



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Lukas Stumbra

UOSIO MEDIENOS TERMINIS MODIFIKAVIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Darius Albrektas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

UOSIO MEDIENOS TERMINIS MODIFIKAVIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Medienos inžinerija (621J53001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Darius Albrektas
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Inga Juodeikienė
(data)

Projektą atliko

(parašas) Lukas Stumbra
(data)

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Lukas Stumbra

(Studento vardas, pavardė)

Medienos inžinerija (621J53001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Uosio medienos terminis modifikavimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 22 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Luko Stumbros**, baigiamasis projektas tema „Uosio medienos terminis modifikavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Stumbra, Lukas. Uosio medienos terminis modifikavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Darius Albrektas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Medienos dirbinių technologijos

Reikšminiai žodžiai: *terminis medienos modifikavimas, uosio mediena, matmenų pokytis, masės pokytis, tankio pokytis.*

Kaunas, 2017. 50 psl.

SANTRAUKA

Šio mokslinio darbo tikslas – įvertinti terminio modifikavimo temperatūros ir matmenų įtaką uosio medienai.

Tyrimui atlikti buvo naudojami iš uosio medienos išpjauti bandiniai. Bandiniai buvo 4 skirtingų matmenų grupių: $10 \times 10 \times 20$ mm, $20 \times 20 \times 20$ mm, $30 \times 30 \times 30$ mm, $40 \times 40 \times 40$ mm. Iš viso tyrime panaudota 640 vienetų bandinių. Kiekvienos grupės bandinių matmenys buvo išmatuoti slankmačiu ir pasverti elektroninėmis svarstyklėmis, nustatyta kiekvieno bandinio rievių skaičius viename cm. Nustačius medienos bandinių pradinis parametrus, kiekviena bandinių grupė buvo padalinta į keturis pogrupius (viso 16 pogrupių) pagal terminio apdorojimo temperatūrą, t. y. $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $230\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kiekvieno iš šių pogrupių bandiniai buvo kaitinti 3 valandas laboratorinėje krosnelėje. Po kaitinimo bandiniai buvo vėl pasverti ir išmatuoti. Nustatytas bandinių matmenų, masės ir tankio pokytis.

Tyrimo metu nustatyta, jog kaitinant uosio medieną aukštesiose temperatūrose, tūrio ir masės pokytis priklauso nuo kaitinimo temperatūros, bandinių matmenų ir pluošto krypties, bandinio išpjovimo krypties, tankio ir rievių skaičiaus.

Kaitinant uosio medieną $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrose masės, tūrio ir tankio pokyčiai gauti iki 1 %. $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje kaitinamos medienos tankis ir tūris sumažėjo apie 3 %, o masė – apie 6 %. Didžiausi pokyčiai užfiksuoti $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje – tūris sumažėjo apie 9,6 %, tankis – apie 18,7 %, o masė – apie 26,6 %. Didžiausias tūrio pokytis buvo mažiausių matmenų bandiniams, o mažiausias – didžiausių matmenų grupėms. Didėjant bandinių matmenims, medienos tankio ir masės pokytis didėjo.

Stumbra, Lukas. *Thermal Modification of Ash Wood*: Master's thesis in Wood Engineering/ supervisor doc. dr. Darius Albrektas. Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, Polymers and Textiles Technology

Key words: *thermal modification, heat treatment, ash wood, mass loss, volume loss, density loss.*

Kaunas, 2017. 50 p.

SUMMARY

The objective of this scientific study was to determine how the heating process affects different dimensions of ash wood.

The specimens of research were 4 different size groups: $10 \times 10 \times 20$ mm, $20 \times 20 \times 20$ mm, $30 \times 30 \times 30$ mm, $40 \times 40 \times 40$ mm. Every group of specimens was heated at 140 °C, 170 °C, 200 °C and 230 °C temperatures for 3 hours. In all of this investigation were used 640 samples of ash wood. After heat treatment of the specimens, was measured their mass and dimensions using electric scales and caliper. The results were compared with unheated ash wood specimens.

At this scientific study were determined that heating process of ash wood at a high temperatures volume and mass loss depends from the heating temperature, specimens size and grain orientations, direction of cutting of the specimens, the density and the number of the annual growth rings.

The ash wood mass, volume and density changes were around 1% when it was heated at 140 °C and 170 °C temperatures. At 200 °C temperature, volume and density losses were about 3 %, mass loss about 6 %. The biggest decreases were found at 230 °C temperature: volume loss about 9,6 %, density – about 18,7 % and mass – about 26,6 %. The highest change in the volume was for the smallest size samples, and the smallest change - for the largest sample's size groups. When the sample's dimensions were increasing, the wood volume and mass changes were going up too.

TURINYS

ĮVADAS.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	11
1.1. Uosio mediena.....	11
1.2. Terminis medienos modifikavimas “Thermowood“ metodu	13
1.3. Termiškai modifikuotos medienos savybės.....	14
1.3.1. Medienos cheminių savybių pokyčiai terminio modifikavimo metu	17
1.3.2. Medienos biologinio atsparumo pokyčiai terminio modifikavimo metu.....	18
1.3.3. Medienos fizikinių savybių pokyčiai terminio modifikavimo metu.....	18
1.3.4. Medienos mechaninių savybių pokyčiai terminio modifikavimo metu.....	23
1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	24
2. TYRIMŲ METODIKA IR ĮRANGA	25
3. REZULTATAI	27
3.1. Uosio medienos kaitinimas 140 °C temperatūroje	27
3.2. Uosio medienos kaitinimas 170 °C temperatūroje	29
3.3. Uosio medienos kaitinimas 200 °C temperatūroje	32
3.4. Uosio medienos kaitinimas 230 °C temperatūroje	34
3.5. Medienos fizikinių savybių įtaka medienos matmenų pokyčiui	36
3.6. Temperatūros įtaka matmenų pokyčiui skirtingomis pluošto kryptimis	37
3.7. Eksperimentinių duomenų statistinis apdorojimas	43
IŠVADOS.....	47
LITERATŪRA.....	48

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Indų išsidėstymas skersiniame uosio medienos pjūvyje [1]	11
2 pav. Pagrindiniai kamieno pjūviai [2].....	12
3 pav. Uosio medienos tekstūra: a – skersinis pjūvis; b – spindulinis pjūvis; c – tangentinis pjūvis [1]	12
4 pav. Temperatūros ir medienos drėgnio priklausomybė [23]	13
5 pav. Termiškai modifikuojant medieną susidarantys įtempiai ir deformacijos [8]	14
6 pav. Pušies medienos temperatūra ir drėgnis paviršiniuose ir centriniuose jos sluoksniuose kaitinant medieną [5].....	16
7 pav. Temperatūros įtaka medienos cheminiams komponentams [10].....	17
8 pav. Medienos rūšies ir jos tankio įtaka masės pokyčiui [22]	20
9 pav. Medienos kaitinimo temperatūros įtaka masės pokyčiui [22]	21
10 pav. Ažuolo ir pušies mediena kaitinta 200 °C temperatūroje (kairėje), pušies medienos bandiniai kaitinti nuo 120 °C iki 220 °C temperatūrose, kas 20 °C intervale (dešinėje) [4, 12]	22
11 pav. Sunumeruoti bandiniai prieš kaitinimą 103 °C temperatūroje.....	25
12 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 140 °C temperatūroje.....	27
13 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 140 °C temperatūroje.....	28
14 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 140 °C temperatūroje	29
15 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 170 °C temperatūroje.....	30
16 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 170 °C temperatūroje.....	31
17 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 170 °C temperatūroje	31
18 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje.....	32
19 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje.....	33
20 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje	33
21 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 230 °C temperatūroje.....	35
22 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje.....	35
23 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 230 °C temperatūroje	36
24 pav. Matmenų pokytis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 140 °C, 170 °C, 200 °C ir 230 °C temperatūrose	38
25 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokyčio santykis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 140 °C temperatūroje	38
26 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokyčio santykis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 170 °C temperatūroje	40

27 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokytis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 200 °C temperatūroje.....	41
28 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokytis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 230 °C temperatūroje.....	42

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Medienos masės pokytis kaitinant aukštose temperatūrose [23]	21
2 lentelė. Tiriamų bandinių parametrai	25
3 lentelė. Pogrupių trumpiniai	26
4 lentelė. Bandinių masės pokyčio statistinės vertės	44
5 lentelė. Bandinių tūrio pokyčio statistinės vertės	45
6 lentelė. Bandinių tankio pokyčio statistinės vertės	46

ĮVADAS

Medienos kaitinimas – sudėtingas procesas, kurio metu medienoje vyksta cheminiai pokyčiai. Terminio apdorojimo pagrindus pasiūlė mokslininkai Stam ir Hansen (1930 m.), papildė White (1940 m.), toliau vystė Kollman ir Shneider (1960 m.) ir Rusche bei Burmester (1970 m). Terminio medienos modifikavimo tikslas – padidinti atsparumą cheminiams, fizikiniams ir biologiniams veiksniams.

Kaitinant medieną aukštesnėje nei 100 °C temperatūroje, po truputį pradeda irti ekstraktinės medžiagos. Pasiekus apie 150 °C temperatūrą, šios medžiagos praktiškai suyra. Didėjant temperatūrai, pagrindiniai pokyčiai medienoje vyksta dėl hemiceliuliozės irimo proceso. Pasiekus apie 200 °C temperatūrą, pradeda sparčiau irti ligninas. Dauguma mokslininkų teigia, jog būtent šioje temperatūroje hemiceliuliozei yra padaroma didžiausia žala. Kaitinant medieną virš 200 °C, pokyčiai vyksta dėl lignino irimo.

Atlikus literatūros apžvalgą, pastebėta, jog daugumoje mokslinių straipsnių, kuriuose nagrinėjamas terminis modifikavimas, yra pateikiama įvairių savybių įtaka skirtingoms medienos rūšims. Tačiau tyrimų, kuriuose būtų apžvelgiama tos pačios medienos savybių pokyčiai nėra daug. Kadangi mediena yra anizotropinė medžiaga, jos savybės priklauso nuo pluošto krypties ar vietos, kurioje yra išpjauinama iš rąsto. Taip pat svarbu žinoti, kaip medienos pradiniai geometriniai parametrai pakeičia įvairias jos savybes. Magistro baigiamojo darbo tikslas ir uždaviniai yra suformuoti siekiant tai išsiaiškinti.

Tyrimo objektas – skirtingų matmenų uosio medienos bandiniai, termiškai modifikuoti skirtingose temperatūrose.

Tyrimo tikslas – įvertinti terminio modifikavimo temperatūros ir matmenų įtaką uosio medienai.

Tyrimo uždaviniai:

1. Įvertinti termiškai modifikuotos uosio medienos matmenų įtaką tūrio ir masės pokyčiui.
2. Įvertinti terminio modifikavimo temperatūros įtaką matmenų ir masės pokyčiui.
3. Įvertinti tiriamos medienos sandaros įtaką matmenų ir masės pokyčiui terminio modifikavimo metu.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

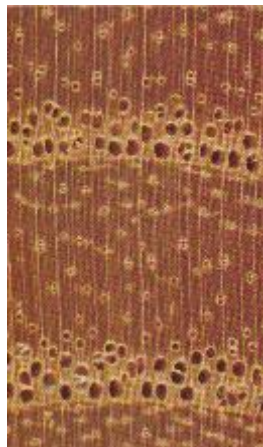
1.1. Uosio mediena

Mediena – unikali medžiaga, kuri pasižymi įvairiomis savybėmis. Tai viena iš stipriausių ir plačiausiai naudojamų organinių medžiagų. Dėl savo natūralumo ir tekstūros mediena tapo neatsiejama architektūros ir namų aplinkos dalimi. Iš medienos gaminamų produktų skalė yra labai plati – tai baldai, konstrukciniai ir dekoratyviniai elementai, kuras, popierius, pastatai, muzikos instrumentai ir t. t.

Medžiai yra skirstomi į dvi grupes – spygliuočius ir lapuočius. Spygliuočių medienoje apytakos ir ramstiniai audiniai yra sudaryti iš tracheidžių. Kaupiamuosius spygliuočių audinius sudaro gyvos parenchiminės ląstelės. Lapuočių medienos mikrostruktūra yra gerokai sudėtingesnė nei spygliuočių ir turi daugiau elementų. Lapuočius sudaro šie audiniai: indai, tracheidės, libriforminis plaušas, šerdies spinduliai ir vertikali parenchima. Pagrindiniai ir lapuočiams būdingiausi elementai yra indai ir libriforminis plaušas. Dauguma lapuočių yra didesnio tankio nei spygliuočiai, dėl to jų mediena dažnai yra brangesnė. Taip pat spygliuočiai medžiai auga sparčiau už lapuočius [2].

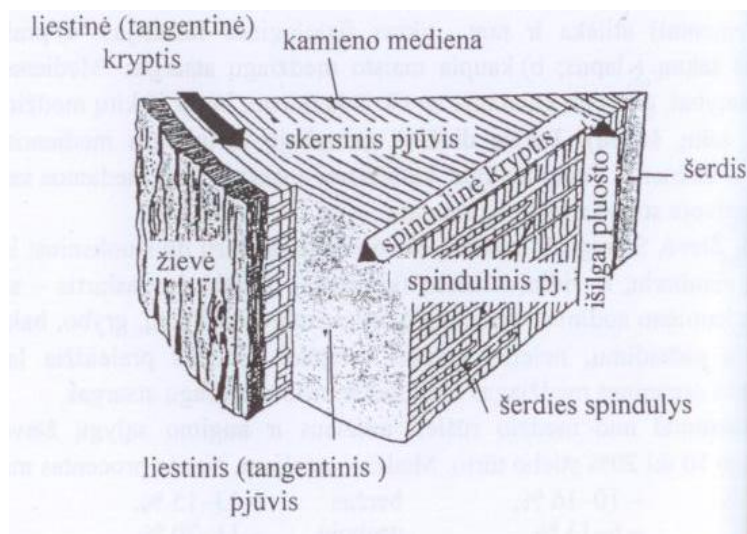
Augančiame medyje indais iš šaknų į lapus teka vanduo. Indai yra tik lapuočių medienoje. Tai įvairaus dydžio vamzdelio formos audiniai, einantys išilgai kamieno. Kadangi ankstyvojoje medienoje uosis turi stambių indų žiedų, uosio mediena yra priskiriama prie žiedaindžių lapuočių grupės. Indai yra skirstomi pagal dydį į stambius ir smulkius.

Uosio medienoje stambūs indai susitelkę ankstyvojoje metinės rievės zonoje, kur sudaro žiedą (1 pav.). Smulkūs indai yra šviesesnės spalvos ir netvarkingai išsibarstę į apskritas arba ovalias smulkias dėmeles. Mechaniniu atžvilgiu indai yra silpni elementai, todėl mažina medienos tvirtumą. Dažniausiai indai būna ne ilgesni kaip 10 cm, tačiau remiantis literatūra, uosio indai gali būti ir labai ilgi, net iki 18 metrų [1,2].



1 pav. Indų išsidėstymas skersiniame uosio medienos pjūvyje [1]

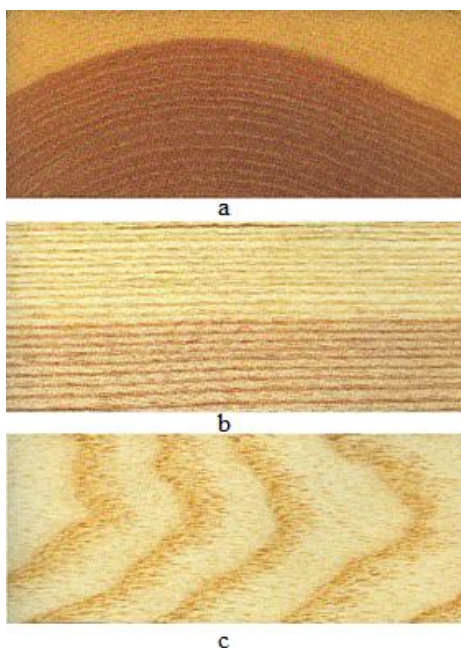
Medienos sandara paprastai tiriama kamieno skersiniame ir išilginiuose pjūviuose (2 pav.). Skersiniu pjūviu vadinamas pjūvis, statmenas kamieno išilginei ašiai. Išilginiu – einantis išilgai kamieno.



