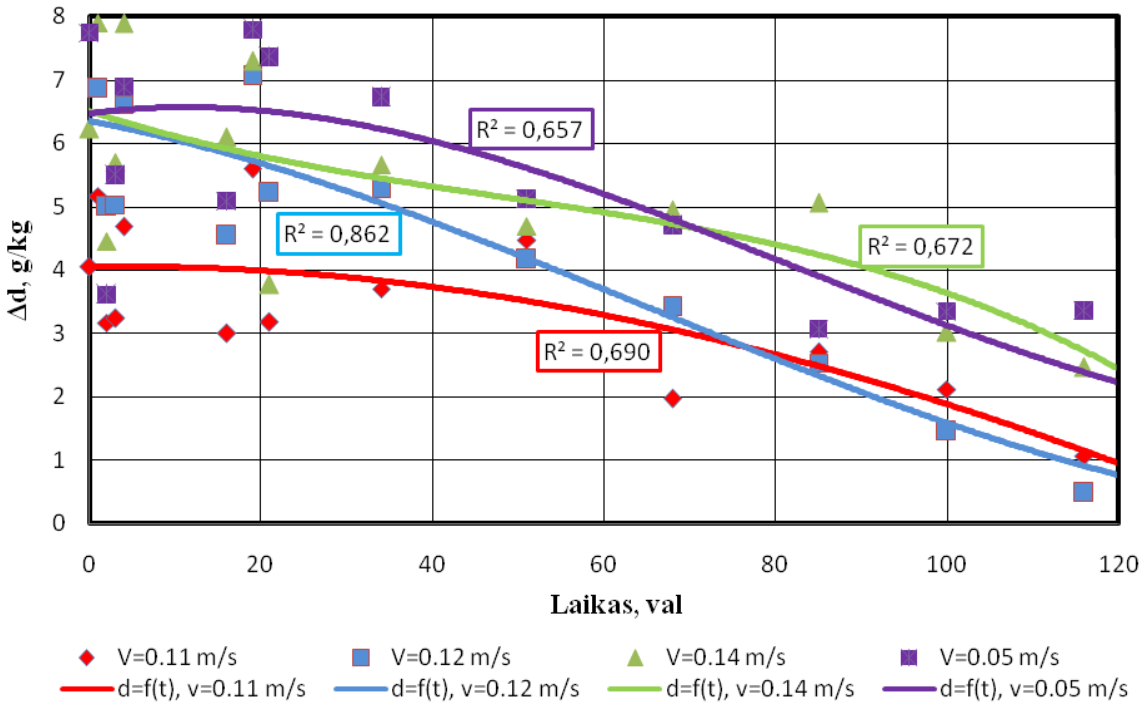
4.2 pav. Tiekiamo ir išeinančio oro temperatūros kitimas

Panaši tendencija matoma ir 4.3 paveiksle. Tiekiamo oro drėgnis visą džiovinimo laikotarpį buvo ~ 40 % drėgnio. Tiekiant didžiausią v – 0,14 m/s oro filtracijos greitį susmulkinti, 50±1,6 % drėgnio alksniai, buvo džiovinami beveik 3 kartus greičiau, negu tiekiant oro filtracijos greitį v – 0,05 m/s.



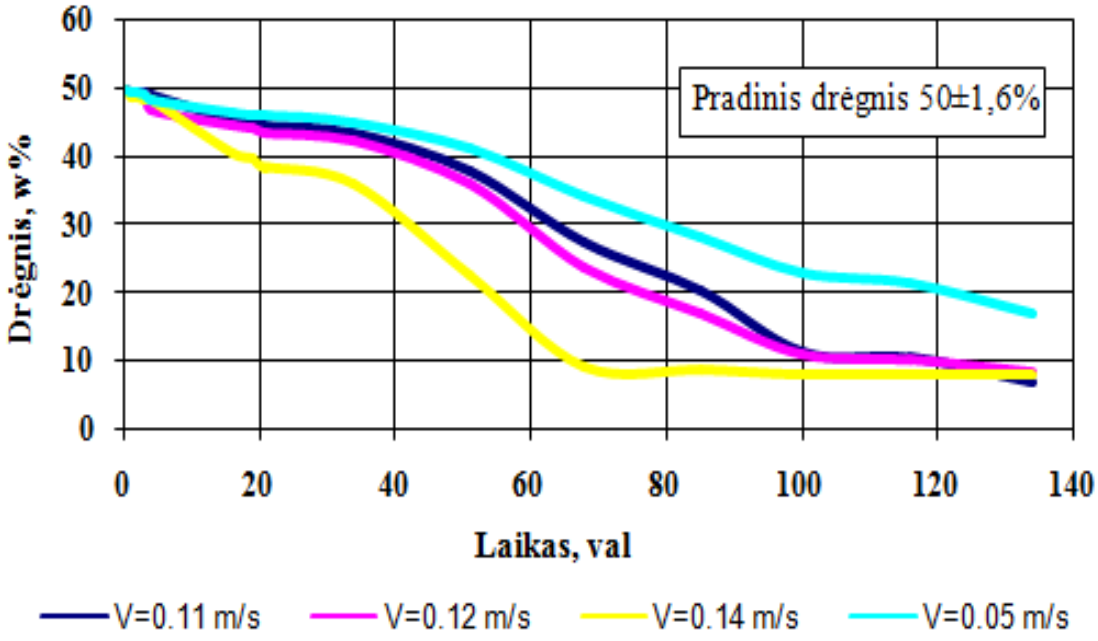
4.3 pav. Oro drėgnio dinamika džiovinimo eigoje.

Oras praeidamas pro produkcijos sluoksnį absorbuoja drėgmę. Absorbcijos dydis apsprendžia absoliutinio drėgnio pokytis Δd g/kg$_{so}$. Kuo daugiau oras yra prisotintas vandens garais, tuo intensyvesnis vyksta džiūvimas. Džiovinant alksnius, kai oro filtracijos greitis v – 0,11 m/s, džiovinamo produkto paviršiuje vyksta džioviklio drėgnio pokytis nuo 4 g/kg$_{so}$ iki 0,3 g/kg$_{so}$. Padidinus oro filtracijos greitį v – 0,12 m/s, Δd nuo 6,5 g/kg$_{so}$ sumažėjo iki 0,4 g/kg$_{so}$. Iš 4.4 paveikslo matome, kad tiekiamo mažiausio oro filtracijos greičio v – 0,05 m/s, išnešamos drėgmės kiekis Δd buvo didžiausias, nes lėtai kildamas oras labiausiai absorbuoja drėgmę.



4.4 pav. Pašalinamos drėgmės kiekio priklausomybė nuo džiovinimo laiko Δd=f(t).

Iš atliktų bandymų matome, kad džiovinimo procesui įtakos turi ne tik tiekiamo oro drėgnis, bet ir temperatūra. Iš 4.5 paveikslo matome, kad tiekiant oro filtracijos greitį v - 0,14 m/s alksniai iki 15-10 % išdžiūsta per 70 valandų. Pamažinus oro filtracijos greitį 1,2 kartų iki v - 0,12 m/s, smulkinta mediena išdžiūvo per 100 valandų. Pamažinus dar tiek pat 1,2 kartų, kuomet v – 0,11 m/s, alksniai išdžiuvo per 116 valandų. Tačiau pamažinus oro filtracijos greitį iki v – 0,05 m/s, alksniai net per 130 valandų, nepasiekia tinkamo drėgnio.



4.5 pav. Alksnių drėgnio kitimas džiovinant aktyviąja ventiliacija.