2 pav. Pagrindiniai kamieno pjūviai [2]

Skiriami du išilginiai pjūviai: tangentinis ir spindulinis. Spindulinis pjūvis eina per šerdį ir yra statmenas rievės liestinei (jos lietimosi taške). Tangentiniu laikomas išilginis, bet kurioje sortimento vietoje einantis pjūvis, sutampantis su kurios nors rievės liestine. Mediena pasižymi anizotropinėmis savybėmis, t. y. visomis kryptimis medienos savybės yra skirtingos [2].

Uosio medieną nėra sudėtinga apdirbti – ji turi gražią tekstūrą (3 pav.). Dėl panašių savybių į ąžuolo, uosis dažnai yra naudojamas tokiems pat tikslams kaip ir ąžuolo mediena – parketui, drožtam lukštui gaminti ir kt. [1–2].

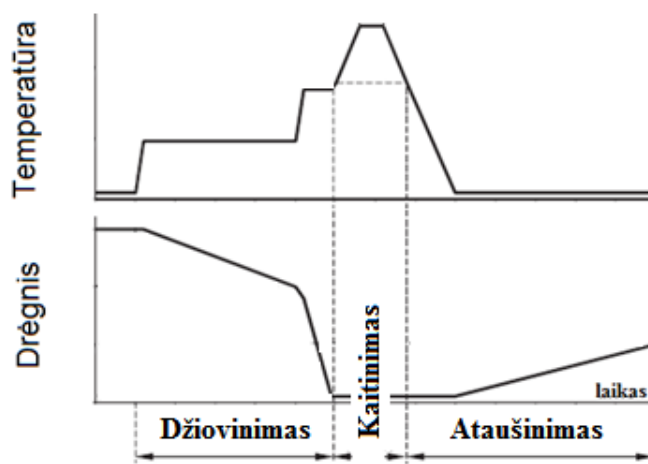


3 pav. Uosio medienos tekstūra: a – skersinis pjūvis; b – spindulinis pjūvis; c – tangentinis pjūvis [1]

1.2. Terminis medienos modifikavimas „Thermowood“ metodu

Terminį medienos modifikavimą „Thermowood“ metodu galima suskirstyti į tris etapus (4 pav.) [23]:

1. Džiovinimas;
2. Kaitinimas;
3. Ataušinimas.



4 pav. Temperatūros ir medienos drėgnio priklausomybė [23]

Pirmajame, džiovinimo etape, naudojant šilumą ir vandens garus temperatūra kameroje ar autoklave gana greitai pakyla iki 100 °C. Vėliau temperatūra gana tolygiai padidinama iki 130 °C. Šiame etape, dėl aukštos temperatūros, medienos drėgnis stipriai mažėja bei tampa beveik lygus nuliui.

Kai džiovinimo etapas baigiamas, temperatūra yra padidinama iki 185–215 °C. Kai pasiekiami reikiama temperatūra – ši išlaikoma pastovi 2 – 3 valandas, priklausomai nuo medienos paskirties.

Trečiasis etapas, tai staigus temperatūros mažinimas, dažniausiai naudojant vandens purškimo sistemas, kai temperatūra pasiekia apie 80–90 °C. Taip drėkinant medieną yra pasiekiamas 4–7% medienos drėgnis.

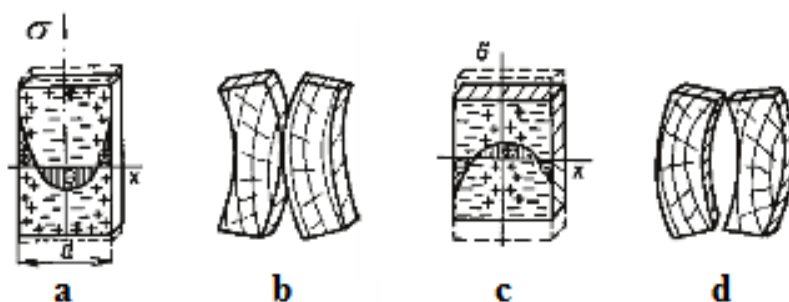
„Thermowood“ mediena yra skirstoma į Termo-D ir Termo-S klases. Termo-D klasei priskiriama mediena, kuri yra kaitinama žemesnėje temperatūroje (atitinkamai 185 °C ir 190 °C). Pagrindinis Termo-D kaitinimo klasės tikslas yra prailginti medienos ilgaamžiškumą. Termo-S klasės kaitinimas vyksta aukštesnėje temperatūroje (200 °C ir 212 °C). Pagrindinis šios klasės tikslas – padidinti medienos matmenų stabilumą.

1.3. Termiškai modifikuotos medienos savybės

Terminio apdorojimo pagrindus pasiūlė mokslininkai Stam ir Hansen (1930 m.), papildė White (1940 m.), toliau vystė Kollman ir Shneider (1960 m.) ir Rusche bei Burmester (1970 m). Taip pat 1990 m. Suomijoje, Prancūzijoje ir Nyderlanduose mokslininkai skyrė ypatingą dėmesį medienos kaitinimo aukštoje temperatūroje tyrimams, kuriuose nustatė, kad medienos atsparumas fiziniams ir biologiniams veiksniams padidėja ją pakaitinus aukštoje temperatūroje. Įvairių mokslininkų yra pateikiamos skirtingos temperatūros intervalai, kuriose mediena yra vadinama termo-mediena. Dauguma autorių teigia, jog termo-mediena yra kaitinama $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, kadangi kaitinimas pasiekus $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrą jau turi išliekamuosius pokyčius medienos cheminėms ir mechaninėms savybėms [4–7].

Terminio medienos modifikavimo tikslas – padidinti atsparumą cheminiams, fizikiniams ir biologiniams veiksniams. Po terminio apdorojimo pakinta medienos spalva, padidėja paviršiaus šiurkštumas. Pakaitinus medieną sumažėja jos tankis ir polinkis sugerti drėgmę. Taip pat pakaitinta mediena pasidaro atsparesnė atmosferos ir grybų poveikiui [4–7].

Apdorojamos termiškai medienos paviršius būna sausesnis negu vidiniai sluoksniai, dėl to tose vietose tam tikru momentu susidaro įtempiai. Kadangi įtempių ir deformacijų susidarymas yra svarbus reiškinys, jį verta panagrinėti smulkiau. Analizuojamas deformacijų ir įtempių taikomas teorinis modelis. Šiame modelyje nepaisoma medienos sandaros anizotropijos, t. y. laikoma, kad mediena termiškai modifikuojama tangentine ir spinduline kryptimis vienodai, o drėgmė modifikuojant slenka tik sortimento storio kryptimi [8–9].



5 pav. Termiškai modifikuojant medieną susidarantys įtempiai ir deformacijos [8]

Prieš terminį apdorojimą medienos drėgnis pasiskirsto tolygiai visame sortimente. Šiek tiek pakaitinus medieną, paviršinių sluoksnių drėgnis greitai sumažėja. Tuo metu paviršiniai sluoksniai pradeda trauktis. Centrinųjų sluoksnių drėgnis tuo momentu yra didesnis už pačio sortimento, todėl

jie nesitraukia. Medienoje susidaro vidiniai įtempiai: tempimo ir gniuždymo (5 pav., a). Tempimo įtempiai atsiranda, kadangi centriniai sluoksniai neleidžia trauktis paviršiniams sluoksniams. Tuo pačiu paviršiniai sluoksniai gniuždo centrinius sluoksnius patys besitraukdami. Džiovinamas sortimentas perpjautas pusiau išlinktų kaip parodyta 5 pav., b.

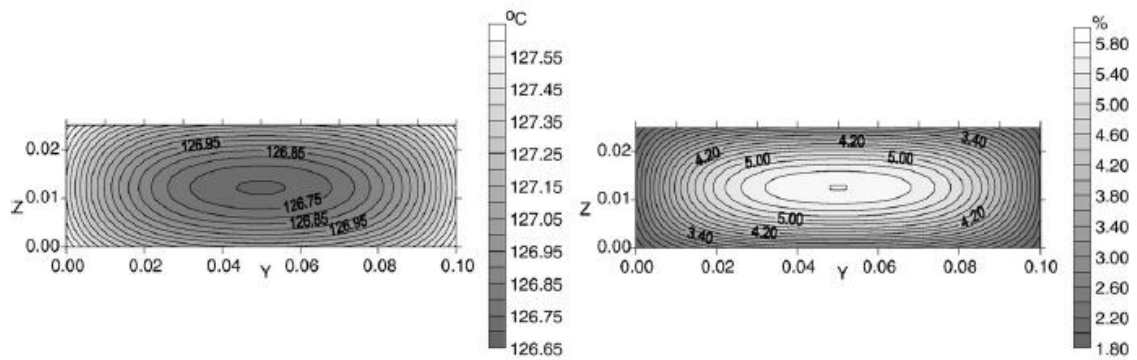
Tolimesniame terminio modifikavimo procese, drėgmė vis garuoja iš paviršiaus, slenka iš centrinių sluoksnių paviršiaus link. Dėl to centriniuose sluoksniuose palaipsniui pradeda mažėti drėgmės kiekis, tačiau vis tiek ženkliai didesnis už paviršinių sluoksnių drėgmės kiekį. Šiuo momentu medienos sortimente vidinių įtempių nėra, tačiau sortimento matmenys jau tampa mažesni už pradinius.

Baigiant termiškai modifikuoti medieną, jos drėgnis skerspjuvyje beveik susivienodina, t. y. centriniuose ir paviršiniuose medienos sluoksniuose tampa panašus. Centriniai sluoksniai mažėdami gniuždo paviršinius sluoksnius ir sortimente susidaro vidiniai įtempiai: centriniuose sluoksniuose – tempimo, paviršiniuose – gniuždymo (5 pav., c). Tuo metu išpjautas sortimentas išlinktų pagal pateikiamą schemą 5 pav., d.

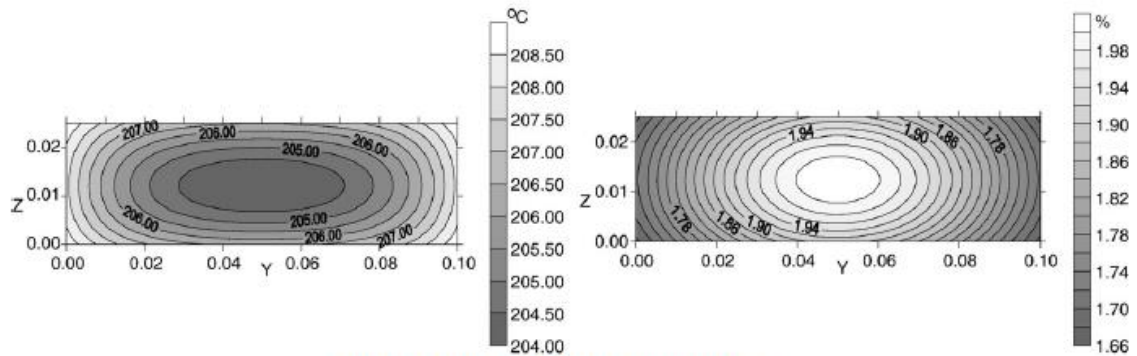
Kanados mokslininkai atliko tyrimą, kurio metu analizavo kaip kinta medienos drėgnis ir medienos temperatūra centriniuose ir paviršiniuose jos sluoksniuose, termiškai modifikuojant pušies medieną. Bandinių matmenys: $25 \times 150 \times 3000$ mm. Tyrime pasirinktas terminis modifikavimas, kuris trunka 45 valandas:

- Džiovinama mediena 120 °C temperatūroje (13 valandų);
 - Džiovinama mediena tolygiai didinant temperatūrą nuo 120 °C iki 210 °C (15 valandų);
 - Kaitinama mediena iki 210 °C temperatūroje (4 valandas);
 - Ataušinama mediena, kai temperatūra yra tolygiai mažinama iki 80°C (13 valandų)
- [5].

Naudojantis drėgmėmačiu, buvo renkami temperatūros ir drėgnio duomenys džiovinimo ir kaitinimo metu. Mokslininkų pateikiami grafikai (6 pav.) po 20 (6 valandas džiovinant medieną 120 °C – 160 °C temperatūrose) ir 30 valandų (2 valandas kaitinant iki 210 °C temperatūroje). Analizuojant šiuos grafikus, galima pastebėti kaip džiūsta centriniai ir paviršiniai medienos sluoksniai tam tikru laiku.



6 valandas kaitinant 120°C – 160°C temperatūroje



2 valandas kaitinant 210°C temperatūroje

6 pav. Pušies medienos temperatūra ir drėgnis paviršiniuose ir centriniuose jos sluoksniuose kaitinant medieną [5]

Autorių teigimu, po 6 valandų džiovinimo 120 °C – 160 °C temperatūrose medienos centriniai ir paviršiniai sluoksniai, temperatūros ir drėgnio atžvilgiu, pradeda vienodėti. Drėgnio pasiskirstymas sortimente skiriasi tarp paviršinių ir centrinių sluoksnių net iki 3 kartų (1,80 % - 5,80 %). Nors yra džiovinama ženkliai aukštesnėje temperatūroje, tačiau mediena išyla paviršiniuose sluoksniuose iki 127,55 °C. Centrinuose sluoksniuose temperatūra yra apie 1 °C mažesnė (apie 126,65 °C). Temperatūros skirtumas tarp šių sluoksnių yra gana mažas dėl to, jog medienos išlaikymo trukmė šioje temperatūroje yra ganėtinai ilga – 6 valandos.

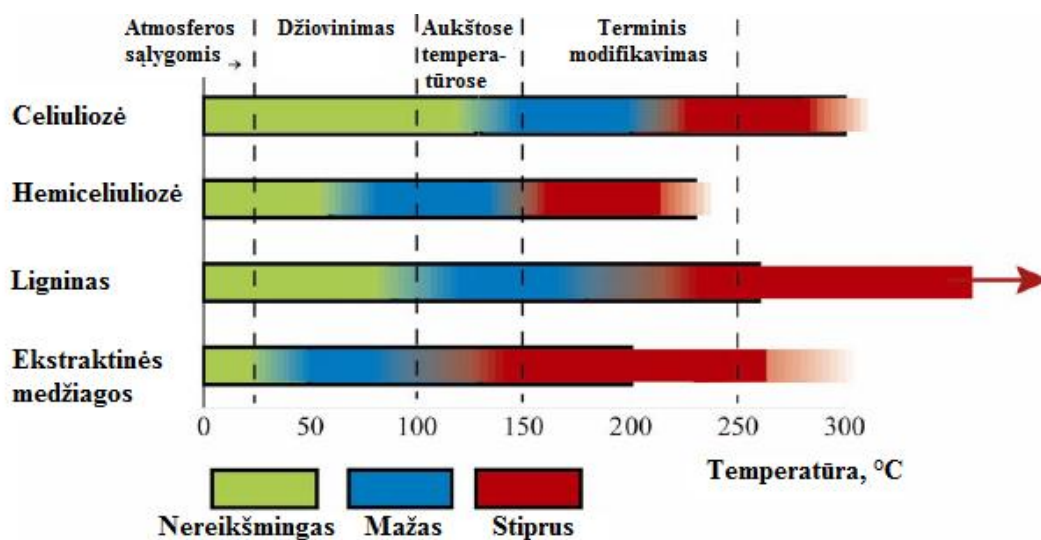
Po 2 valandų kaitinant medieną 210 °C temperatūroje, pastebėtas kur kas didesnis skirtumas tarp centrinių ir paviršinių sluoksnių temperatūrų (centrinuose sluoksniuose – 204 °C, paviršiniuose - 208,5 °C). Drėgmės skirtumas šiuo metu sluoksniuose dar sumažėja ir siekia tik 0,34 % . t. y. medienos drėgnis pasiskirsto tolygiai.

Galima teigti, jog terminio apdorojimo metu, kylant temperatūrai, vidutinis drėgmės kiekis sumažėja beveik tiesiškai su laiku, išskyrus proceso pradžioje dėl to, kad pradžioje paviršiniai sluoksniai yra drėgni, o tuo momentu centriniai sluoksniai nėra džiovinami. Taip pat svarbu žinoti kaip temperatūra ir drėgmė medienoje pasiskirsto pagal laiko intervalą. Neteisingas kaitinimo trukmės pasirinkimas gali sudaryti liekamuosius įtempius ir deformacijas, kurie buvo aptarti ankstesnėje šio darbo dalyje.

1.3.1. Medienos cheminių savybių pokyčiai terminio modifikavimo metu

Medienoje esantys cheminiai junginiai nulemia nemažai medienos savybių. Labai svarbu kontroliuoti šiuos cheminius veiksnius, norint pasiekti tinkamo rezultato. Esant skirtingiems terminio modifikavimo tikslams būtina žinoti kokią medienos kaitinimo temperatūrą pasirinkti, nes pagrindiniai medienos cheminiai komponentai elgiasi skirtingai prie tam tikrų temperatūrų. Medienoje cheminės medžiagos gali daryti įtaką šiems pokyčiams: medienos matmenų stabilumui, biologiniam patvarumui, stipriui, kietumui, atsparumui oro sąlygoms, spalvoms [4, 10, 16].

Pagrindiniai lapuočių medienos struktūros komponentai yra celiuliozė, hemiceliuliozė, ligninas ir ekstraktinės medžiagos. Visi kaitinimo metu vykstantys procesai vyksta būtent dėl šių medžiagų irimo. Mokslininkai pateikia temperatūros daromą įtaką medienos cheminiams komponentams 7 paveiksle [10].



7 pav. Temperatūros įtaka medienos cheminiams komponentams [10]

Kaitinant medieną aukštesnėje nei 100 °C temperatūroje, po truputį pradeda irti ekstraktinės medžiagos. Pasiekus apie 150 °C temperatūrą, šios medžiagos praktiškai suyra. Didėjant temperatūrai, pagrindiniai pokyčiai medienoje vyksta dėl hemiceliuliozės irimo. Pasiekus apie 200 °C temperatūrą, pradeda sparčiau irti ligninas. Dauguma mokslininkų teigia, jog būtent šioje temperatūroje hemiceliuliozei yra padaroma didžiausia žala. Kaitinant medieną virš 200 °C, pokyčiai vyksta dėl lignino irimo [10, 12, 16, 24].

Prancūzų mokslininkai tyrė, kiek pakinta buko medienos cheminė sudėtis pakaitinus ją 170 °C temperatūroje. Kadangi šioje temperatūroje jau iš esmės nelieka ekstraktinių medžiagų, buvo analizuojamas tik celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino pokytis. Po 2 valandų kaitinimo, celiuliozės kiekis sumažėjo apie 2 %, hemiceliuliozės – apie 20 %, o lignino kiekis beveik nepakito [11, 12].

1.3.2. Medienos biologinio atsparumo pokyčiai terminio modifikavimo metu

Medienos biologinis atsparumas – tai medienos atsparumas įvairiems biologiniams veiksnams: pelėsiui, vabzdžiams, grybams, bakterijos ir t. t. [8].

Prancūzų mokslininkai tyrė kaip termiškai modifikuota buko mediena yra paveikiama rudojo ir baltojo grybo. Gautus rezultatus palygino su termiškai nemodifikuotos medienos. Buko mediena buvo kaitinama nuo 170 °C iki 230 °C temperatūrose. Po kaitinimo mediena 16 savaičių buvo veikama su minėtais grybais. Remiantis rezultatais, termiškai nemodifikuota mediena prarado 24–29 % savo masės dėl grybų padarytos žalos. Kaitinta mediena buvo labiau atspari grybų poveikiui ir jos masė sumažėjo 3–6 %. Tad remiantis gautais rezultatais galima teigti, jog medienos terminis modifikavimas yra patraukli alternatyva, siekiant pagerinti medienos atsparumą nuo biologinių kenkėjų ar grybų [11].

Priklausomai nuo kaitinimo temperatūros, medienoje yra suardomos ekstraktinės medžiagos, hemiceliuliozė ir ligninas. Dėl hemiceliuliozės suirimo medienoje nebelieka medžiagų, kuriomis maitinasi bakterijos ir grybai. Taip pat, kaitinimas aukštesse temperatūrose iš spygliuočių medienos pašalina sakus. Šis pokytis užtikrina puikų pagrindą paviršiaus dengimo medžiagoms ir prailgina gaminių tarnavimo laiką [10, 14, 20].

1.3.3. Medienos fizikinių savybių pokyčiai terminio modifikavimo metu

Fizikinės savybės – tai tokios savybės, kurios tiriamos nepažeidžiant medienos vientisumo ir cheminės sudėties. Jas galima nustatyti apžiūrint, matuojant, sveriant bei džiovinant medienos bandinius [8].

Terminis modifikavimas medienai suteikia stabilumą matmenų atžvilgiu. Modifikavimo metu, medienos struktūroje esančios poros susitraukia. Sumažėjęs medienos hidroskopiškumas ženkliai sumažina galimybę keistis medienos tūriui.

Tailando mokslininkai tyrė termiškai modifikuotos ąžuolo medienos stabilumą tangentine, spinduline ir išilgine kryptimis. Tyrimo metu medienos bandiniai buvo kaitinami 190 °C temperatūroje dvejomis kaitinimo trukmėmis – 3 ir 8 valandas. Gauti rezultatai buvo palyginti su nemodifikuotos ąžuolo medienos bandiniais. Didžiausias matmenų pokytis gautas tangentine kryptimi, kiek mažesnis spinduline kryptimi. Išilgai pluošto matmenų pokyčiai praktiškai neužfiksuoti, t. y. matmenys beveik nekito visais nagrinėjamais atvejais. Tangentine kryptimi po 3 valandų kaitinimo matmenys sumažėjo apie 22 % lyginant su nemodifikuotais bandiniais, o po 8 valandų – sumažėjo iki 63 %. Spinduline kryptimi po 3 valandų kaitinimo matmenys sumažėjo 39

%, o po 8 valandų – iki 67 %. Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, jog ilginant kaitinimo trukmę, padidėja matmenų stabilumas [13].

Kiti autoriai taip pat patvirtina prieš tai aptartus rezultatus. Jų teigimu, didžiausias matmenų pokytis vyksta tangentine kryptimi – jis 1,5–2 kartus didesnis nei spinduline. Išilgai pluošto matmenys beveik nekinta arba mažai kinta [8].

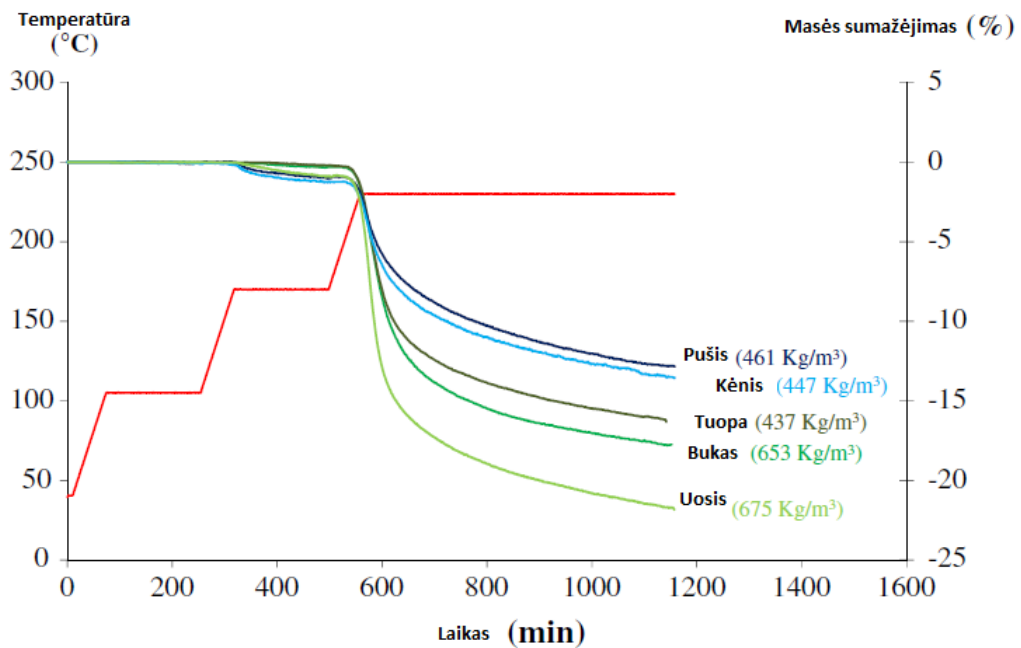
Tyrėjai kaitino liepos, ąžuolo ir beržo medieną. Po 3 valandų terminio modifikavimo 130 °C, 160 °C, 190 °C ir 220 °C temperatūrose buvo analizuojami tankio pokyčiai. Po kaitinimo 130 °C temperatūroje visos medienos rūšys prarado 2–2,5% pradinio tankio. 160 °C ir 190 °C temperatūrose termiškai modifikuotos liepos (3,5 % ir 3,9 %), ąžuolo (4 % iki 5,2 %) ir beržo (4,3 % ir 4,7 %) medienos tankio sumažėjimai buvo gana panašūs. Didžiausi tankio pokyčiai užfiksuoti kaitinant 220 °C temperatūroje. Liepos medienos tankio pokytis gautas 6,2 %, ąžuolo – 8,5 %, o beržo – 6 % [17].

Mokslininkai taip pat nagrinėjo tankio pokytį termiškai modifikuojant spygliuočius – eglę ir pušį. Mediena 3 valandas buvo kaitinama 170 °C, 190 °C, 210 °C ir 230 °C temperatūrose. Kaitinant 170 °C ir 190 °C temperatūrose pušies medienos tankis sumažėjo apie 2 % ir 2,5 %, o eglės – apie 1 %. Padidinus kaitinimo temperatūrą iki 210 °C buvo užfiksuotas pušies tankio pokytis – apie 5 %, o eglės –3,5 %. Šioje temperatūroje abi medienos rūšys prarado vienodą dalį savo tankio – 2,5 %. Kaitinimas aukščiausioje temperatūroje – 230 °C praktiškai suvienodino abiejų medienos rūšių medienos tankio pokytį: pušies tankis sumažėjo apie 9 %, o eglės – 8,4 % [18].

Apibendrinant šaltinius galima teigti, jog kaitinant medieną, jos tankis visais atvejais sumažėja. Mokslininkai taip pat padarė išvadą, jog esant didesniai medienos tankiui, kaitinama mediena praranda didesnę masės kiekį, kas nulemia didesnius tankio pokyčius [13, 17, 18].

Daugelis mokslininkų teigia, jog masės praradimas kaitinimo metu yra vienas iš svarbiausių pokyčių ir tai dažniausiai nurodoma kaip medienos kokybės gerinimas [21, 22].

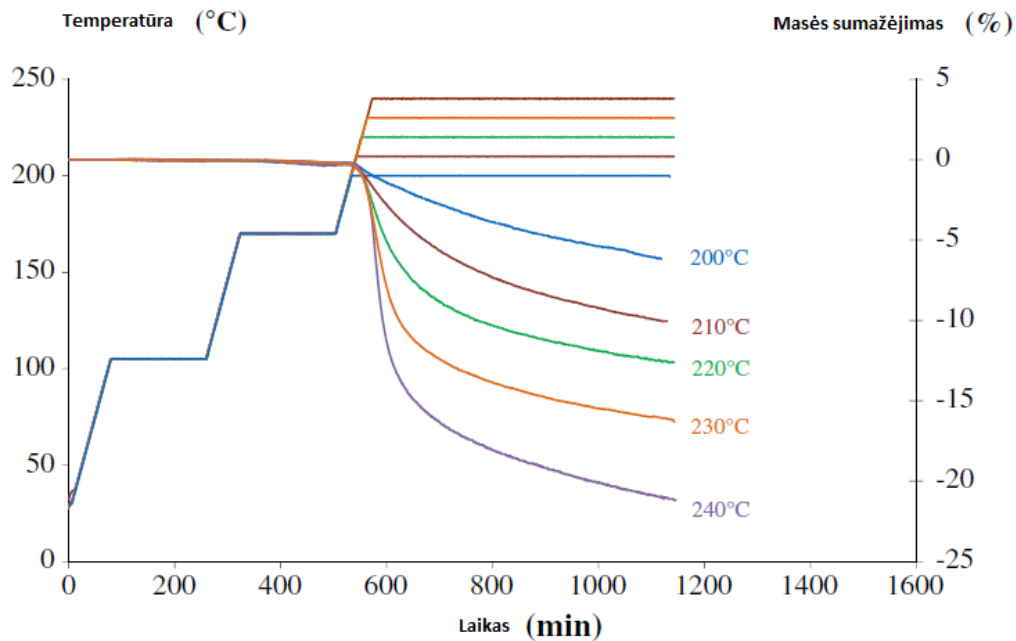
Prancūzų mokslininkai atliko tyrimą, kurio metu analizavo daugiau kaip 2000 mokslinių straipsnių apie terminio modifikavimo įtaką medienai, kurie buvo parašyti 1970–2015 metais. Tyrimo metu mokslininkai lygino masės pokyčius tarp lapuočių ir spygliuočių medienos. Medienos rūšių elgsenai nustatyti buvo naudojamos tos pačios kaitinimo temperatūros. Nustatyta, jog spygliuočių mediena terminio modifikavimo metu praranda mažiau masės nei lapuočių mediena (8 pav.). Taip yra dėl to, jog lapuočiuose esanti hemiceliuliozė ir ligninas prie aukštesnių temperatūrų suyra [22].



8 pav. Medienos rūšies ir jos tankio įtaka masės pokyčiui [22]

Medienos kaitinimo laikas taip pat turi įtakos masės praradimui. 180 °C temperatūroje pakaitinta liepos mediena po valandos laiko prarado 1,3 % masės. Po 2 valandų masės sumažėjimas siekė 1,7 %, po 3 valandų – 2,1 %, o po 4 valandų – 2,4 %. Didinant temperatūrą dar 20 laipsnių ir kaitinant tą pačią medieną prie 200 °C temperatūros masės pokytis kas valandą taip pat didėjo – 4,3 %, 5,0 %, 6,7 %, 9,3 %. Tad galima teigti, jog ilgėjant kaitinimo trukmei masės pokytis taip pat didėja.

Kaitinimo temperatūra taip pat turi didelį poveikį masės sumažėjimui. Viename iš nagrinėjamų mokslininkų straipsnių buvo pateikti masės pokyčiai kaitinant liepos medieną. Kaitinimo temperatūros pasirinktos tyrimui – 140 °C, 170 °C, 200 °C ir 230 °C. 140 °C temperatūroje masės sumažėjimas nustatytas apie 0,33 %, 170 °C – 0,63 %. Nuo 200 °C iki 230 °C laipsnių pokyčiai ženkliai padidėjo ir siekė jau 2,73 % ir 10,73 %. Kitų autorių tyrimai mokslininkams padėjo nustatyti, jog masės pokytis padidėja nuo 190 °C iki 240 °C (kuri yra kritinis taškas kaitinant termo-medieną). Ši masės sumažėjimo priklausomybė nuo kaitinimo temperatūros pateikiama 9 paveiksle [22].