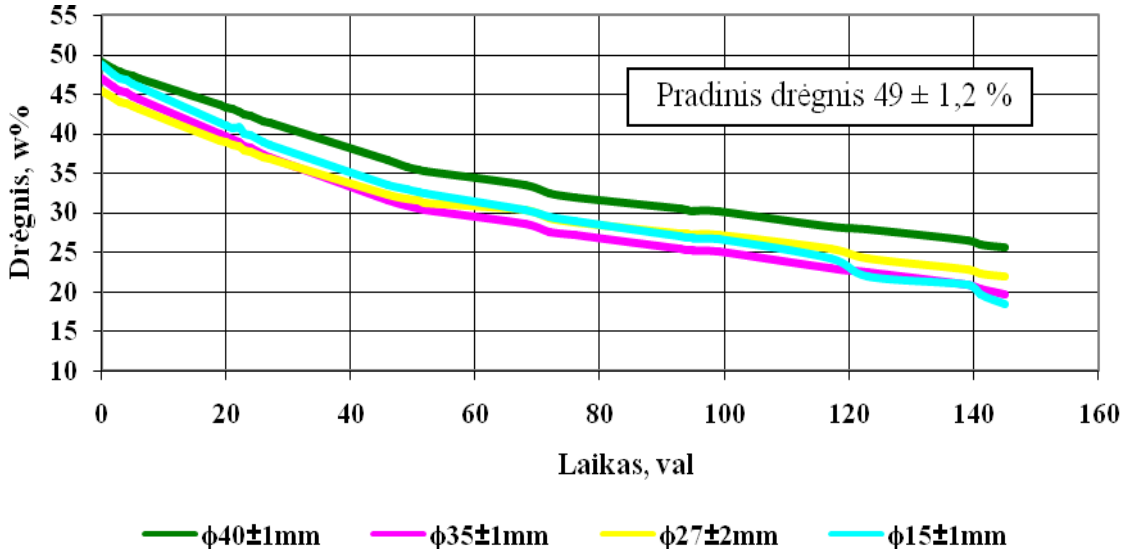
Taigi galime teigti, kad smulkintų alksnių ekonomiškiausias džiovinimas naudojant aktyviąja ventiliaciją yra tuomet, kuomet oro filtracijos greitis yra ne mažesnis negu 0,11 m/s. Džiovinimas tokiu greičiu yra taikomas siekiant sutrumpinti patį džiovinimo proceso laiką, sumažinti pelėjimą ir sausų medžiagų nuostolius.

4.2 Aukštatemperatūrinis nesmulkintų alksnių džiovinimo tyrimas

Pagrindinis šio tyrimo tikslas buvo ištirti temperatūros poveikį džiovinimo procese, bei išsiaiškinti kokią įtaką temperatūrai turi alksnio skersmuo.

Džiovinant nesmulkintus alksnius, džiovinimo spintoje, skirtingomis temperatūromis neišvengiamai, dėl netolygios drėgmės pasiskirstymo, vyksta drėgmės judėjimas. Tyrimams buvo naudojamos, apie 50 % drėgnio, 200 mm ilgio ir skirtingų skersmenų, miško alksnių kirtimo atliekos. Tyrimai buvo atliekami aukštatemperatūriniuose rėžimuose: 30 ^{0}C, 50 ^{0}C, 70 ^{0}C, ir 100 ^{0}C temperatūrose. 70 ^{0}C ir 100 ^{0}C temperatūras naudojome ne dėl praktinio poveikio, o todėl, kad būtų aiškiai matyti džiovinimo pokytis džiovinimo metu.

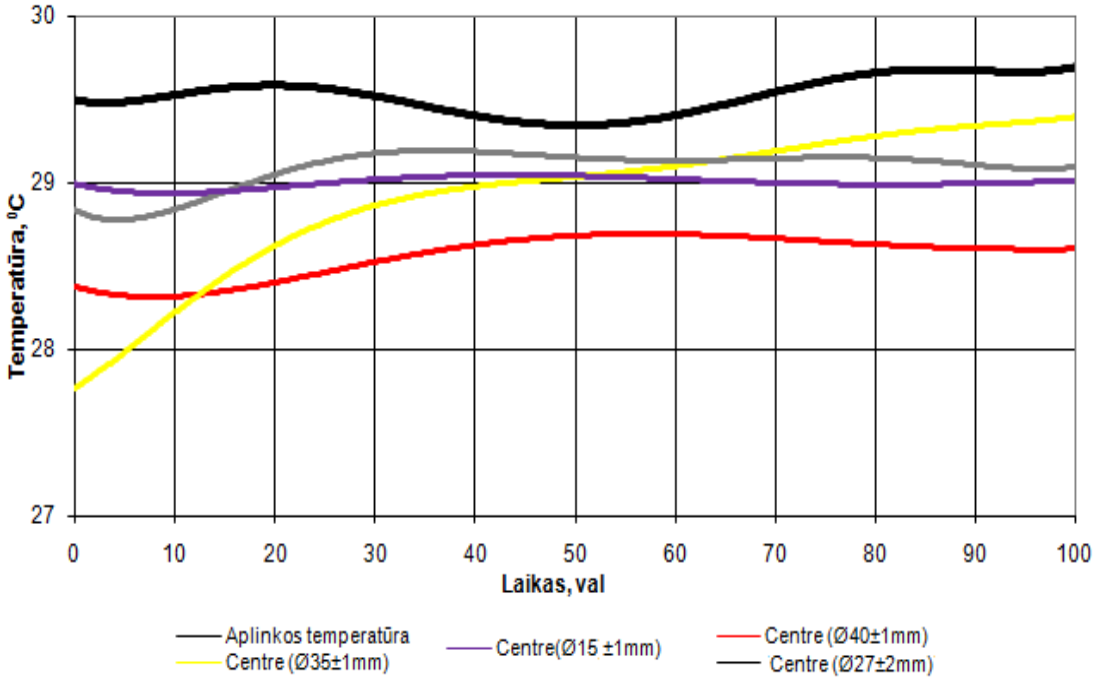
Džiovinant 30 ^{0}C temperatūroje nesmulkinti skirtingų skersmenų alksniai net per 145 valandas neišdžiūvo iki reikiamo 10 – 15 % drėgnio (4.6pav).



4.6 pav. Alksnių drėgnio kitimas esant 30 ^{0}C temperatūrai.

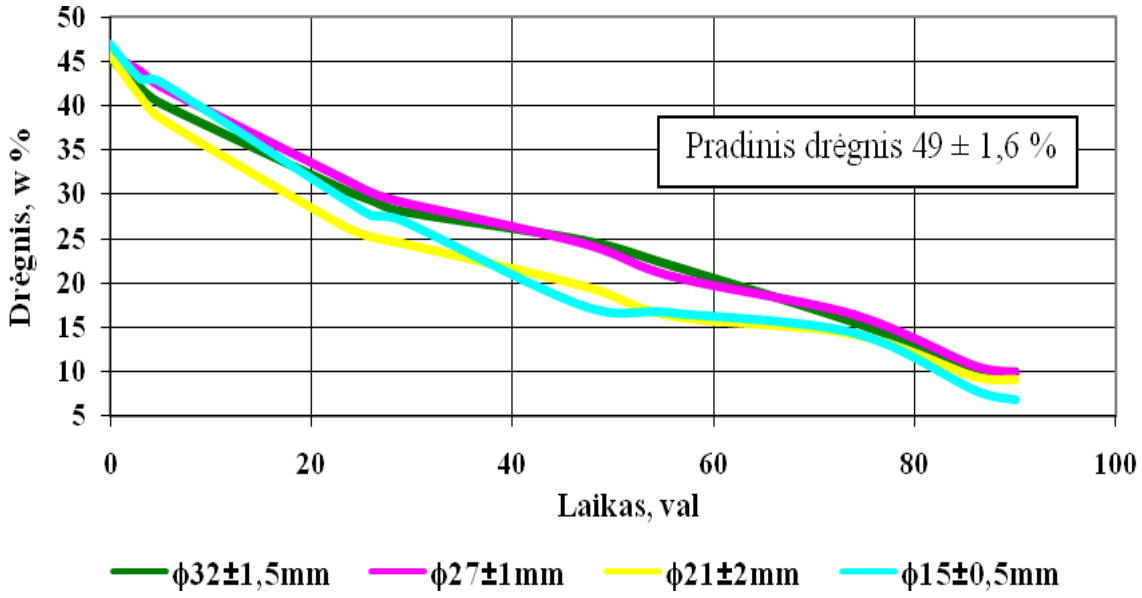
Tyrimai buvo atliekami tiriant skirtingų skersmenų alksnių temperatūros pokyčius nesmulkintos medienos centre, po žieve, bei žievėje. Nustatyta, kad greičiausiai džiūna išoriniai medienos sluoksniai. Džiovinimo intensyvumas medžio centre, įpatingai žemose temperatūrose, yra labai mažas (4.7 pav.).