9 pav. Medienos kaitinimo temperatūros įtaka masės pokyčiui [22]

Italų mokslininkai kaitino medieną 160 °C, 180 °C, 200 °C ir 220 °C temperatūrose. Tyrimo tikslas – palyginti masės pokyčius po kaitinimo tarp spygliuočių (eglė, pušis ir maumedis) ir lapuočių (uosis, bukas ir ąžuolas) medienos. Gauti rezultatai pateikiami 1 lentelėje, kurie sutampa su prieš tai mokslininkų gautais rezultatais [23].

1 lentelė. Medienos masės pokytis kaitinant aukštose temperatūrose [23]

Temperatūra \ Medienos rūšis	Temperatūra			
	160 °C	180 °C	200 °C	220 °C
Eglė	0,79 %	1,01 %	2,63 %	6,50 %
Maumedis	1,40 %	1,98 %	4,57 %	7,48 %
Pušis	0,77 %	0,92 %	2,55 %	5,73 %
Uosis	0,67 %	1,62 %	5,17 %	12,08 %
Bukas	0,67 %	1,36 %	3,13 %	9,38 %
Ąžuolas	0,97 %	2,06 %	5,44 %	12,73 %

Tyrimo metu nustatyta, kad temperatūroms esant 160 °C ir 180 °C tiek lapuočiai, tiek spygliuočiai iš esmės elgėsi panašiai, medienos masės praradimo skirtumas nebuvo ženklus. Esminiai pokyčiai tarp šių medienos rūšių įvyko prie 200 °C ir 220 °C temperatūrų. Lapuočių medienos masė sumažėjo beveik dvigubai daugiau nei spygliuočių.

Rumunų mokslininkai tyrė ąžuolo ir juodalksnio medienos paviršiaus kokybę po terminio modifikavimo. Bandiniai buvo kaitinami 120 °C ir 190 °C temperatūrose, 3 ir 6 valandas. Pastebėta, jog kaitinant medieną, jos paviršiaus šiurkštumas sumažėja visais atvejais. Po 6 valandų kaitinimo, juodalksnio medienos šiurkštumas sumažėjo apie 20 %, o ąžuolo – 16 % [16].

Panašus tyrimas buvo atliktas ir Malaizijoje, kur vietiniai tyrėjai tyrė ąžuolo, kedro ir kaučiukmedžio medienos paviršiaus šiurkštumo pokytį po kaitinimo. Temperatūros buvo pasirinktos identiškos kaip ir rumunų mokslininkų, o kaitinimo trukmė – 2 ir 8 valandos. Tyrimo gauti rezultatai buvo gana panašūs į prieš tai pateiktus, t. y. visų medienos rūšių šiurkštumas kaitinimo metu sumažėjo. Vienintelės ąžuolo medienos, kaitintos 8 valandas, šiurkštumas padidėjo. Tyrėjai naudodamiesi skenavimo elektronų mikroskopijos (SEM) metodu analizavo šios ąžuolo bandinių grupės struktūrą bei padarė išvadą, jog padidėjusį medienos šiurkštumą lėmė didelis šios bandinių grupės porėtumas [24].

Remiantis mokslininkų pateikiamais moksliniais straipsniais, galima daryti išvadą, jog kaitinimo metu medienos paviršiaus šiurkštumas sumažėja. Didėjant kaitinimo temperatūrai bei ilgėjant kaitinimo trukmei medienos paviršiaus šiurkštumas ženkliai mažėja [24–27].

Kaitinant medieną aukštos temperatūrose keičiasi ir jos spalva. Tiek didėjant kaitinimo temperatūrai, tiek ilginant kaitinimo trukmę medienos spalva patamsėja (10 pav.) [4, 10, 12, 16, 19]. Ši medienos savybė, leidžianti natūraliu būdu keisti jos spalva yra ypatingai vertinama gaminiuose, kur svarbu dizainas ar išvaizda, o medienos stiprumas ne toks svarbus.



10 pav. ąžuolo ir pušies mediena kaitinta 200 °C temperatūroje (kairėje), pušies medienos bandiniai kaitinti nuo 120 °C iki 220 °C temperatūrose, kas 20 °C intervale (dešinėje) [4, 12]

1.3.4. Medienos mechaninių savybių pokyčiai terminio modifikavimo metu

Mechaninės savybės nusako medienos gebėjimą priešintis išorinių mechaninių jėgų ar apkrovų veikimui. Jos nustatomos specialiais bandymais, kurių metu medienoje sukeliama įvairūs įtempiai ir deformacijos [8].

Medienos stiprumas yra susijęs su jos tankiu. Kadangi kaitinimo metu medienos tankis sumažėja, ji praranda ir savo stiprumines savybes. Remiantis mokslininkų atliktais tyrimais, medienos stipris lenkiant sumažėjo visais tirtais atvejais (180 °C, 200 °C ir 220 °C temperatūrose). Medienos stipris lenkiant kaitinant ją 180 °C temperatūroje sumažėjo apie 35 %, o 220 °C – 60 %. Terminiškai modifikuotos spygliuočių medienos (eglė ir maumedis), kaitintos 170 °C – 210 °C temperatūrose, medienos stiprio rezultatai sumažėjo atitinkamai 7,4 % ir 16 % [6, 7, 28]. Tad, galima teigti, jog didėjant kaitinimo temperatūrai, mediena praranda plastiškumą ir tampa trapesnė. Kaitintos medienos aukštesnėse temperatūrose nerekomenduotina naudoti kaip statybinės medžiagos.

Medienos kietumas po terminio modifikavimo 190 °C temperatūroje ąžuolo rūšies sumažėjo vidutiniškai net iki 41,7 % lyginant su nemodifikuota mediena. Juodalksnio bandinių kietumas modifikacijos metu mažėjo neženkiai, nuo 4,3 % iki 7,9 %. Skirtumas tarp šių kietumo gautų verčių tarp dviejų lapuočių grupių yra dėl ąžuolo medienos struktūrinės sandaros, t. y. šio sandara yra labiau akvata nei juodalksnio. Spygliuočiai – pušis ir tuopa prie 120 °C temperatūros kietumo atžvilgiu savo vertes netgi pakelia po džiovavimo proceso. Aukštesnėje temperatūroje apdirbant trumpesnį laiką kietumas taip pat padidėja, tačiau modifikuojant ilgesniame laikotarpyje spygliuočių medienos struktūra taip pat pradeda irti ir dėl to kietumas (matuojamas pagal Janka metodą) tampa šiek tiek mažesnis nei nemodifikuotas medienos [15, 16, 19].

1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Medienos kaitinimas – sudėtingas procesas, kurio metu medienoje vyksta cheminiai pokyčiai.

Terminio medienos modifikavimo tikslas – padidinti atsparumą cheminiams, fizikiniams ir biologiniams veiksniams.

Po terminio apdorojimo pakinta medienos spalva, sumažėja paviršiaus šiurkštumas. Pakaitinus medieną sumažėja jos tankis ir polinkis sugerti drėgmę. Taip pat mediena pasidaro atsparesnė atmosferos ir grybų poveikiui. Termiškai modifikuotos medienos mechaninės savybės pablogėja.

Atlikus literatūros apžvalgą, pastebėta, jog daugumoje mokslinių straipsnių, kuriuose nagrinėjamas terminis modifikavimas, yra pateikiama įvairių savybių įtaka skirtingoms medienos rūšims. Kadangi mediena yra anizotropinė medžiaga, jos savybės priklauso nuo pluošto krypties ar vietos, kurioje yra išpjauinama iš rąsto. Taip pat svarbu žinoti, kaip medienos pradiniai geometriniai parametrai pakeičia įvairias jos savybes. Magistro baigiamojo darbo tikslas ir uždaviniai yra suformuoti siekiant tai išsiaiškinti.

Tyrimo objektas pasirinktas skirtingų matmenų uosio medienos bandiniai, kurie yra termiškai modifikuojama skirtingose temperatūrose. Tikslas – įvertinti terminio modifikavimo temperatūros ir matmenų įtaką uosio medienai. Tyrimo metu buvo siekiami įvertinti termiškai modifikuojamos uosio medienos matmenų įtaką tūrio ir masės pokyčiui. Nustatyti terminio modifikavimo temperatūros įtaką matmenų ir masės pokyčiui. Įvertinti tiriamos medienos sandaros įtaką matmenų ir masės pokyčiui terminio modifikavimo metu.

2. TYRIMŲ METODIKA IR ĮRANGA

Tyrimui bandiniai buvo išpjauti iš uosio medienos rąstų. Bandiniai buvo 4 skirtingų matmenų grupių, t. y. $10 \times 10 \times 20$ mm, $20 \times 20 \times 20$ mm, $30 \times 30 \times 30$ mm, $40 \times 40 \times 40$ mm. Kiekvienam bandiniui buvo paskirtas skirtingas identifikavimo numeris. Iš viso tyrime panaudota 640 vienetų bandinių (kiekvienos matmenų grupės po 160 vienetų). Bandinių pradinis vidutinis tankis buvo apie 684 kg/m^3 , drėgnis – apie 9%.



11 pav. Sunumeruoti bandiniai prieš kaitinimą $103 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje

Prieš atliekant kaitinimą, visų keturių grupių bandiniai buvo išdžiovinti laboratorinėje krosnelėje $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje, kol nekito jų masė, t. y. kol mediena tapo visiškai sausa [2].

Po džiovinimo kiekvienos grupės bandinių matmenys (ilgis, plotis, storis) buvo išmatuoti slankmačiu (matavimo tikslumas $\pm 0,02$ mm) ir pasverti elektroninėmis svarstyklėmis (svėrimo tikslumas $\pm 0,01$ g.). Nustatytas visiškai sausos medienos bandinių tankis. Taip pat buvo nustatyta kiekvieno bandinio rievių skaičius 1 cm ir apskaičiuotos vidutinės vertės, kurios pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Tiriamų bandinių parametrai

Vidurkis Matmenys	Tankis, kg/m³	Rievių skaičius, sk/1 cm
$10 \times 10 \times 20$ mm	702	8,4
$20 \times 20 \times 20$ mm	661	8,3
$30 \times 30 \times 30$ mm	689	10,0
$40 \times 40 \times 40$ mm	679	9,4

Nustačius medienos bandinių pradinis parametrus, kiekviena bandinių grupė buvo padalinta į keturis pogrupius pagal apdorojimo temperatūrą, t. y. 140 °C, 170 °C, 200 °C ir 230 °C. Šių pogrupių trumpiniai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Pogrupių trumpiniai

Temperatūra	140 °C	170 °C	200 °C	230 °C
Matmenys				
10 × 10 × 20 mm	„140-1“	„170-1“	„200-1“	„230-1“
20 × 20 × 20 mm	„140-2“	„170-2“	„200-2“	„230-2“
30 × 30 × 30 mm	„140-3“	„170-3“	„200-3“	„230-3“
40 × 40 × 40 mm	„140-4“	„170-4“	„200-4“	„230-4“

Kiekvieno iš šių pogrupių bandiniai atitinkamai buvo kaitinti 3 valandas laboratorinėje krosnelėje. Po kaitinimo bandiniai buvo vėl pasverti bei išmatuoti. Nustatytas bandinių masės pokytis. Masės pokytis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$m_{\text{pok}} = \frac{m_{\text{pr.k.}} - m_{\text{po.k.}}}{m_{\text{pr.k.}}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

čia $m_{\text{pr.k.}}$ – medienos bandinių masė prieš kaitinimą (g); $m_{\text{po.k.}}$ – medienos bandinių masė po kaitinimo (g).

Tyrimo metu taip pat nagrinėtas bandinių tūrio pokytis. Tūrio pokytis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_{\text{pok}} = \frac{V_{\text{pr.k.}} - V_{\text{po.k.}}}{V_{\text{pr.k.}}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

čia $V_{\text{pr.k.}}$ – medienos bandinių tūris prieš kaitinimą (cm³); $V_{\text{po.k.}}$ – medienos bandinių tūris po kaitinimo (cm³).

Tūrio pokytis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_{\text{pok}} = \frac{\rho_{\text{pr.k.}} - \rho_{\text{po.k.}}}{\rho_{\text{pr.k.}}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

čia $\rho_{\text{pr.k.}}$ – medienos bandinių tankis prieš kaitinimą (cm³); $\rho_{\text{po.k.}}$ – medienos bandinių tankis po kaitinimo (cm³).

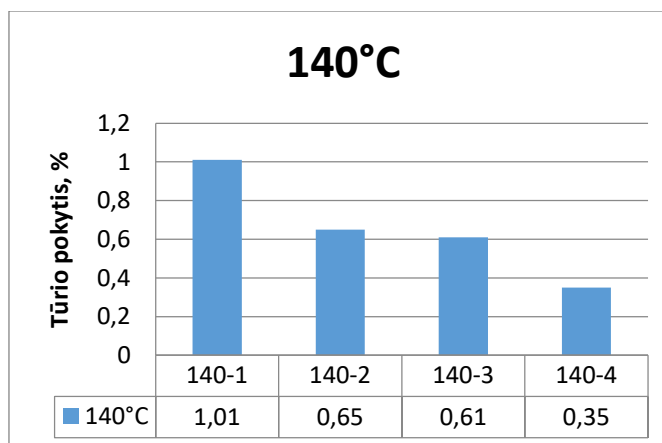
3. REZULTATAI

Šiame skyriuje aptariami gauti rezultatai, kurie buvo užfiksuoti atliekant tyrimą. Nagrinėjama temperatūros įtaka matmenų, masės ir tankio pokyčiui, temperatūros įtaka įvairiomis medienos pluošto kryptimis. Taip pat analizuojama medienos fizikinių savybių įtaka matmenų pokyčiui. Visi rezultatai pateikiami tiek grafine, tiek skaitine išraiška.

3.1. Uosio medienos kaitinimas 140 °C temperatūroje

Analizuojant gautus duomenis pastebėta, jog po 3 valandų terminio modifikavimo dalies bandinių tūris nekito. Tokių bandinių „140-1“ ir „140-2“ pogrupiuose buvo po 55 %, „140-3“ pogrupyje – 28,5 %, o „140-4“ – 47,5 %. Pagrindinė to priežastis – skirtingas medienos bandinių rievių skaičius ir pradinis tankis. Nustatyta, kad nekito tų bandinių tūris, kurių tankis buvo 700-750 kg/m³, o rievių skaičius viename centimetre kito 8-13 ribose.

Remiantis gautais rezultatais, gauta, kad kaitinant 140 °C temperatūroje visų medienos bandinių tūris sumažėjo vidutiniškai 0,38 %. Siekiant išsiaiškinti tikrąją temperatūros įtaką matmenų pokyčiui, tolimesniame tyrime buvo nagrinėjami bandiniai, kuriuose gautas tūrio pokytis. Šiuo atveju vidutinis 140 °C kaitintos medienos tūrio pokytis gautas 0,66 %. Gautos tūrio pokyčio atskirų pogrupių vertės pateikiamos 12 paveiksle.



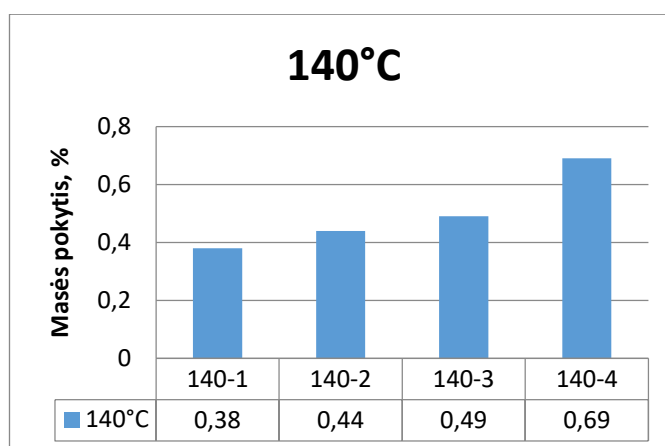
12 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 140 °C temperatūroje

Mažiausiuose, „140-1“ pogrupio bandiniuose nustatytas didžiausias pokytis tūrio atžvilgiu – 1,01%. Artimiausi bendram vidurkiui buvo „140-2“ bandiniai. Jų pokytis buvo 0,65 %. Šių abiejų pogrupių matmenys sumažėjo tangentine ir spinduline kryptimis, o išilgine kryptimi nepasikeitė. „140-3“ ir „140-4“ pogrupių bandinių matmenų pokyčio vidurkis nesiekė vidutinio šios temperatūros vidurkio. Didžiausių matmenų bandiniai taip pat sumažėjo daugiausiai tangentine

kryptimi, tačiau buvo pastebėti minimalūs pokyčiai ir spinduline kryptimi. Išilgine kryptimi pokyčių nepastebėta.

Galima teigti, jog kaitinimas 140 °C temperatūroje turi įtakos matmenų pokyčiui. Kuo mažesni bandinio matmenys, tuo gauti santykinai didesni pokyčiai. Kaitinant bandinius šioje temperatūroje pastebėta, jog didžiausias matmenų sumažėjimas vyksta tangentine kryptimi.

140 °C temperatūroje kaitinamų bandinių masė praktiškai nesumažėjo (13 pav.). Visų pogrupių bandinių masės pokytis užfiksuotas gana panašus – 0,38–0,69 % (vidutiniškai apie 0,5 %).

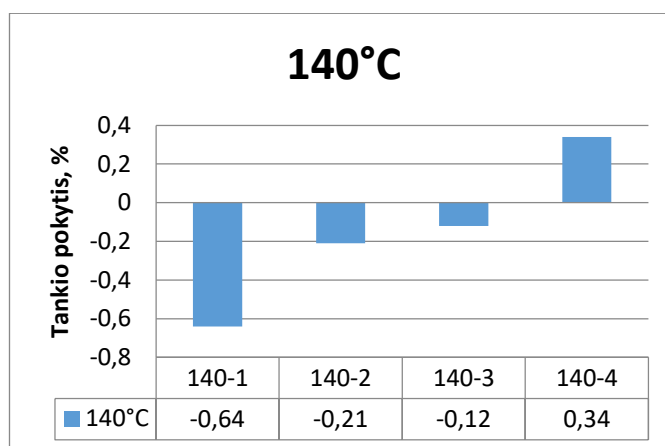


13 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 140 °C temperatūroje

Pokytis pogrupyje „140-1“ buvo labai mažas, masės pokytis užfiksuotas tik mažesnėje pusėje bandinių. Dėl mažo šio pogrupio bandinių svorio, gauti pokyčiai yra svarstyklių paklaidos ribose. Todėl galima teigti, jog šiame matmenų pogrupyje masė beveik arba visai nekito. „140-2“ ir „140-3“ pogrupių bandinių masės pokytis buvo panašus į bendrą vidurkį. Didžiausias santykinis masės pokytis užfiksuotas didžiausių matmenų bandinių pogrupyje – „140-4“.

Apibendrinant, galima teigti, jog didesnių matmenų bandiniai patiria didesnę masės pokytį.

Nustačius tūrio ir masės pokytį kaitinant uosio medieną 140 °C temperatūroje taip pat buvo apskaičiuotas tankio pokytis. Nustatyta, jog medienos tankio pokytis šioje temperatūroje yra labai mažas (apie - 0,16 %). Gauti rezultatai yra pateikiami 14 paveiksle.



14 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 140 °C temperatūroje

Medienos tankis po kaitinimo 140 °C temperatūroje padidėjo trijose pogrupiuose („140-1“, „140-2“ ir „140-3“). Sumažėjimas užfiksuotas tik didžiausių matmenų bandiniuose. Tankio padidėjimą nulėmė didesni bandinių tūrio pokyčiai negu masės. Įvertinus tai, jog dalyje bandinių matmenys ir masė kaitinimo metu praktiškai nekito, galima teigti, jog tankio pokytis neužfiksuotas.

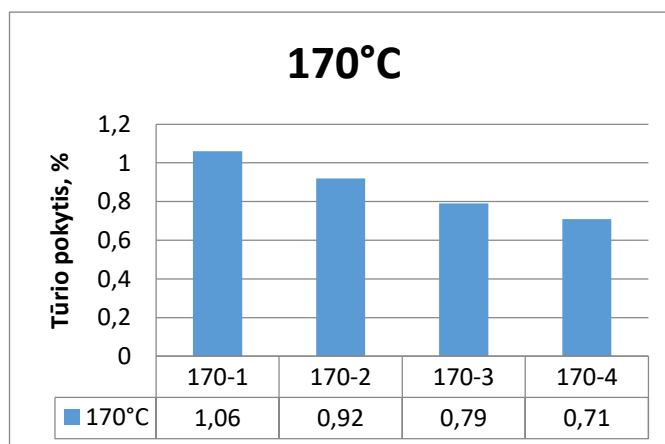
Kaitinant medieną 140 °C temperatūroje pagrindiniai pokyčiai medienos sandaroje vyksta dėl ekstraktinių medžiagų irimo. Yrant ekstraktinėms medžiagoms, mažesnių bandinių atveju masė mažėja labiau, nei tūris, dėl to tankis mažėjo. Didesnių matmenų bandinių atveju tūris ženkliau mažėjo, taigi, tankis padidėjo. Apibendrinant rezultatus, galima teigti, jog uosio medienos kaitinimas 140 °C temperatūroje neturi didelės įtakos matmenų ir masės pokyčiams. Tūrio atžvilgiu pastebėta, jog esant mažesniems bandinio matmenims, pokyčiai yra didesni. Didžiausias matmenų sumažėjimas vyksta tangentine kryptimi. Lyginant su tūrio pokyčiu - masės pokyčio atžvilgiu gauta atvirkštinė priklausomybė nuo bandinio matmenų.

3.2. Uosio medienos kaitinimas 170 °C temperatūroje

Kaitinant medieną 170 °C temperatūroje pagrindiniai pokyčiai medienos sandaroje vyksta dėl ekstraktinių medžiagų ir hemiceliuliozės irimo. Kaitinant medieną iki 150 °C temperatūros, ekstraktinės medžiagos praktiškai suyra. Hemiceliuliozė pradeda irti kaitinant apie 150 °C temperatūroje, suyra medienai pasiekus 200 °C temperatūrą, todėl šioje tiriamoje temperatūroje hemiceliuliozė pradeda irti po truputį [10].

Kaitinant bandinius 170 °C temperatūroje, taip pat kaip ir kaitinant 140 °C temperatūroje, buvo pastebėta, jog dalis bandinių nepakeitė savo matmenų. Daugiausiai jų buvo „170-1“ pogrupio bandiniai.

Šioje temperatūroje matmenų (tūrio) sumažėjimas vyksta gana panašiai kaip ir 140 °C temperatūroje, t. y. kuo mažesni bandinio matmenys, tuo didesnis procentinis vidutinis tūrio sumažėjimas (15 pav.). Vidutiniškai visų pogrupių bandinių tūris sumažėjo apie 0,87 %.

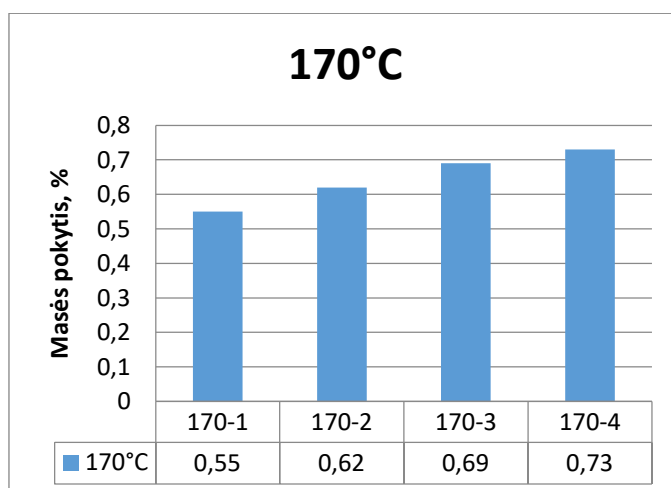


15 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 170 °C temperatūroje

Visų keturių pogrupių tūrio pokytis padidėjo, lyginant su 140 °C kaitinimu. Tai galima paaiškinti tuo, jog kaitinant medieną iki 150 °C temperatūros, ekstraktinės medžiagos praktiškai suyra, ir 170 °C temperatūroje pastebimas mažas hemiceliuliozės irimas, todėl esminių skirtumų tarp nagrinėtų dviejų temperatūrų nepastebima [10, 11].

Lyginant su 140 °C kaitinimu, „170-1“ pogrupio bandinių pokytis padidėjo 0,05 %, nors likusių trijų pogrupių pokytis yra intervale [0,18 %; 0,36 %]. Mažėjant bandinių matmenims nustatytas didesnis tūrio pokytis. Bendru atveju, kaitinant medieną 170 °C temperatūroje, spinduline ir tangentine kryptimis matmenų pokytis užfiksuotas beveik dvigubai didesnis nei 140 °C temperatūroje.

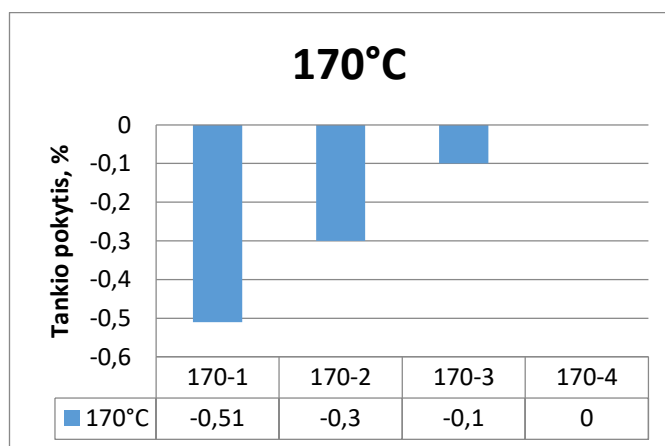
170 °C temperatūroje bandinių masė sumažėjo panašiai kaip ir kaitinti 140 °C temperatūroje (16 pav.). Iš gautų rezultatų matyti, jog visose keturiose pogrupiuose masės pokytis nežymiai padidėjo. Skirtumas tarp skirtingų matmenų bandinių masės pokyčio dar labiau sumažėjo, nei kaitinimo 140 °C temperatūroje ir buvo 0,55–0,73 % (vidutiniškai apie 0,65 %).



16 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 170 °C temperatūroje

Kaip ir kaitinant 140 °C temperatūroje, taip ir 170 °C temperatūroje didesnių matmenų bandinių nustatytas didesnis masės pokytis. Tai galima paaiškinti tuo, jog kaitinant medieną iki 150 °C temperatūros, ekstraktinės medžiagos praktiškai suyra, o pokyčiai dėl hemiceliuliozės irimo nėra ženklūs.

Tiriant tankio pokytį, rezultatai gauti panašūs į nagrinėtus 140 °C temperatūroje. Reikšmingų medienos tankio pokyčių nepastebėta (17 pav.). Didelis medienos tūrio nei masės sumažėjimas praktiškai nepakeičia medienos tankio.



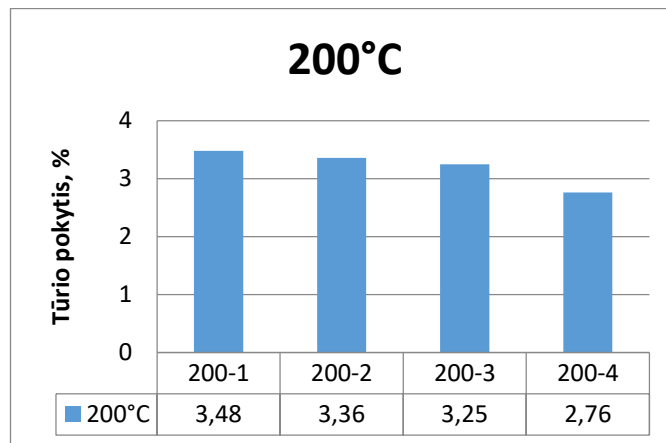
17 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 170 °C temperatūroje

Kaitinant medieną 170 °C temperatūroje pagrindiniai pokyčiai medienos sandaroje vyksta dėl ekstraktinių medžiagų ir hemiceliuliozės irimo. Remiantis gautais rezultatais, nustatyta, 140 °C ir 170 °C temperatūrose kaitinama mediena elgiasi panašiai, t. y. suyra ir pasišalina analogiškos medžiagos (pakinta masė ir tūris).

3.3. Uosio medienos kaitinimas 200 °C temperatūroje

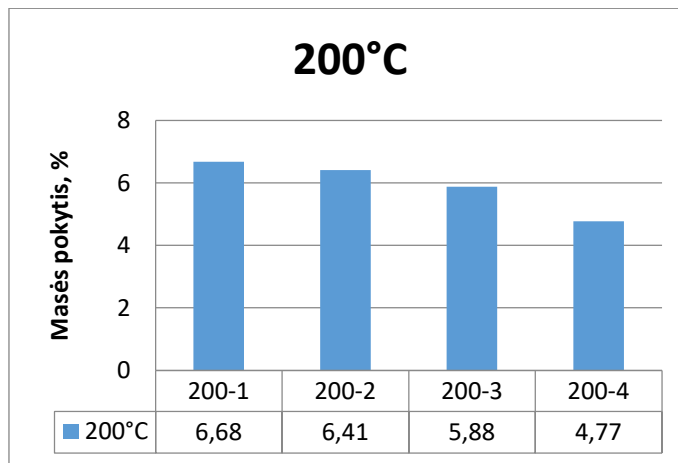
Kaitinant medieną 200 °C temperatūroje vyksta ekstraktinių medžiagų, hemiceliuliozės ir lignino irimas. Žinoma, kad apie 200 °C temperatūroje pradeda irti ligninas. Tačiau pagrindiniams medienos sandaros pokyčiams didžiausią įtaką turi hemiceliuliozės irimas [10, 11].

Kaitinant medieną 200 °C temperatūroje bandinių tūrio sumažėjimas procentine išraiška padidėjo ženkliau, negu prieš tai nagrinėtose 140 °C ir 170 °C temperatūrose (daugiau nei 3 kartus). Analizuojant 18 paveikslą pastebima, kad šioje temperatūroje matmenų sumažėjimas, priklausomai nuo bandinių dydžio, vyksta kaip ir anksčiau nagrinėtose temperatūrose, t. y. labiausiai sumažėjo mažiausi bandiniai („200-1“).



18 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje

Medienos bandiniai, kurie buvo kaitinti 200 °C temperatūroje taip pat patyrė ženkliai didesnius masės pokyčius negu kaitinti žemesnėse, prieš tai minėtose temperatūrose. Iš gautų rezultatų nustatyta, jog mažiausių bandinių (pogrūpiai „200-1“ ir „200-2“) masės sumažėjimas po kaitinimo buvo gana panašus (19 pav.).