Dėl spartaus mikroorganizmų vystymosi ir medienos kaitimo, mediena turi būti išdžiovinta per kuo trumpesnį laikotarpį. Atsižvelgus į rezultatus, galime teigti, kad džiovinimas 30 ^{0}C temperatūroje nėra tinkamos sąlygos nesmulkintai medienai džiovinti aukštatemperatūriniame rėžime.



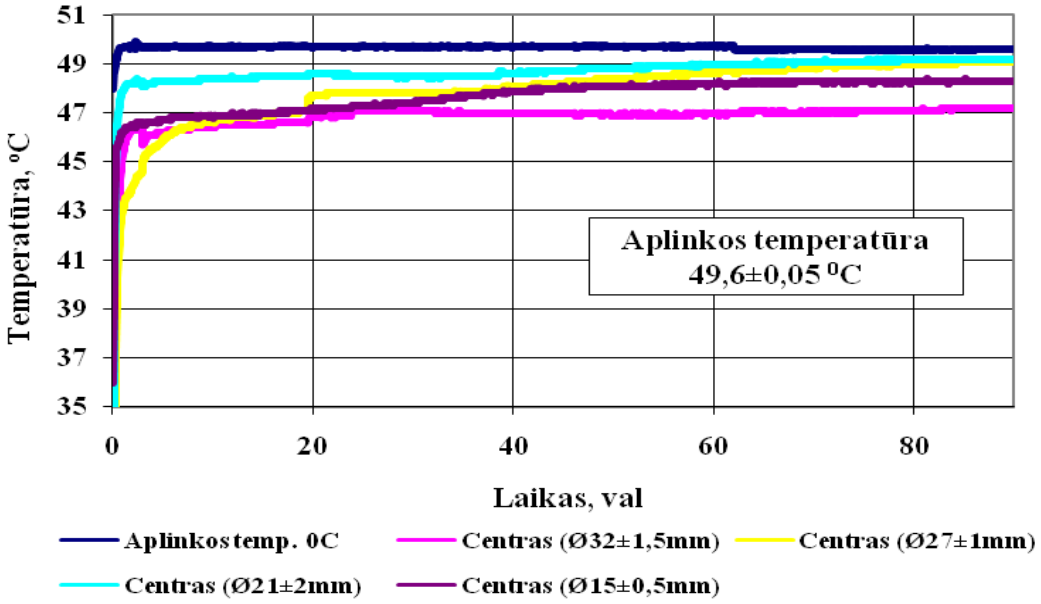
4.7 pav. Skirtingų skersmenų alksnių džiovinimas 30 ^{0}C temperatūroje.

Pakėlus temperatūrą 20 ^{0}C (4.8 pav), džiovinimo laikas sutrumpėjo iki 70 - 80 valandų ir reikiamas 10 – 15 % drėgnis medienoje buvo pasiektas. Pirmąsias 25 valandas džiūvimas vyko vienodu intensyvumu, vėliau 15 ± 0,5 mm 21 ± 2 mm skersmens mėginiai džiuvo intensyviau, ir po 70 valandų buvo pasiekę reikiamą drėgnį. Likusieji 27 ± 1 mm ir 32 ± 1,5 mm skersmens alksnių mėginiai reikiamą drėgnumą pasiekė praėjus dar 10 valandų.



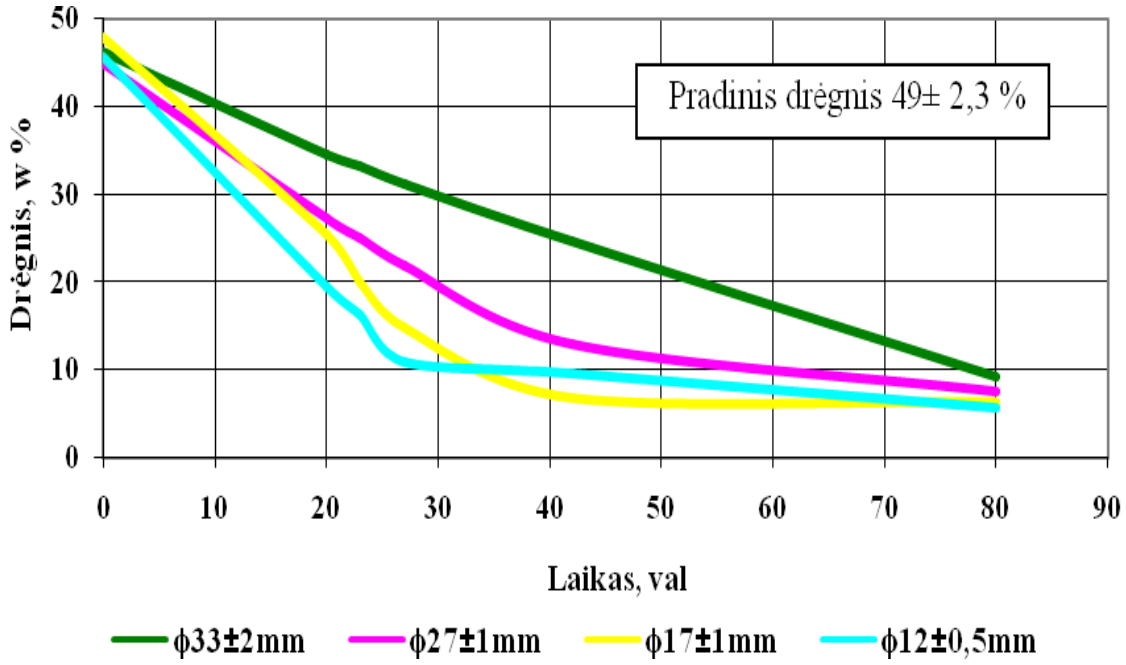
4.8 pav. Alksnių drėgnio kitimas esant 50 ^{0}C temperatūrai.

Bandymo metu 50 ^{0}C temperatūroje medienos savybės beveik nepakito. Artimiasią 50 ^{0}C temperatūrą greičiausiai pasiekė alksnio centras, kurio skersmuo 21 ± 2 mm. Tai nebuvo pats ploniausias alksnio mėginys , jis išdžiūvo per 70 valandų. Praėjus dar 10 - 15 valandų likusieji mėginiai susivienodino iki reikiamo drėgnio.



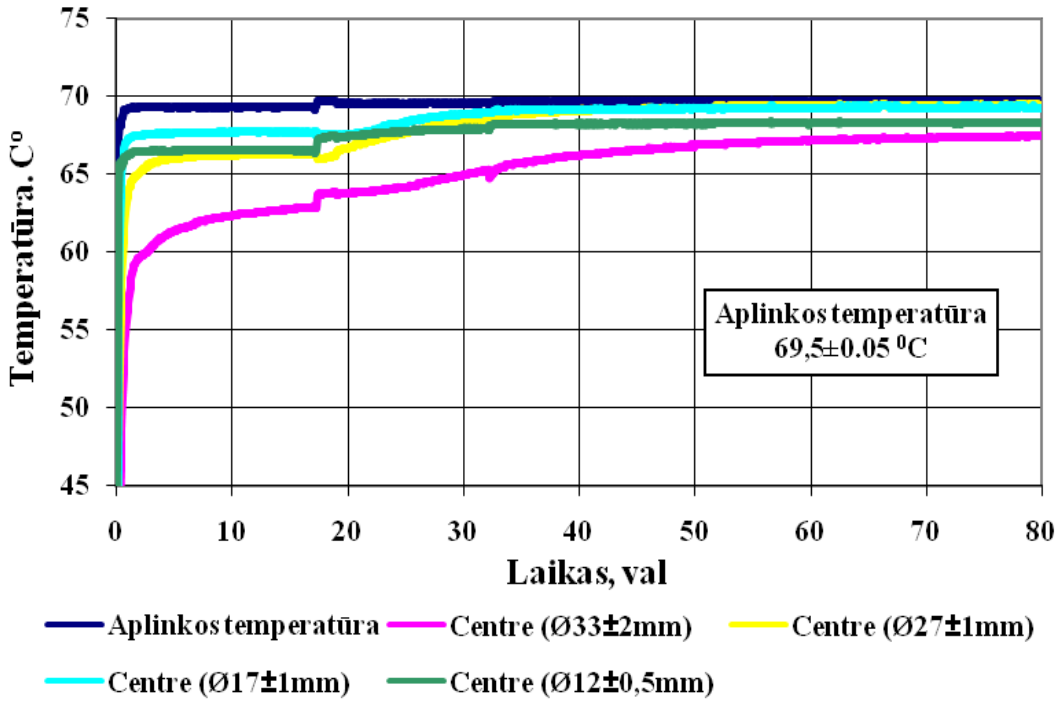
4.9 pav. Skirtingų skersmenų alksnių džiovinimas 50 ^{0}C temperatūroje.