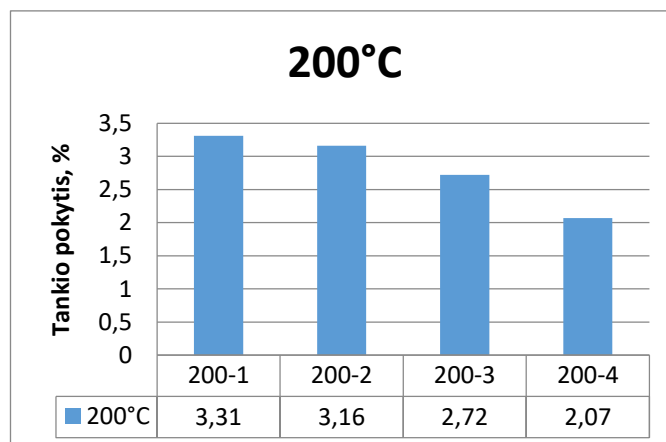
19 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje

„200-3“ ir „200-4“ pogrupių masės procentiniai pokyčiai buvo kur kas mažesni nei mažiausių matmenų pogrupių. Atitinkamai „200-3“ ir „200-4“ pogrupių masės pokyčiai gauti 5,88 % ir 4,77 %. Vidutiniškai, visų bandinių pogrupių masės sumažėjimas gautas apie 6 %.

Remiantis rezultatais, galima teigti, jog bandinių masė kaitinant 200 °C temperatūroje proporcingai sumažėjo pagal jų matmenis. Kadangi ženkliai sumažėjo ne tik bandinių masė, bet ir tūris, galima daryti prielaidą, jog hemiceliuliozės irimas šioje temperatūroje buvo gana ženklaus.

Remiantis įvairių mokslininkų tyrimais gautais kaitinant uosio medieną 200 °C temperatūrose buvo gauti panašūs masės pokyčiai [21–23].

Nustačius tūrio ir masės pokyčius taip pat nustatytas tankio pokytis kaitinant uosio medieną 200 °C temperatūroje. Nustatyta, jog medienos tankio pokytis šioje temperatūroje yra gautas apie 2,8 %. Gauti rezultatai yra pateikiami 20 paveiksle.



20 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje

Medienos tankis po kaitinimo 200 °C sumažėjo visų matmenų pogrupių bandiniuose. Ženkliai padidėjęs masės pokytis nulėmė tankio pokyčio padidėjimą. Labiausiai nutolę nuo bandinių tankio pokyčio vidurkio yra didžiausių matmenų bandiniai, kuriuose pokytis užfiksuotas mažiausias. Remiantis literatūra, galima teigti, jog padidinus kaitinimo trukmę, tankio pokytis didžiausioje matmenų grupėje priartėtų vidutinių verčių [22, 23]. Iš gautų rezultatų matoma, kad kaitinimo metu mažesnių matmenų bandinių tankis sumažėja labiau nei didesnių matmenų.

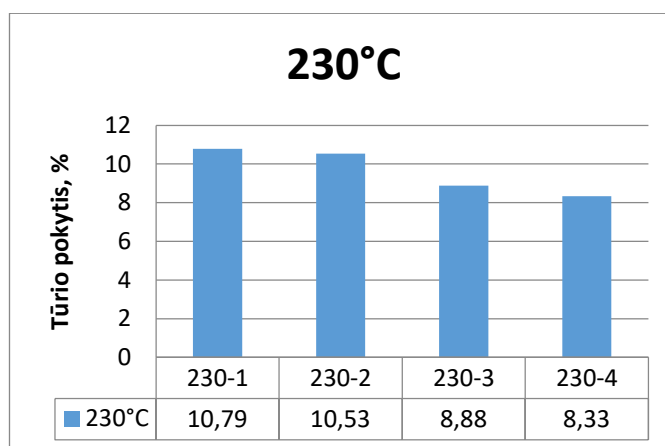
Apibendrinant, galima teigti, jog kaitinant medieną 200 °C temperatūroje vyksta spartus hemiceliuliozės irimas, kuris turi įtakos medienos fizikinėms savybėms. Tūrio pokytis nustatytas apie 3 %, o masės – apie 6 %. Iš gautų rezultatų, pastebėta, jog hemiceliuliozės irimas turi didesnę įtaką medienos masės pokyčiui.

3.4. Uosio medienos kaitinimas 230 °C temperatūroje

Kaitinant medieną 230 °C temperatūroje jos sandaroje vyksta labai ženklūs cheminiai pokyčiai. Šioje temperatūroje įvykta ne tik ekstraktinių medžiagų ir hemiceliuliozės suirimas. Šioje temperatūroje taip pat vyksta ir lignino irimas [10-12].

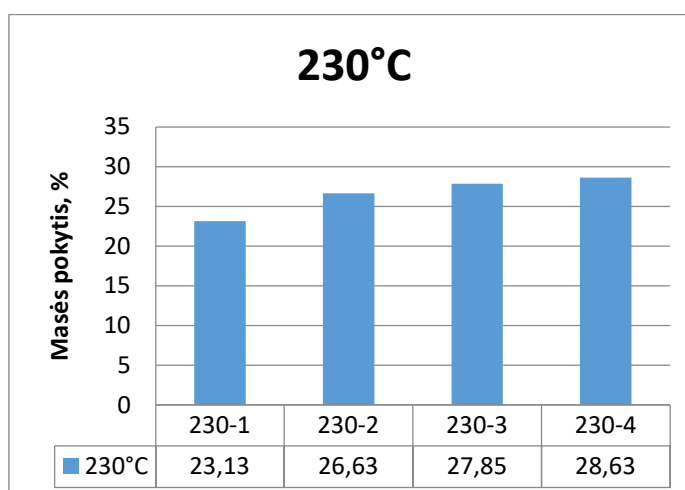
Kaitinimo proceso įtaką 230 °C temperatūroje yra gana sudėtinga nagrinėti vertinant matmenų pokytį. Visų keturių pogrupių bandiniuose, kaitinimo metu susidarė įtempiai, kurie lėmė bandinių deformacijas, mediena suskilo. Būtent šie minėti faktoriai neleido tiksliai išmatuoti medienos tūrio. Tikėtina, jog būtent lignino ženklus irimas medienoje ir nulėmė žymiai didesnius matmenų pokyčius negu prieš tai minėtose temperatūrose [10, 12].

Iš gautų rezultatų matoma, kad medienos tūris pirmose dvejose pogrupiuose sumažėjo gana tolygiai (21 pav.). „230-3“ ir „230-4“ pogrupių bandiniai sumažėjo taip pat gana panašiai. Tikėtina, jog tarp abiejų šių pogrupių susidarė skirtumai dėl didesnių deformacijų, kurios didėjo, didėjant bandinio matmenims.



21 pav. Bandinių pogrupių tūrio pokytis (%) kaitinant 230 °C temperatūroje

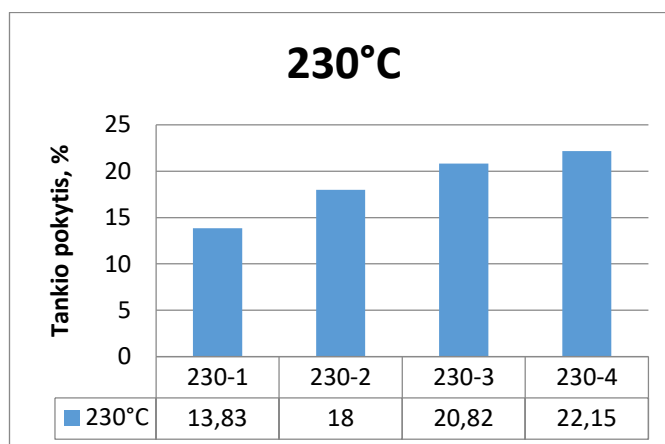
Atlikus kaitinamą 230 °C temperatūroje nustatyta, jog bandinių masės pokytis didėjo, didėjant medienos bandinių matmenims. Kaitinimo 230 °C temperatūroje metu buvo gauti didžiausi medienos masės pokyčiai viso tyrimo metu, kurie pateikiami 22 paveiksle.



22 pav. Bandinių pogrupių masės pokytis (%) kaitinant 200 °C temperatūroje

Lyginant tarpusavyje gretimus pogrupius, didžiausias skirtumas yra tarp „230-1“ pogrupio masės pokyčio ir „230-2“ (23,13 % ir 26,63 %). „230-4“ pogrupio bandinių gautas didžiausias pokytis – 28,63 %, o „230-3“ – šiek tiek mažesnis – 27,85 %. Tikėtina, jog susidariusį skirtumą lėmė tai, jog „230-1“ pogrupio bandiniai beveik nesideformavo. Pastebėta, jog didėjant bandinio matmenims, didėjo ir deformacijos. Dauguma „230-4“ pogrupio bandinių paviršius kaitinimo metu suskilinėjo.

Kaitinimo 230 °C temperatūroje metu buvo nustatyti didžiausi tankio pokyčiai viso tyrimo metu. Nustatyta, jog medienos tankio pokyčio vidurkis šioje temperatūroje yra gautas apie 18,7 %. (23 pav.)



23 pav. Bandinių pogrupių tankio pokytis (%) kaitinant 230 °C temperatūroje

Po kaitinimo 230 °C tankis sumažėjo visų matmenų pogrupių bandiniuose. Tankio pokytį labiausiai nulėmė dideli masės pokyčiai, nes iro ekstraktinės medžiagos, hemiceliuliozė ir ligninas. Didžiausių matmenų bandiniai sumažėjo daugiau negu mažesnių matmenų.

Bendru atveju kaitinimas 230 °C temperatūroje turėjo didžiausią įtaką visiems tiriamiems parametrams.

3.5. Medienos fizikinių savybių įtaka medienos matmenų pokyčiui

Nagrinėjant temperatūros įtaką medienos matmenų pokyčiui buvo nustatyta, jog kaitinimo metu dalyje iš bandinių matmenų pokyčiai nepastebėti. Šiame skyriuje yra pateikiama rezultatų analizė, kurios metu siekta nustatyti to priežastis.

Kaitinant bandinius 140 °C temperatūroje, buvo pastebėta, jog dalis bandinių nepakeitė savo matmenų. Tokių bandinių „140-1“ ir „140-2“ pogrupiuose buvo po 55 %, „140-3“ pogrupyje – 28,5 %, o „140-4“ – 47,5 %. Dauguma 140 °C temperatūroje kaitintų bandinių, kurie nepakeitė savo matmenų, buvo pusiau spindulinio pjovimo krypties. Buvo pastebėta, jog pasikeitimų matmenų atžvilgiu neįvyko dažniausiai tais atvejais, kai bandiniuose rėvių skaičius ir tankis buvo didesni už grupės vidurkį. Tikėtina, jog būtent dėl didesnio rėvių skaičiaus bei tankesnės medienos kaitinimo procesas neturėjo įtakos minėtiems bandiniams [8, 22].

Akivaizdžiai išsiskiria „140-3“ pogrupio bandiniai, kuriuose matmenų pokyčiai turi atžvilgiu vyko beveik dvigubai dažniau negu kitų pogrupių. Išanalizavus šio pogrupio bandinius buvo pastebėta, jog beveik pusė iš bandinių išpjauti tangentine kryptimi. Likusiose trijuose pogrupiuose dominavo pusiau spindulinio pjovimo bandiniai. Palyginus gautus skirtumas tarp šių dviejų kryptių ir remiantis literatūra, galima teigti, jog būtent dėl to skirtumo, kad didesnis „140-3“ pogrupio

bandinių kiekis išpjautas tangentine kryptimi, tūrio pokyčiai buvo pastebėti beveik dvigubai dažnesni [2, 8, 13].

Kaitinant bandinius 170 °C temperatūroje, taip pat buvo pastebėta, jog dalis bandinių nepakeitė savo matmenų. Daugiausiai jų buvo „170-1“ pogrupio bandiniai. Šio pogrupio bandinių matmenų pokytis taip pat užfiksuotas mažiausias lyginant su kitais pogrupiais.

Nustatyta, jog rėvių skaičius visais atvejais gautas nuo 8 iki 13 (kai bendras pogrupio vidurkis 8,4). Bendras nepakeitusių matmenų bandinių tankio vidurkis gautas 727 kg/m³ (kai bendras viso pogrupio vidurkis yra 702 kg/m³). Šie gauti skaičiai yra didesni už vidutinius, todėl galima teigti, kad kaip ir 140 °C temperatūroje, taip ir 170 °C temperatūroje, bandinių matmenys nepasikeitė dėl didesnio rėvių skaičiaus ir tankesnės medienos lyginant su vidurkiais [8, 22].

Apibendrinant gautus rezultatus, galima teigti, jog kaitinant 140 °C ir 170 °C temperatūrose tankią medieną, turinčią didesnę rėvių skaičių, dažnu atveju matmenų pokyčiai nevyksta. Bandinių išpjautų pusiau spinduline pjovimo kryptimi matmenų pokyčiai buvo gauti retesni nei išpjautų tangentine kryptimi bandinių.

3.6. Temperatūros įtaka matmenų pokyčiui skirtingomis pluošto kryptimis

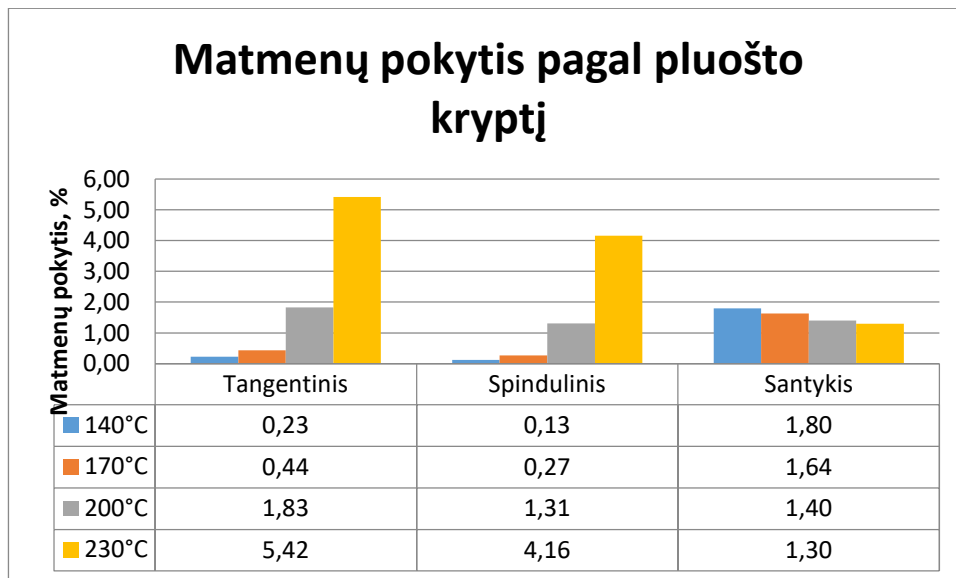
Prieš ir po kiekvieno kaitinimo proceso buvo išmatuojami bandinių matmenys išilgine, spinduline ir tangentine pluošto kryptimis. Šiame poskyryje nagrinėjama kaitinimo temperatūros įtaka matmenų pokyčiui skirtingomis pluošto kryptimis.

Analizuojant gautus duomenis visose temperatūrose, pastebėta, jog didžiausi matmenų pokyčiai užfiksuoti tangentine kryptimi. Spinduline kryptimi pokyčiai buvo nuo 1,23 iki 1,94 karto mažesni negu tangentine. Išilgine kryptimi 140 °C, 170 °C ir 200 °C temperatūrose bandinių matmenys kito intervale iki 0,1 %, o 230°C temperatūroje nuo 0,11 % iki 0,38 %. Galima teigti, jog išilgai pluošto matmenys beveik nekinta. Remiantis literatūra gauti rezultatai atitinka kitų autorių pateiktus duomenis [2, 13].

Tolimesnei matmenų pokyčio analizei tangentine ir spinduline kryptimis išvedamas santykinis dydis, kad galima būtų abejomis kryptimis gautus rezultatus lyginti tarpusavyje.

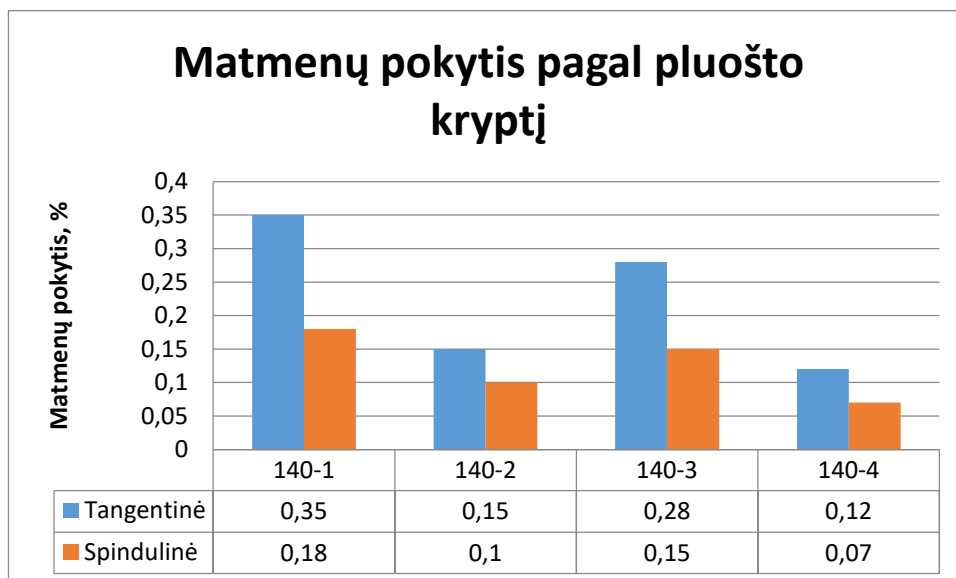
$$\text{Santykinis dydis} = \frac{\text{Nuodžiūvis tangentine kryptimi}}{\text{Nuodžiūvis spinduline kryptimi}} \quad (4)$$

Išvedus santykinį dydį, matmenų pokytis skirtingose temperatūrose pagal pluošto kryptį pateikiamas 24 paveiksle.



24 pav. Matmenų pokytis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 140 °C, 170 °C, 200 °C ir 230 °C temperatūrose

140 °C temperatūroje kaitinant medienos bandinius, tangentine kryptimi bandinių matmenų pokytis buvo 1,80 karto didesnis negu spinduline kryptimi. Šioje temperatūroje gautas santykis tarp tangentinės ir spindulinės krypties užfiksuotas didžiausias viso tyrimo eigoje. Išilgine kryptimi matmenys beveik nekito. Kiekvienos bandinių pogrupio, kaitinto 140 °C temperatūroje, matmenų pokyčio santykinis dydis tarp dviejų pluošto krypčių pateikiamas 25 paveiksle.



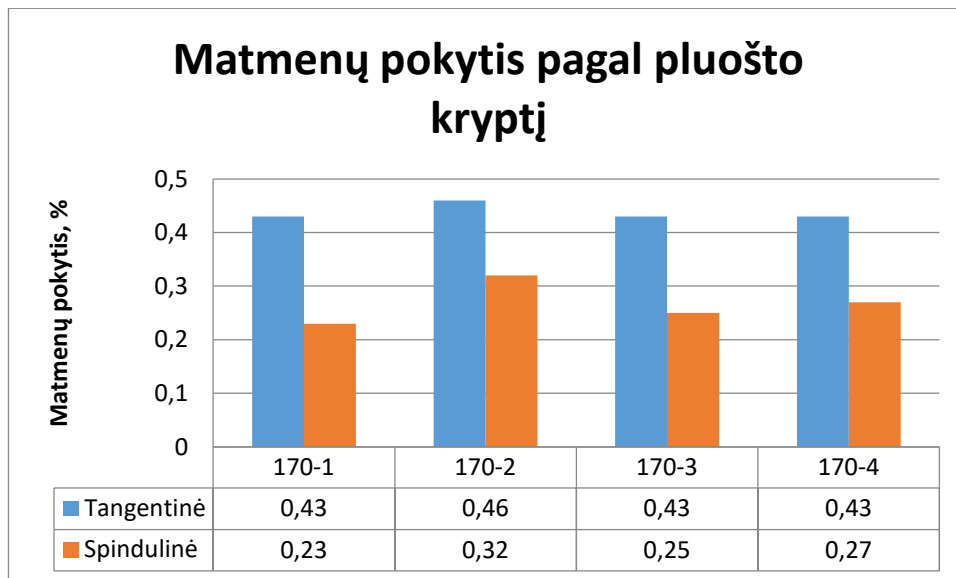
25 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokyčio santykis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 140 °C temperatūroje

140 °C temperatūroje tangentine kryptimi matmenys sumažėjo nuo 0,12 % iki 0,35 %, o spinduline kryptimi nuo 0,07 % iki 0,18 %. Pagrindiniai pokyčiai abejomis kryptimis vyko pogrupiuose „140-1“ ir „140-3“. Likusiose dvejuose pogrupiuose pokyčiai buvo ženkliai mažesni.

Didžiausias skirtumas tarp tangentinės ir spindulinės krypties užfiksuotas „140-1“ pogrupio bandiniuose – 1,94 karto didesni matmenų pokyčiai gauti tangentine kryptimi. Šis gautas rezultatas buvo didžiausias viso tyrimo metu. „140-3“ pogrupyje santykinis dydis gautas gana artimas prieš tai minėtam pogrupiui – 1,87. Kitų bandinių pogrupių „140-4“ ir „140-2“ tangentine kryptimi matmenų pokytis buvo užfiksuotas didesnis atitinkamai 1,71 ir 1,50 karto negu spinduline kryptimi. Galima teigti, jog bandinių matmenų dydis neturi tiesioginės priklausomybės matmenų pokyčio santykiniam dydžiui tarp tangentinės ir spindulinės krypties.

Pastebėta, jog santykinio dydžio atskirų bandinių grupių rezultatų pasiskirstymas atitinka bandinių pogrupių pradinio tankio pasiskirstymo vertes (2 lentelė). Remiantis tiek literatūra, tiek gautais rezultatais, galima daryti prielaidą, jog šioje temperatūroje matmenų pokyčio santykį tangentine ir spinduline kryptimis lemia medienos tankis, t. y. kuo didesnis medienos tankis, tuo didesnis tangentinės ir spindulinės krypties matmenų pokytis [13, 17, 22].

Kaitinant uosio medieną 170 °C temperatūroje, gauti matmenų pokyčiai tangentine ir spinduline kryptimis beveik dvigubai didesni nei 140 °C temperatūroje. Lyginant bandinius, kaitintus šiose temperatūrose, pastebėta, jog spinduline kryptimi matmenų pokytis padidėja daugiau nei tangentine kryptimi ir santykis tarp tangentinės krypties ir spindulinės sumažėja nuo 1,80 karto iki 1,64 karto. Matmenų pokyčio santykis tangentine ir spinduline kryptimis 170 °C temperatūroje pateikiamas 26 paveiksle. Kaitinant uosio medieną šioje temperatūroje, tangentine kryptimi visų grupių tirti bandiniai sumažėjo beveik identiškai – intervale nuo 0,43 % iki 0,46 %. Spinduline kryptimi matmenų pokyčio intervalas gautas didesnis – nuo 0,23 % iki 0,32 %. Išilgine kryptimi buvo pastebėti tik reti minimalūs matmenų pokyčiai kaip ir 140 °C temperatūroje, tad galima teigti, jog matmenys šia kryptimi beveik nekinta.

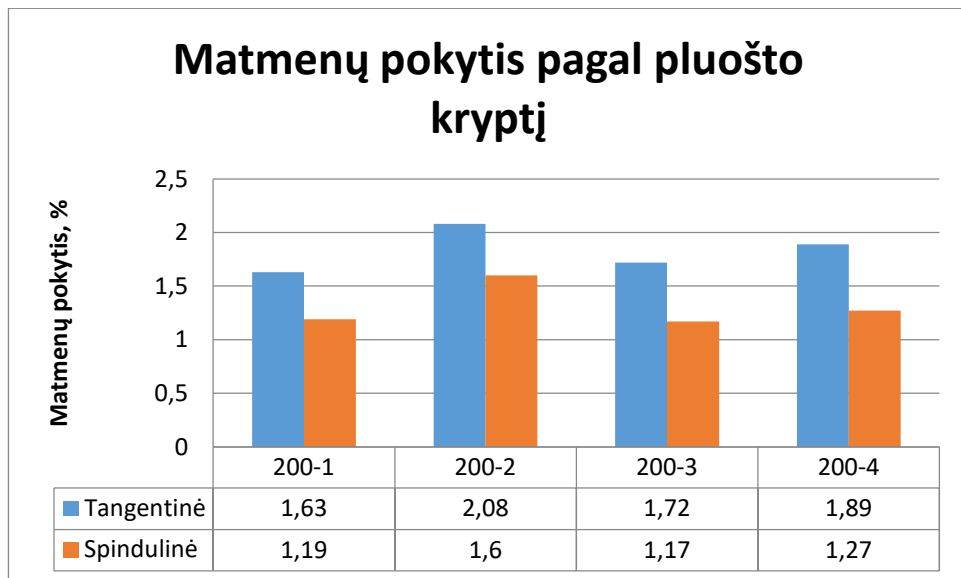


26 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokyčio santykis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 170 °C temperatūroje

Kaip ir kaitinant 140 °C temperatūroje, taip ir kaitinant medieną 170 °C temperatūroje, bandinių matmenų dydis neturėjo tiesioginės įtakos santykiniam matmenų pokyčio dydžiui tarp tangentinės ir spindulinės krypties. Remiantis rezultatais, galime teigti, kad bandinių matmenys neturi įtakos matmenų pokyčiui tangentine kryptimi. Visose grupėse vyksta panašus matmenų pokytis šia kryptimi.

170 °C temperatūroje taip pat pastebima tokia pati gautų rezultatų pasiskirstymo tendencija kaip ir 140 °C temperatūroje. Tad galima teigti, jog kaitinant medieną 170 °C temperatūroje, matmenų pokytis tangentine ir spinduline kryptimi priklauso nuo medienos tankio. Kadangi kaitinimo metu gauti rezultatai tangentine kryptimi buvo beveik identiški, tikėtina, jog medienos tankis nulemia tik spindulinės krypties matmenų pokytį.

Kaitinimas 200 °C temperatūroje uosio medienai sukėlė ženkliai didesnius matmenų pokyčius nei prieš tai nagrinėtose temperatūrose. Šioje temperatūroje sumažėjo skirtumas santykio tarp tangentinės ir spindulinės krypties matmenų pokyčių iki 1,40 karto. Išilgine kryptimi matmenų pokytis nustatytas minimalus. Kiekvieno bandinių pogrupio gauti matmenų pokyčiai tangentine ir spinduline kryptimi pateikiami grafiškai (27 pav.).



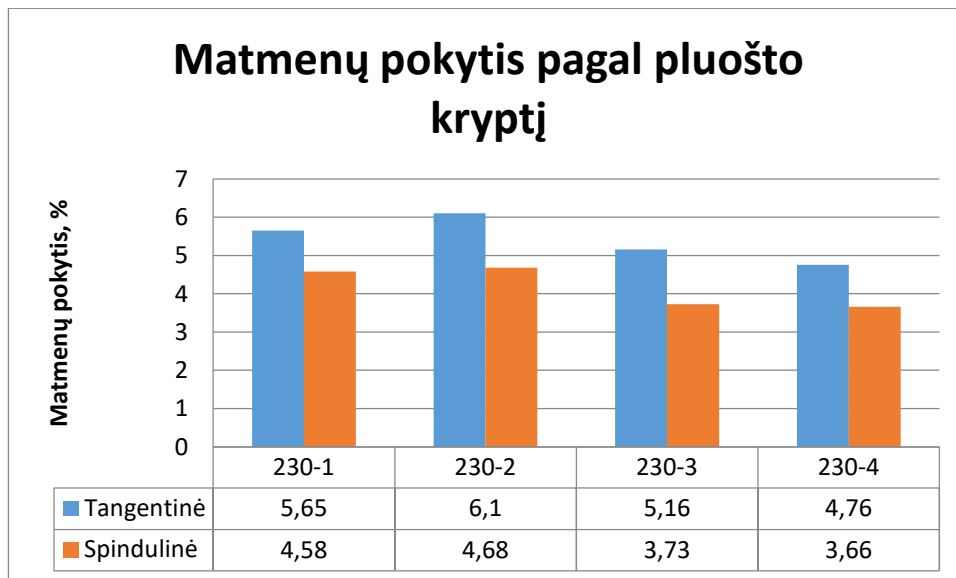
27 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokytis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 200 °C temperatūroje

Didžiausi pokyčiai tiek tangentine, tiek spinduline kryptimis užfiksuoti „200-2“ bandinių pogrupio. Mažiausios šios vertės gautos „200-1“ bandinių pogrupio. Pagal gautus duomenis, galima teigti, jog kaitinant medieną 200 °C temperatūroje medienos matmenų pokytis šiomis kryptimis didžiausias gautas tų pogrupių, kurių medienos tankis buvo mažiausias. Matmenų pokyčio reikšmės dydis tangentine ir spinduline kryptimis atvirkščiai priklausomas medienos tankiui.

Tangentine kryptimi bandiniai sumažėjo nuo 1,30 iki 1,49 karto daugiau nei spinduline. Priklausomybės tarp šių dydžio pasiskirstymo nepastebėta.

Gauti rezultatai kaitinant uosio medieną 140 °C, 170 °C, 200 °C temperatūrose buvo gauti ir kitų mokslininkų tyrimuose [8, 13].

Sudėtinga nagrinėti bandinių, kaitintų 230 °C temperatūroje, matmenų pokytį. Visų keturių pogrupių bandiniuose kaitinimo metu susidarė įtempiai, kurie lėmė bandinių deformacijas – mediena suskilo. Būtent šie minėti faktoriai neleido tiksliai išmatuoti medienos tūrio. Gauti apytiksliai matmenų pokyčio rezultatai tangentine ir spinduline kryptimis pateikiami 28 paveiksle.



28 pav. Uosio medienos bandinių pogrupių matmenų pokytis tangentine ir spinduline kryptimis po kaitinimo 230 °C temperatūroje

Kaitinant šioje temperatūroje užfiksuotos mažiausias skirtumas tarp tangentinės ir spindulinės krypties, gauti rezultatai intervale nuo 1,23 iki 1,38 karto. „230-3“ ir „230-4“ pogrupių bandinių matmenų pokytis gauti panašus. Įtakos turėjo tai, jog tarp abiejų šių pogrupių bandiniuose susidarė deformacijos. Tiesioginės matmenų pokyčio priklausomybės nuo bandinio matmenų neužfiksuota.

Verta panagrinėti 230 °C kaitinimo metu pastebėtus matmenų pokyčius išilgine kryptimi, kurie užfiksuoti intervale nuo 0,11 % iki 0,38 %. Šie pokyčiai yra 2-5 kartus didesni, nei iki tol tyrinėtose temperatūrose. Jų pasiskirstymas gautas toks: „230-1“ – 0,37 %; „230-2“ – 0,11 %; „230-3“ – 0,38 %; „230-4“ – 0,17 %. Matmenų pokyčio išilgine kryptimi taipogi nepastebėta tiesioginės priklausomybės nuo bandinio matmenų. Kadangi didžiausio tankio bandinių pogrupių „230-1“ ir „230-3“ matmenų sumažėjimas užfiksuotas daugiau nei dvigubai didesnis nei likusių pogrupių, galima teigti, jog matmenų pokytis išilgine kryptimi priklauso nuo medienos tankio.