Kaip kinta drėgnis džiovinant 70 ^{0}C temperatūroje matome 4.10 paveiksle. Nesmulkinti alksniai jau po 25 – 60 valandų pasiekia reikiamą drėgnį. 12 ± 0,5 mm ir 17 ± 1 mm skersmens mėginiai po 25 valandų pasiekia 15 % drėgnį. Praėjus dar 10 valandų išdžiūsta ir 27 ± 1 mm skersmens alksnis. Taigi galime teigti, kad 70 ^{0}C temperatūroje džiovinimas yra efektyvus, jeigu alksnių skersmenys bus nedidesni, negu 27 ± 1 mm.



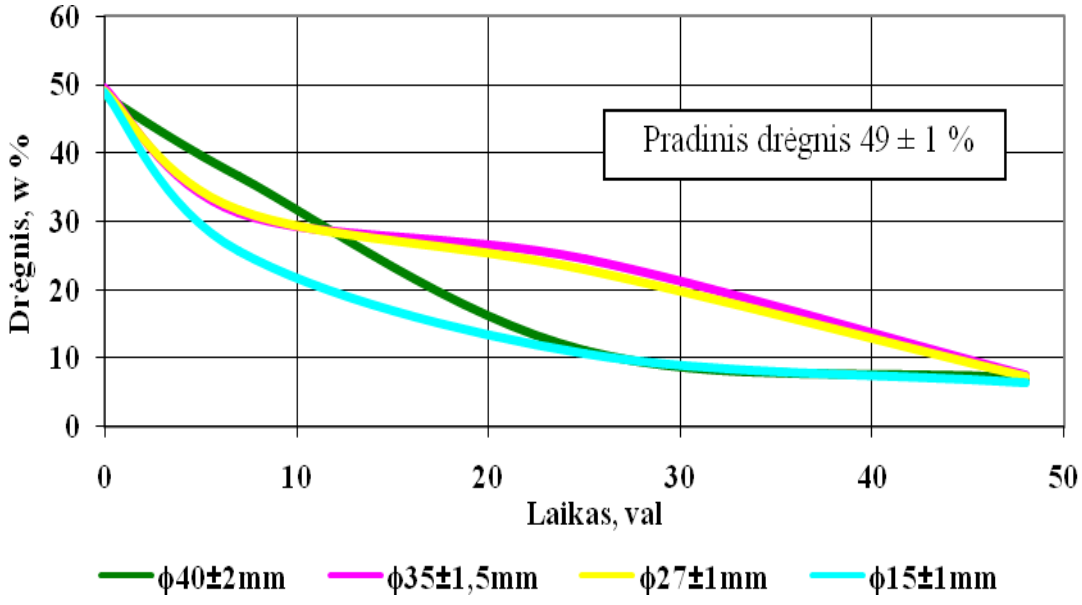
4.10 pav. Alksnių drėgnio kitimas esant 70 ^{0}C temperatūrai.

Atlikus tyrimus 70 ^{0}C temperatūroje (4.11 pav.), visų keturių mėginių centruose temperatūra kito tolygiai. Naudojant aukštatemperatūrį džiovinimą iki 70 ^{0}C temperatūros yra naudingiausia, nes tokioje temperatūroje mediena greitai išdžiūna, nespėja daugintis mikroorganizmai, bei nevyksta savaiminis medienos kaitimas. Iš 4.11 paveikslo matome, kad 17 ± 1 mm skersmens alksnio mėginys pasiekė 70 ^{0}C temperatūrą po 30 valandų, 12 ± 0,5 mm ir 27 ± 1 mm skersmens mėginiai išdžiūvo po 42 valandų. Taigi galime teigti, kad intensyviausias drėgmės pašalinimas, su mažiausiais masės nuostoliais, vyko pirmąsias 10 valandų.



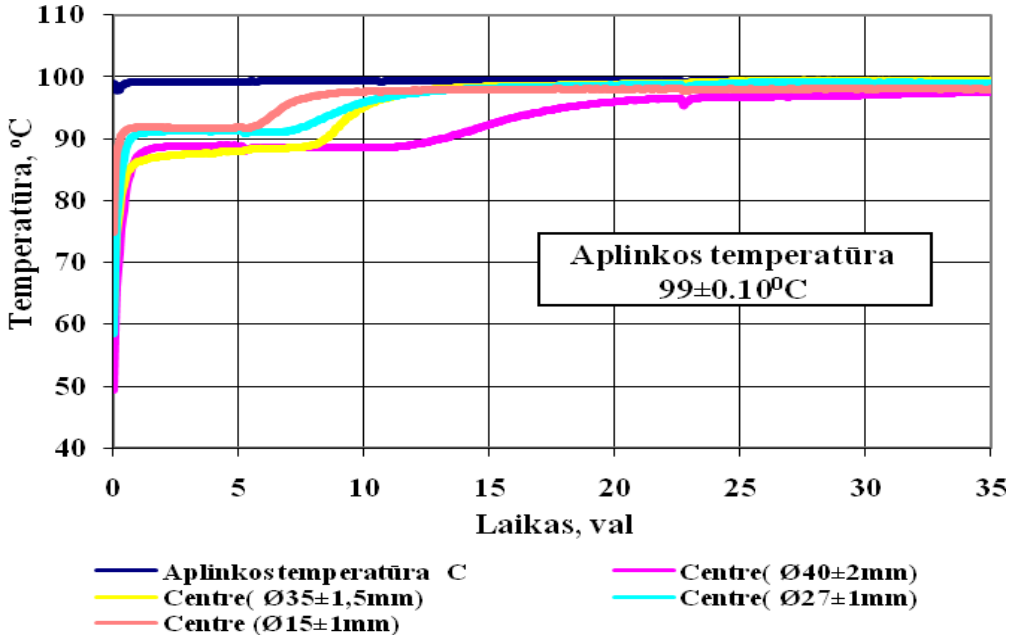
4.11 pav. Skirtingų skersmenų alksnių džiovinimas 70 ^{0}C temperatūroje.

Padidinus tepmeratūrą dar 30 ^{0}C iki 100 ^{0}C temperatūros , džiovinimo procesas pagreitėjo beveik 2 kartus. Smulkiausio 14 ± 1 mm skersmens alksnio mėginys išdžiūvo per 15 valandų, nepilnai per parą. 27 ± 1 mm ir 35 ± 1,5 mm alksnių džiovinimas vyko daugiau kaip 30 valandų. Iš grafiko (4.12 pav.) matyti, kad stambiausio 40 ± 2 mm skersmens alksnis išdžiūvo greičiau negu 35 ± 1,5 mm ir 27 ± 1 mm, tai galėjo lemti medienos fizikinės – mechaninės savybės, arba temperatūrą matuojančių termoporų netikslumas.

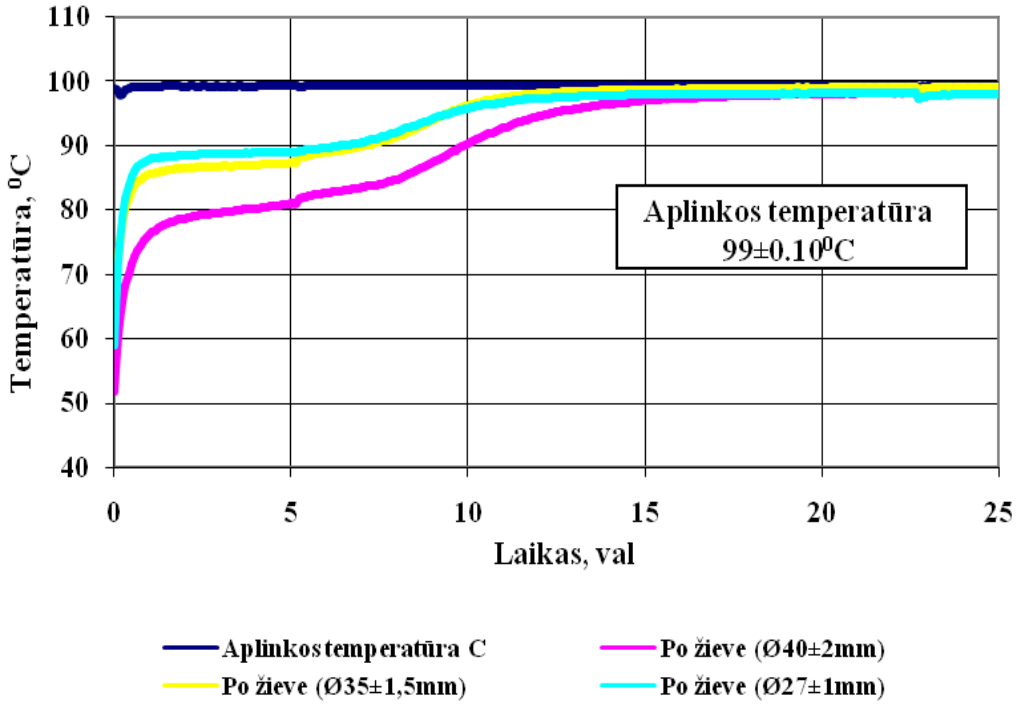


4.12 pav. Alksnių drėgnio kitimas esant 100 ^{0}C temperatūroje.

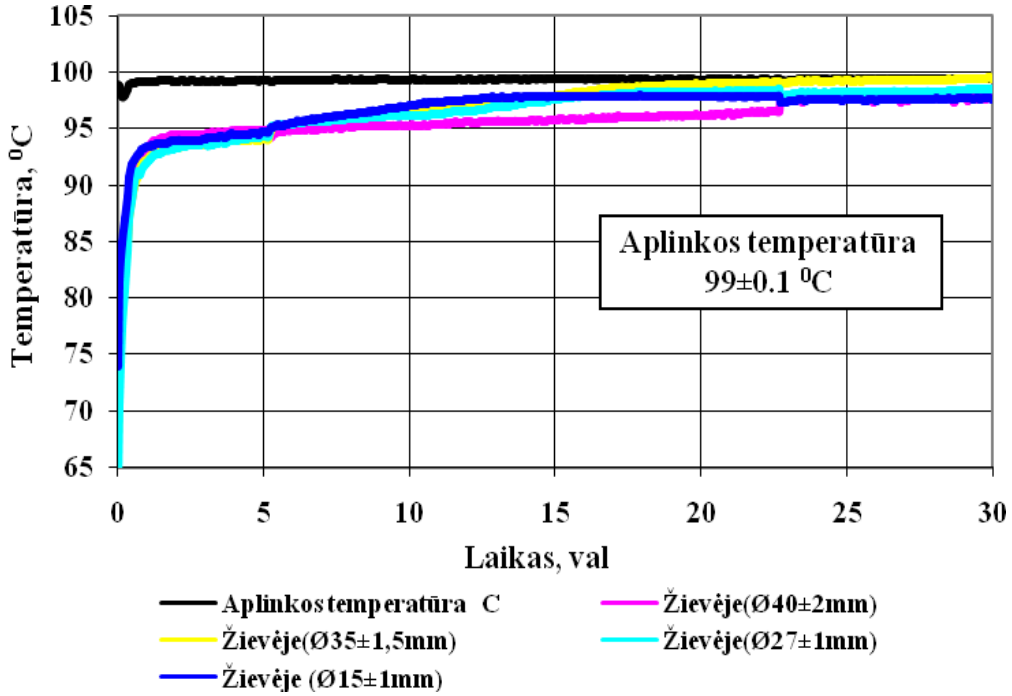
100 ^{0}C temperatūrą džiovinimo procese palaikyti gan sunku, ir reikalauja daug energetinių sąnaudų, tačiau toks džiovinimas beveik nepakeičia medienos fizinių – mechaninių savybių, masės nuostoliai būna minimalūs, medienai negresia savaiminis kaitimas ilgesnio sandėliavimo metu. Produkcijos realizavimo greitis gali padidėti nuo kelių iki keliolikos kartų. Tiek centre (a), tiek žievėje (b), tiek po žieve (c) džiovinimo procesas vyksta sklandžiai ir greitai (4.13 pav).



a)



b)



c)

4.13 pav. Skirtingų skersmenų alksnių džiovinimas 100 ^{0}C temperatūroje: a) centre; b) po žieve; c) žievėje.

Džiovinant nesmulkintus 200 mm ilgio alksnių mėginius (4.13 pav.), galime pastebėti, kad džiovinimas 100 ^{0}C temperatūroje greičiausiai prasidėjo žievėje. Vėliau artimą džiovinimo temperatūrą pasiekė po žieve esantis medienos sluoksnis. Džiovinimas buvo laikomas baigtu, kuomet 100 ^{0}C temperatūrą pasiekė ir medienos centras. 15 ± 1 mm skersmens alksnio mėginys išdžiuvo greičiausiai per 15 valandų (šiam mėginiui, dėl skersmens didumo, nebuvo matuota temperatūra po žieve). 27 ± 1 mm skersmens mėginys išdžiuvo per 20 valandų, 35 ± 1,5 mm skersmens mėginys per 22 valandas, o 40 ± 2 mm skersmens alksnis per 25 valandas.

Taigi išanalizavę keturias džiovinimo temperatūras matome, kad 100 ^{0}C temperatūroje nesmulkintų alksnių džiovinimas vyksta greičiausiai, tačiau tai pats energoimliausias džiovinimo procesas. Taupant energines sąnaudas galima naudoti 50 ^{0}C temperatūrą džiovinimui, tačiau tai bus apie 2,5 kartus lėtesnis džiovinimo procesas negu džiovinant 100 ^{0}C temperatūroje. Kuo medieną greičiau išdžiovinsime, tuo turėsime mažesnius masės nuostolius. Džiovinant nesmulkintus alksnius džiovinimo spintoje, padidinus temperatūrą du kartus, džiovinimo laiką sutrumpiname 1,8 karto.

IŠVADOS

1. Literatūros analizė, bei atlikti tyrimai leidžia teigti, kad džiovinimo proceso intensyvumą apsprendžia džioviklio judėjimo greitis ir jo temperatūra.
2. Intensyviausiai konvekcinis džiovinimas vyksta tada, kada oro filtracijos greitis yra 0,14 ± 0,02 m/s, sumažinus oro filtracijos greitį iki 0,05 m/s, džiovinimo laikas pailgėja 2 kartus.
3. Ekonomiškiausias džiovinimas naudojant aktyviąją ventiliaciją yra tuomet, kuomet oro greitis yra ne mažesnis negu 0,11 ± 0,01 m/s.
4. Džiovinant nesmulkintus alksnius džiovinimo spintoje, padidinus temperatūrą du kartus, nuo 50 ^{0}C iki 100 ^{0}C, džiovinimo laiką sutrumpinome 1,8 karto.
5. Aukštatemperatūrinis džiovinimas yra geriausias tuomet, kuomet nesmulkintų alksnių šakų skersmuo nedidesnis, negu 27 ± 2 mm.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Miškinis V. Kietojo biokuro apskaitos energijos gamybos šaltiniuose taisyklės. Lietuvos energetikos institutas, 2011. 7 p.
2. Pedišius N. Medienos kuras Lietuvos energetikos ūkyje. 2001, [Žiūrėta 2013-01-28]. Prieiga per: <http://ausis.gf.vu.lt/mg/nr/2001/12/12kur.html>.
3. Podlipskaja A. Medienos kuro gamybos ir naudojimo analizė. LŽŪU, Miškotvarkos katedra. LŽŪU. 2011, P. 54 – 59.
4. Vrubliauskas S. Biomasė energijai gauti. 2000, [Žiūrėta 2013-02-05]. Prieiga per: < http://ausis.gf.vu.lt/mg/nr/2000/04/4bmase.html>.
5. Simpson W. Equilibrium moisture content of wood in outdoor location in the United States and worldwide. USDA Forest Serv. Res.1998, P. 69-77.
6. Ciganas N., Raila A. Aplinkos oro veiksnių įtaka sandėliuojamų medienos skiedrų džiovinimo procesui. LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai. 2010, 42 (4), P. 71 – 85.
7. Plieskis K,. Jasinskas A. Susmulkintų gluosnių stiebų masės džiovinimas aktyviosios ventiliacijos įrenginiais. LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai. 2010, 89 (42), 68 p.
8. Lietuvos miškų ūkio statistika 2009. Valstybinė miškotvarkos tarnyba. [Žiūrėta 2011–12–22] Prieiga per: http://www.lvmi.lt/vmt/leid_tables/012-025_LMUS%2009_failas_1036.pdf.
9. Ozolinčius R., Mikšys V. Energetinė miškininkystė. Kokia jos ateitis Lietuvoje? Baltijos miškai ir mediena. Kaunas, 2006. P. 44 – 50.
10. Kraujalis V. Biokuro ištekliai valstybiniuose miškuose ir jo gamybos reikšmė ir įtaka miškininkystei. Kaunas, 2006.
11. Kuro ir energijos balansas. Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės//A421. Vilnius, 1999. 29 p.
12. Lietuvos žemės ūkis. Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės//A500. Vilnius, 1999. 59 p.
13. Galinis A. 2011-2020 metų kompleksinės investicinės programos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje parengimas ir įgyvendinimo priemonių sukūrimas. Kaunas, 2011.
14. Lietuvos biomasės energetikos asociacija LITBIOMA. Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo veiksmų planas 2010–2020 m. Vilnius, 2008.
15. Jasinskas A., Nakčiūnas M. Gluosnių stiebų smulkinimo kokybės nustatymas ruošiant biokurą. LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai. 2011, 43 (1).

16. Lietuviškoji tarybinė enciklopedija. Vilnius, 1981. 640 p.
17. Visuotinė lietuvių enciklopedija. Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas. Vilnius, 2008. 560 p.
18. Raila A., Navickas K. Biomasės inžinerija. Kaunas. Akademija, 2008, P. 82 – 83.
19. LST EN 14775:2010. Lietuvos standartas „Kietasis biokuras. Peleningumo nustatymas“.
20. Gedminas A., Ozolinčius R. Kaip ir kokie miškai auginami malkoms, arba energetinė miškininkystė. Kaunas, 2009.
21. CEN/ts 14774-2: solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: total moisture - simplified method.
22. Villu V., Kask U., Muiste P. Biokuro naudojimo žinynas. Vilnius, 2007. 29 p
23. Balandis A., Leskauskas B., Šinkūnas S. Chemijos inžinerija II. Kaunas, 2007. 526 p.
24. Jasinskas A., Scholz V. Augalų biomasės nuėmimo ir ruošimo kurui technologijos ir jų vertinimas. Raudondvaris, 2008. 74 p.
25. Kučinskas V., Pauza M. Žemės ūkio produktų džiovinimas aktyviąja ventiliacija. Vilnius, 1966. 104 p.
26. Siau J.F. Wood: influence of moisture on physical properties. Virdžinija, 1995. 32 p.
27. Kuzmienė G., Pažarauskienė J., Sirtautienė S. Augalininkystės produktų laikymas ir perdirbimas. Mokslas, 1999. 381 p.
28. Skaar C. Wood – water relations. Berlin, 1998. 283 p.
29. Hunter A. Equilibrium moisture content and the movement of water through wood above fiber saturation. Wood Sci. Technolog, 1995, P. 129-135.
30. Lu J.P., Leicester R.H. Effect of cyclic humidity exposure on moisture diffusion in wood. Wood Fiber Sci. 29, 1997. 68–74 p.
31. River B. H., Vick C. B., Gillespie R. H. Wood as an adherend. New York, 1991. 238 p.
32. Jasinskas A. Gluosnių stiebų pjaustinio fizikinių – mechaninių savybių nustatymas. LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai. 2010, 42 (4), P. 44 – 59.
33. Genutis A., Stašelis A. Medienos kapojų ventiliavimo energetinių sąnaudų analizė. LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai. 2001, 33 (4), P. 107 – 144.
34. Kučinskas J. Žemės ūkio mašinų paruošimas darbui. Šieno ir grūdų džiovinimas. Kaunas. Smaltija, 2000. 128 p.
35. Budrys R., Anderson L. Miško kuro ruošos integravimas į miškų ūkį. Lietuvos miškų institutas, 2003. 31 p.
36. Jasinskas A., Plieskis K.Gluosnių stiebų pjaustinio masės kitimo dinamika laikymo metu. LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai. 2008, 40 (3), P. 80 – 93.

37. Šateikis I. Atsinaujinančios energijos gavybos ir naudojimo Lietuvos žemės ūkyje potencialas. LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai. 2000, 4, P. 70.
38. Aleinikovas M,. Venslauskas K. Biomasės bioenergetikai plėtros perspektyvos ir iššūkiai. Konferencinė medžiaga. Kaunas, 2012 sausio 11d.
39. Jasinskas A., Liubarskis V. Energetinių augalų auginimo ir naudojimo kurui technologijos. Kaunas, 2006.
40. Jasinskas A. Gluosnių auginimas kurui: studija. Raudondvaris, 2006. 49 p.
41. Lietuvos miškų institutas. Miškininkystė. Kaunas, 2000, 4, 48 p.
42. Lietuvos miškų ūkio statistika Valstybinė miškotvarkos tarnyba. Aplinkos ministerija. Kaunas, 2006. 144 p.
43. Atsinaujinantys energijos šaltiniai. 2008 [žiūrėta 2012 liepos 15d.]. Prieiga per internetą: http://www.renergija.lt/gluosniai.
44. Kaminskienė J. Tikimybių teorija ir matematinė statistika. Metodiniai patarimai. LŽŪU, 2008. 78 p.

.

MOKSLINIO DARBO APROBACIJA

Tyrimų rezultatai paskelbti mokslinėje konferencijoje:

Miniotaitė E., Novošinskas H. Alksnių džiovinimas aktyviąja ventiliacija. Studentų mokslinė konferencija „Jaunasis mokslininkas“ ASU, 2013 04 18.

Tyrimų rezultatai paskelbti mokslo leidinyje:

Miniotaitė E., Novošinskas H. Alksnių džiovinimas aktyviąja ventiliacija. Agroinžinerija ir energetika. 2013, Nr. 18, P. 42 - 46

Mokslinio straipsnio kopija pateikta 1 priede.

1 priedas

ALKSNIŲ DŽIOVINIMAS AKTYVIĄJA VENTILIACIJA

Eglė Miniotaitė, Henrikas Novošinskas

Įvadas

Pagrindinė ir labiausiai naudojama kietojo biokuro rūšis yra mediena. Mediena – tai tradicinis kuras, kuris yra naudojamas nuo neatmenamų laikų, neprarandantis populiarumo ir šiandien. Laikui bėgant medieną keitė dujos, akmens anglis, tačiau vis didėjančios kainos, priverčia mus žvalgytis į alternatyvaus kuro panaudojimą energijai gaminti [1].

Lietuvoje šiuo metu plačiausiai naudojamas įvairių rūšių medienos kuras. Tai lemia daugelis priežasčių: nemažos medienos kuro atsargos, nedidelė šio kuro kaina, santykinai nebrangios technologijos energijai iš medienos kuro gauti. Be to, naujos medienos kuro deginimo technologijos leidžia sumažinti kartu su degimo produktais išmetamų teršalų kiekius. Ne išimtis ir alksninė mediena. Vienas iš potencialių miško kuro šaltinių yra kirtimo atliekos, kurių kasmet Lietuvoje galima panaudoti kurui apie 0,8 mln.m^3 [2]. Kirtimo atliekas sudaro medžių viršūnės, smulkūs stiebai, kelmai, šakos [3]. Ką tik nukirstų alksnių drėgnis gali svyruoti nuo 50 iki 60% [4]. Siekiant išvengti ir apsaugoti medieną nuo mikrobiologinių veiksnių ir savaiminio medienos kaitimo, laikymo procesas turi būti kontroliuojamas [5]. Medieną deginti geriausiai sausą, tačiau neturint galimybių išdžiovinti, galima alksnių skiedras deginti 40 – 50% drėgnio. Tokiu atveju reikėtų katilinių su specialiomis pakuromis drėgnam kurui deginti.

Džiovinimas - tai procesas, kurio metu iš kietos medžiagos pašalinama drėgmė. Ekonominiu ir techniniu atžvilgiu ypač efektyvus yra džiovinimas, panaudojant aktyviąją ventiliaciją. Aktyvioji ventiliacija nuo kitų džiovinimo būdų skiriasi tuo, kad čia medžiaga džiovinama storame nejudančiame sluoksnyje, mažai pašildant orą, arba visai nešildant. Naudojamas džiovinimui oras prapučiamas per džiovinamą medžiagą. Prapučiamo oro kryptis paprastai būna vertikali iš apačios į viršų, rečiau radikali iš centro į išorę [6,7]. Ventiliaciją galima atlikti mechaninėmis priemonėmis (ventiliatoriais), bei natūraliu būdu: panaudojant vėjo energiją, arba natūralią ventiliaciją dėl temperatūrų, bei oro tankio skirtumų.

Tikslas – ištirti alksnių, kaip atsinaujinančių energetinių augalų džiovinimo procesą.

Uždaviniai:

- Ištirti drėgmės, masės ir temperatūros kitimo dėsningumus;
- Nustatyti alksnių džiovinimo trukmę.

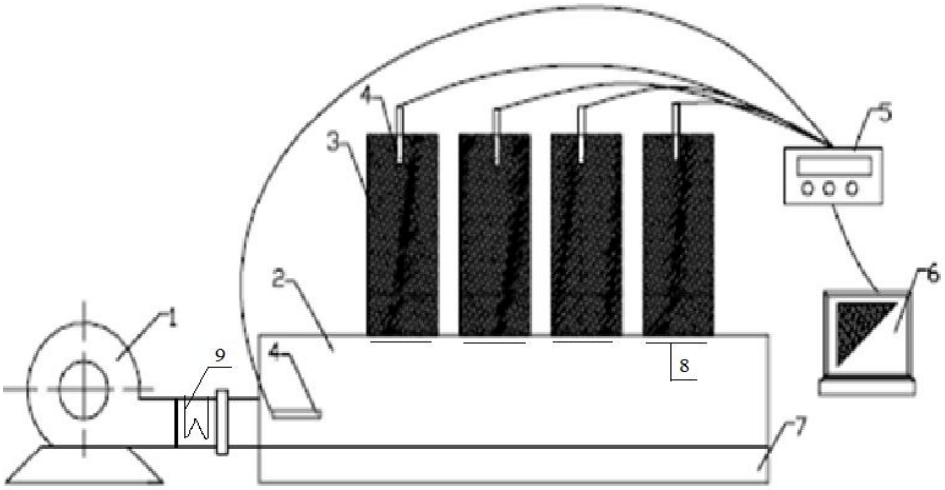
Tyrimų objektas ir metodika

Žinant, kad efektyviausias džiovinimas vyksta tuomet, kuomet yra naudojama intensyvi ventiliacija ir kaitinamas džiovinimo produktas. Todėl tyrimai buvo atliekami dviem etapais:

I etape – nustatėme tinkamiausią ventiliuojamo oro intensyvumą džiovinant alksnių skiedras aktyviąja ventiliacija;

II etape – buvo ištirta temperatūros įtaka džiovinimui, džiovinant nesmulkintus alksnius džiovinimo spintoje.

I etapo metu tyrimams buvo naudojamos smulkintuvu (AL-KO-Silent Power4000) susmulkintos, 1-3 cm dydžio, alksnių skiedros (miško kirtimo atliekos). Susmulkinta mediena, buvo džiovinama, specialiai tyrimams suprojektuotame aktyviosios ventiliacijos stende (1 pav). Ventiliatoriaus 1 pūtė orą į pastovaus statinio slėgio kamerą, kurioje oras buvo paskirstomas į keturias talpas. Kiekvienoje talpoje sklendėmis 8 buvo sureguliuojamas reikiamas oro srautas (m/s). Visose keturiose talpose 3 buvo supilamas vienodas kiekis 50% drėgnio susmulkintų alksnių, o tiekiamas oras, praeinantis pro produkciją, elektrokoloriferiu 9 pašildomas iki 20^{o}C temperatūros. Džiovinamo oro temperatūra ir santykinis drėgnis buvo užfiksuojami jutiklių 4 pagalba ir kaupiami antrinio prietaiso ALMEMO 5690-2M kaupiklyje 5, vėliaus suvedami į kompiuterį 6 .



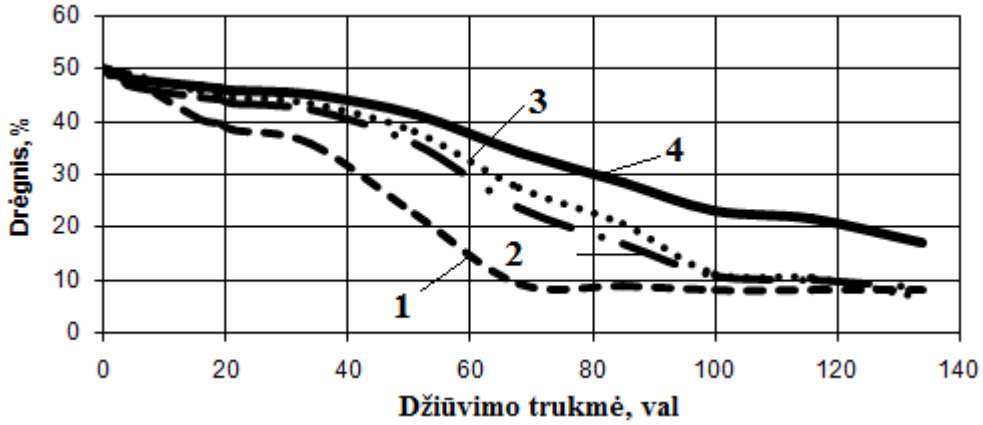
1 pav. Alksnių džiovinimo stendo schema:
1 – ventiliatorius, 2 – oro paskirstymo kanalas, 3 – ventiliavimo cilindrai su alksniais, 4 –temperatūros ir drėgnio jutikliai, 5 – duomenų kaupiklis ALMEMO 5690-2M, 6 – kompiuteris, 7 – pamatas, 8 – sklendė, 9 – elektrokoloriferis.

II etapo metu buvo nustatytas temperatūros poveikis džiovinimo procesui. Tyrimai buvo atlikti džiovinimo spintoje, panaudojant skirtingo skersmens (12mm, 17mm, 27mm, 33mm), 200 mm ilgio, nesmulkintus keturis alksnių mėginius. Į kiekvieną mėginį buvo įvestos temperatūrą matuojančios termoporos, kurios temperatūrą fiksuodavo alksnio žievėje, po žieve ir centre. Taip pat buvo matuojamas aplinkos drėgnis ir temperatūra. Džiovinimo bandymai buvo kartojami

keturis kartus prie skirtingų temperatūrų (30^{o}C, 50^{o}C, 70^{o}C ir 100^{o}C). Antrinio prietaiso, ALMEMO 5690-2M, pagalba duomenys buvo fiksuojama kas 5 minutes ir vėliau įrašomi į kompiuterį.

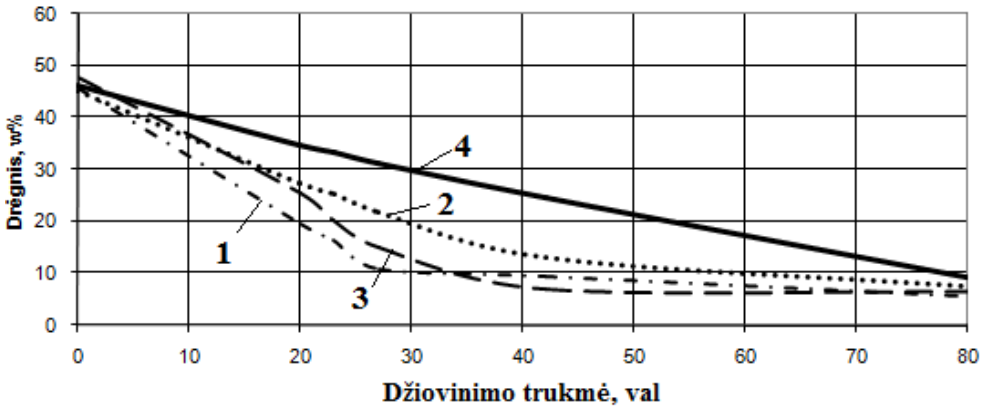
Tyrimų rezultatai

Džiovinant susmulkintus alksnius aktyviosios ventiliacijos metu, nustatyta, kad esant oro filtracijos greičiui v=0,141 m/s alksniai iki 12-10% išdžiūsta per 65 valandas (2 pav). Pamažinus oro filtracijos greitį beveik 3 kartus, iki v= 0,05 m/s, smulkinta mediena, net per 130 valandų, nepasiekia tinkamo drėgnio.



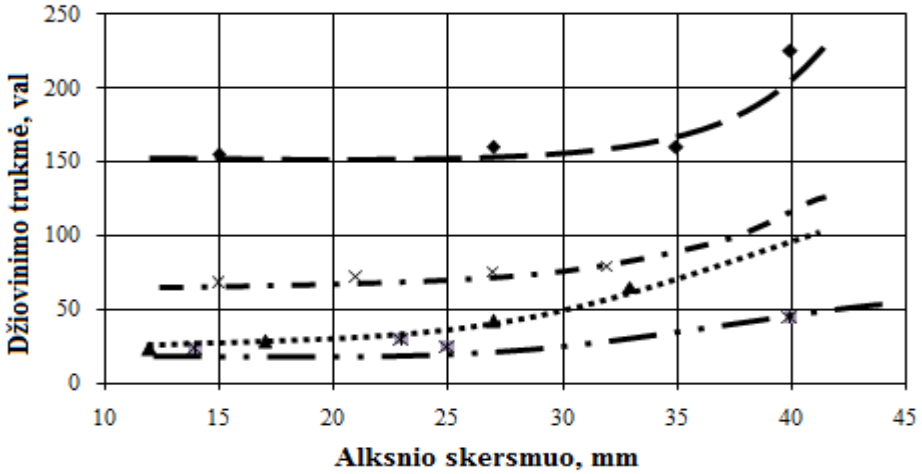
2 pav. Smulkintų alksnių drėgnio kitimas, esant skirtingiems oro filtracijos greičiams:
1 - v=0.141 m/s; 2 - v= 0.113 m/s; 3 - v= 0.122 m/s; 4 - v=0.05 m/s.

Džiovinant nesmulkintus alksnius, džiovinimo spintoje, skirtingomis temperatūromis, dėl netolygios drėgmės pasiskirstymo, vyksta drėgmės judėjimas. Tyrimams buvo naudojamos, apie 50 % drėgnio, 200 mm ilgio ir skirtingų skersmenų, alksnių kirtimo atliekos.



3 **pav**. Skirtingų skersmenų alksnių džiovinimas 70^{o}C temperatūroje:
1- ϕ12mm; 2- ϕ27mm; 3- ϕ17mm; 4- ϕ33mm.

Kaip kinta drėgnis džiovinant 70 ^{o}C temperatūroje matome 3 paveikslėlyje. Greičiausiai, per 25 valandas, išdžiuvo alksnis, kurio skersmuo 12mm. Galime teigti, kad temperatūra didžiausią įtaką turėjo praėjus 40 valandų nuo džiovinimo pradžios.



4 pav. Skirtingų skersmenų nesmulkintų alksnių džiovinimas:
1 – 30 ^{o}C; 2 - 50 ^{o}C; 3 - 70 ^{o}C; 4 - 100 ^{o}C temperatūrose.

Panaši tendencija matoma džiovinant ir kitose temperatūrose. Nustatyta, kad džiovinant 30^{o}C temperatūroje skirtingo skersmens alksnius iki 15% drėgnio išdžiovinome per 225 valandas. Pakėlus temperatūrą iki 50^{o}C pasiekėme geresnių rezultatų ir alksniai po 78 valandų buvo išdžiuvę iki reikiamo 15% drėgnio. Taip pat galime teigti, kad džiovinant, 70^{o}C temperatūroje, alksnio skersmuo turėjo mažesnę įtaką džiūvimui. Padidinus temperatūrą 20^{o}C džiovinimas sutrumpėjo daugiau negu 14 valandų. Efektyviausias džiovinimas vyko tuomet, kai temperatūra buvo 100^{o}C, ir tai užtruko apie 23 valandas (žiūrėti 4 pav.).

Išvados

1. Susmulkintų alksnių ekonomiškiausias džiovinimas naudojant aktyviąja ventiliaciją yra tuomet, kuomet oro greitis yra ne mažesnis negu 0,113 m/s.
2. Džiovinant nesmulkintus alksnius džiovinimo spintoje, padidinus temperatūrą du kartus, džiovinimo laiką galima sutrumpinti 1,8 karto.

Literatūra

1. Pedišius N. Medienos kuras Lietuvos energetikos ūkyje. 2001. [Žiūrėta 2013-01-28]. Prieiga per: <http://ausis.gf.vu.lt/mg/nr/2001/12/12kur.html>.
2. Podlipskaja A. Medienos kuro gamybos ir naudojimo analizė. Jaunasis mokslininkas. 2011. p 54-56.

3. Vrubliauskas S. Biomasė energijai gauti. 2000. [Žiūrėta 2013-02-05]. Prieiga per: < http://ausis.gf.vu.lt/mg/nr/2000/04/4bmase.html>.
4. Simpson W. Equilibrium moisture content of wood in outdoor lokation in the United States and worldwide. 1998. USDA Forest Serv. Res. Note FPL-RN-0268.
5. Ciganas N., Raila, A. Aplinkos oro veiksnių įtaka sandėliuojamų medienos skiedrų džiovinimo procesui. LŽŪU. Mokslo darbai, . 2010. 71-85 p.
6. Plieskis K., Jasinskas, A. Smulkintų gluosnių stiebų masės džiovinimas aktyviosios ventiliacijos įrenginiais. LŽŪU. Technologijos mokslas, 2010. 68 p.
7. Raila A., Navickas K. Biomasės inžinerija. Kaunas. Akademija, 2008, 82 – 83p

Summary

The aim of this study was to investigate the alder as a renewable energy crop for biofuel preparation, drying process. For the proper use of wood should dry it to 8-15% moisture. Research conducted at the A. Stulginskis university, Heat and Biotechnological Engineering laboratory, with two different drying variants: active ventilation (wood chips) and drying oven (whole wood).

The Experimental studies have established that the most cheapest way is drying alder with active ventilation. 50% of the moisture content of dried wood is best used when air flow not less than 0.113m/s. Drying is fastest, when the temperature is about 100 ^{o}C. Reducing the temperature by 30 °C degrees drying time increases by 1.6 times. Most likely to dry about 12 millimeters diameter alder samples.

Eglė Miniotaitė – ASU Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos instituto magistrantė; tel. +370 67694216, el. p. eglle@info.lt

Henrikas Novošinskas – ASU Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos instituto docentas; tel. +370 6824108, el. p. henrikas.novosinskas@asu.lt