Apibendrinant gautus rezultatus, pastebėta, jog didėjant kaitinimo temperatūrai, bandinių matmenų santykinis pokytis tarp tangentinės ir spindulinės krypties mažėja. Tai lemia tai, jog didesnėje temperatūroje matmenų pokytis padidėja spinduline kryptimi. Matmenų pokytis abejomis šiomis kryptimis nepriklauso nuo bandinio matmenų. Kaitinant medieną 140 °C, 170 °C ir 200 °C temperatūrose, matmenų pokyčiai tangentine ir spinduline kryptimi buvo atvirkščiai proporcingi medienos tankiui, t. y. mažėjant medienos tankiui, gauti didesni bandinių pokyčiai tiek tangentine, tiek spinduline kryptimis. Tokia priklausomybė neužfiksuota 230 °C temperatūroje dėl bandinių

deformacijos. Išilgine kryptimi reikšmingas matmenų pokytis užfiksuotas tik 230 °C. Didėjant medienos tankiui, matmenų pokytis išilgine kryptimi mažėja.

3.7. Eksperimentinių duomenų statistinis apdorojimas

Gauti tyrimo eksperimentiniai duomenys apdoroti statistiškai, siekiant įvertinti bandinių masės, tūrio ir tankio pokyčių rezultatų sklaidą. Pagal formules apskaičiuoti svarbiausi statistiniai rodikliai – variacinės eilutės plotis, aritmetinis vidurkis, dispersija, standartinis nuokrypis ir variacijos koeficientas. Žemiau pateikiamos skaičiavimams naudotos formulės.

Variacinės eilutės plotis, R:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (5)$$

Aritmetinis vidurkis, x:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

Dispersija, s^2 :

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1} \quad (7)$$

čia: $(x_i - x)$ – kiekvieno gauto rezultato nuokrypis nuo aritmetinio vidurkio; n – rezultatų skaičius

Eksperimento standartinis nuokrypis, s:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1}} \quad (8)$$

Variacijos koeficientas, v:

$$v = \frac{s}{x} \times 100, \% \quad (9)$$

Jei variacijos koeficientas v yra gaunamas $\leq 5 - 10 \%$, vadinasi rezultatų sklaida nedidelė, jei koeficientas gaunamas $15 - 20 \%$ - didelė, jei $\geq 20 \%$ – labai didelė.

Visų pogrupių masės pokyčių statistiniai duomenys pateikia 4 lentelėje.

4 lentelė. Bandinių masės pokyčio statistinės vertės

Rezultatai Pogrupis	R	x	s²	s	v, %
„140-1“	2,24	0,38	0,007	0,085	22,30
„140-2“	1,10	0,44	0,006	0,080	18,20
„140-3“	0,77	0,49	0,025	0,051	10,33
„140-4“	1,24	0,69	0,743	0,086	12,50
„170-1“	0,90	0,55	0,018	0,134	24,35
„170-2“	1,37	0,62	0,024	0,154	24,77
„170-3“	1,85	0,69	0,034	0,184	26,66
„170-4“	0,95	0,73	0,014	0,117	15,97
„200-1“	5,00	6,68	0,171	0,414	3,83
„200-2“	8,90	6,41	0,106	0,326	5,08
„200-3“	5,83	5,88	0,187	0,432	7,75
„200-4“	5,02	4,77	0,098	0,313	6,56
„230-1“	15,18	23,13	5,872	2,423	10,48
„230-2“	14,98	26,63	7,513	2,741	10,30
„230-3“	22,05	27,85	10,277	3,206	11,51
„230-4“	25,06	28,63	8,282	2,878	10,05

Iš gautų rezultatų matoma, kad didžiausia masės pokyčio dėl kaitinimo sklaida yra užfiksuota tada, kai bandiniai kaitinti 170 °C temperatūroje. Tai galima paaiškinti tuo, kad būtent šioje temperatūroje yra ekstraktinės medžiagos ir hemiceliuliozė. Remiantis kitų tyrėjų rezultatais, galima teigti, kad tai ribinė temperatūra, kurioje pradeda irti hemiceliuliozė ir, galbūt, dar nepilnai suyra ekstraktinės medžiagos [10-12]. Skirtinguose bandiniuose šios medžiagos tikriausiai yra skirtingai, jų kiekiai irgi gali skirtis.

Mažiausia masės pokyčių verčių sklaida užfiksuota tada, kai mediena buvo pakaitinta 3 valandas 200 °C temperatūroje. Tai galima paaiškinti tuo, kad šioje temperatūroje turėtų suirti visos ekstraktinės medžiagos ir yra ženkliai paveikiama hemiceliuliozė [10].

Visų pogrupių tūrio pokyčių statistiniai duomenys pateikia 5 lentelėje.

5 lentelė. Bandinių tūrio pokyčio statistinės vertės

Rezultatai Pogrupis	R	x	s²	s	v, %
„140-1“	1,50	1,01	0,117	0,343	33,93
„140-2“	1,51	0,65	0,058	0,241	37,04
„140-3“	1,01	0,61	0,065	0,256	39,34
„140-4“	0,75	0,35	0,021	0,143	40,93
„170-1“	1,06	1,06	0,074	0,273	25,72
„170-2“	1,02	0,92	0,068	0,261	28,34
„170-3“	1,01	0,79	0,058	0,241	30,54
„170-4“	1,25	0,71	0,038	0,194	27,34
„200-1“	3,02	3,48	0,027	0,163	4,69
„200-2“	4,50	3,36	0,275	0,115	15,53
„200-3“	3,30	3,25	0,281	0,530	16,29
„200-4“	3,27	2,76	0,171	0,414	14,99
„230-1“	9,43	10,79	0,093	0,306	2,83
„230-2“	8,14	10,53	0,938	0,968	9,20
„230-3“	9,65	8,88	0,674	0,821	9,25
„230-4“	10,95	8,33	0,507	0,712	8,55

Iš gautų rezultatų matoma, kad didžiausia tūrio pokyčio dėl kaitinimo sklaida yra užfiksuota tada, kai bandiniai kaitinti 140 °C temperatūroje. Tai galima paaiškinti tuo, kad būtent šioje temperatūroje yra dalis ekstraktinių medžiagų, o tūrio pokyčiai užfiksuoti tik dalyje bandinių. Skirtinguose bandiniuose šios medžiagos iro skirtingai dėl skirtingos medienos struktūros [8,10].

Mažiausia tūrio pokyčių verčių sklaida užfiksuota tada, kai mediena buvo pakaitinta 3 valandas 230 °C temperatūroje. Tai galima paaiškinti tuo, kad šioje temperatūroje turėtų suirti visos ekstraktinės medžiagos, hemiceliuliozė ir paveikiamas ligninas [10-12].

Visų pogrupių tankio pokyčių statistiniai duomenys pateikia 6 lentelėje.

6 lentelė. Bandinių tankio pokyčio statistinės vertės

Rezultatai Pogrupis	R	x	s²	s	v, %
„140-1“	1,87	-0,64	0,062	0,214	28,11
„140-2“	1,31	-0,21	0,032	0,161	27,62
„140-3“	0,89	-0,12	0,045	0,154	24,84
„140-4“	0,99	0,34	0,382	0,115	26,72
„170-1“	0,98	-0,51	0,046	0,204	25,04
„170-2“	1,20	-0,30	0,046	0,208	26,56
„170-3“	1,43	-0,10	0,046	0,213	28,60
„170-4“	1,10	0	0,026	0,156	21,66
„200-1“	4,01	3,31	0,099	0,289	4,26
„200-2“	6,70	3,16	0,191	0,221	10,31
„200-3“	4,46	2,72	0,234	0,481	12,02
„200-4“	4,15	2,07	0,135	0,364	10,78
„230-1“	12,31	13,88	2,983	1,365	6,66
„230-2“	11,56	18,00	4,226	1,855	9,75
„230-3“	15,85	20,82	5,476	2,014	10,38
„230-4“	18,01	22,15	4,395	1,795	9,30

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad didžiausia tankio pokyčio dėl kaitinimo sklaida yra užfiksuota tada, kai bandiniai kaitinti 140 °C ir 170 °C temperatūrose. Tai galima paaiškinti tuo, kad šiose temperatūrose labai skirtingai kito medienos bandinių masė ir tūris. Todėl tankio pokyčio rezultatų sklaidos gautos vertės abiem atvejais buvo panašios.

Mažiausia tankio pokyčių verčių sklaida užfiksuota tada, kai mediena buvo pakaitinta 3 valandas 230 °C temperatūroje.. Tai galima paaiškinti tuo, kad šioje temperatūroje buvo didžiausias tankio pokytis dėl ekstraktinių medžiagų, hemiceliuliozės ir lignino suirimo [10-12, 17-18].

IŠVADOS

1. Uosio medieną kaitinant aukštosiose temperatūrose, tūrio ir masės pokytis priklauso nuo kaitinimo temperatūros, bandinių matmenų ir pluošto krypties, bandinio išpjovimo krypties, tankio ir rievių skaičiaus.

2. Nustatyta, kad kaitinant uosio medieną 140 °C, 170 °C, 200 °C ir 230 °C temperatūrose didžiausias tūrio pokytis buvo mažiausių matmenų, o mažiausias pokytis – didžiausių matmenų bandinių. Medienos bandinių tūrio pokyčio vidurkis kaitinant juos 140 °C ir 170 °C temperatūrose gautas iki 1 %, 200 °C apie 3,2 %, o 230 °C – 9,6 %.

3. Esant didesniems bandiniams, jų tankio pokytis didesnis 140 °C, 170 °C ir 230 °C temperatūrose. Kaitinant medieną 200 °C temperatūroje, didžiausi masės pokyčiai nustatyti mažiausių matmenų bandiniams, kas nulėmė priešingą tankio pokyčio priklausomybę.

pokyčiai masės atžvilgiu vyksta tolygiai kaip ir matmenų pokyčio.

4. Nustatyta, kad kuo didesnė kaitinimo temperatūra, tuo uosio medienos bandinių masė sumažėja daugiau. Medienos bandinių masės pokyčio vidurkis kaitinant juos 140 °C ir 170 °C temperatūrose gautas iki 1 %, 200 °C – apie 6 %, o 230 °C – 26,6 %.

5. Didėjant kaitinimo temperatūrai, bandinių santykinis matmenų pokytis tarp tangentinės ir spindulinės krypties mažėja dėl didėjančių pokyčių spinduline kryptimi. Matmenų pokytis abejomis kryptimis nepriklauso nuo bandinio matmenų.

6. Kaitinant uosio medieną 140 °C ir 170 °C temperatūrose jos tankis beveik nesikeitė. Kaitinant 200 °C ir 230 °C temperatūrose, medienos tankis sumažėjo apie 2,81 % ir 18,7 %. Didėjant kaitinimo temperatūrai medienos tankio pokytis didėja.

7. Bandinių, kurių buvo didesnis rievių skaičius ir tankis, 140 °C ir 170 °C temperatūrose tūris nesikeitė. Pusiau spinduline kryptimi išpjauti bandiniai dvigubai rečiau keitė savo matmenis, negu išpjauti tangentine kryptimi.

LITERATŪRA

1. JUODEIKIENĖ, Inga. *Medienos sandara*. Kaunas: Technologija, 2011. ISBN 9789955254676.
2. JAKIMAVIČIUS, Česlovas. *Medienotyra*. Kaunas: Technologija, 2008. ISBN 9986136334.
3. MIŠKINIS, Vaclovas. *Kietojo biokuro apskaitos energijos gamybos šaltiniuose taisyklės. Galutinė ataskaita*. Lietuvos energetikos institutas, 2011.
4. Finnish ThermoWood Association, *ThermoWood Handbook*. Helsinkis: Suomija, 2003.
5. Younsi R., Kocaefe D., Poncsak S., Kocaefe Y., *Computational and experimental analysis of high temperature thermal treatment of wood based on ThermoWood technology*. International Communications in Heat and Mass Transfer 37, 2009, 21-28. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.08.008>
6. Korkur, S. *The Effects of Heat Treatment on Some Technological Properties in Uladag Fir*. Wood Building and Environment 43, 2008, 422-428. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.004>
7. Korkur, S., Kok, S. M., Korkur, S. D., Gurleyen, T. *The Effects of Heat Treatment on Technological Properties in Red-bud Maple Wood*. Bioresource Technology 99, 2008, 1538-1543. Prieiga per doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.021>
8. Albrektas D., Baltrušaitis A., Juodeikienė I., Keturakis G., Minelga D., Norvydas V., Pranskevičienė V., Ukvalbergienė K. *Medienos inžinerija*. Kaunas: Technologija, 2011. ISBN 9789955259725.
9. Kajalavičius A., Albrektas D. *Medienos hidroterminio apdorojimo teorija ir įranga*. Kaunas: Technologija, 2011. ISBN 9789955255062.
10. Sundqvist, B. *Colour Stability of Capillary Phase Heat-treated Wood Exposed to UV-light*. Wood Technology and Forestry, 1999, 172-182.
11. Candelier, K., Dumarcay, S., Pertissans, A., Desharnais, L., Gerardin, P., Pertissans, M. *Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inter atmospheres: Nitrogen or vacuum*. Polymer Degradation and Stability 98, 2013, 677-681. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.022>
12. Windeisen, E., Wegener G. *Behaviour of lignin during thermal treatments of wood*. Industrial crops and products 7, 2008, 157-162. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.015>

13. Chotikhun, A., Hiziroglu, S. *Measurement of dimensional stability of heat treated southern red oak*. *Measurement* 87, 2016, 99-103. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.02.064>
14. Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe, Y., Boluk, Y., Pichette, A.. *Study of the degradation behavior of heat-treated jack pine under artificial sunlight irradiation*. *Polymer Degradation and Stability* 97, 2012, 1197-1214. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.03.022>
15. Priadi, T., Hiziroglu, S. *Characterization of heat treated wood species*. *Materials and design* 49, 2013, 575-582. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.067>
16. Salca, E. A., Hiziroglu, S. *Evaluation of hardness and surface quality of different wood species as function of heat treatment*. *Materials and design* 62, 2014, 416-423. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.05.029>
17. Navickas, P., Albrektas, D. *Effect of Heat Treatment on Sorption Properties and Dimensional Stability of Wood*. *Materials science* 19, 3, 2013, 291-294. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ms.19.3.5239>
18. Metsa-Kortelainen, S., Antikainen T., Viitaniemi P. *The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170, 190, 210 and 230*. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64, 2006, 192-197. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-005-0063-y>
19. Johansson, D., Moren T. *The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood*. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64, 2006, 104-110. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-005-0082-8>
20. Goli, G., Marcon, B., Fioravanti, M. *Poplar wood heat treatment: effect of air ventilation rate and initial moisture content on reaction kinetics, physical and mechanical properties*. *Wood Sci Technol* 48, 2014, 1303-1316. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00226-014-0677-5>
21. Kocaefe, D., Younsi, R., Chaudry, B., Kocaefe, Y. *Modeling of heat and mass transfer during high temperature treatment of aspen*. *Wood Sci Technol* 40, 2006, 371-391. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00226-006-0069-6>
22. Candelier, K., Thevonon, M. F., Pertissans, A., Dumarcay, S., Gerardin, P., Pertissans, M.. *Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review*. *Annals of Forest Science* 73, 2016, 571-583. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s13595-016-0541-x>
23. Sandak, A., Sandak, J., Allegretti, O. *Quality control of vacuum thermally modified wood with near infrared spectroscopy*. *Vacuum* 114, 2015, 44-48. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.20014.12.027>

24. Bakar, B. F. A., Hiziroglu, S., Tahir, P. M. *Properties of some thermally modified wood species* Materials and Design 43, 2013, 348-355. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.054>
25. Pelit, H., Budakci, M., Sonmez, A., Burdurlu, E. *Surface roughness and brightness of scots pine applied with water-based varnish after densification and heat treatment.* Wood Sci, 61, 2015, 586-594. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1017/s10086-015-1506-7>
26. Aytin, A., Korkut, S. *Effect of thermal treatment on the swelling and surface roughness of common alder and wych elm wood.* J. For. Res., 27, 2016, 225-229. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-015-0136-7>
27. Unsal, O., Ayrimis, N. *Variations in compression strenght and surface roughness of heat treated Turkish river red gum wood.* Wood Sci, 51, 2005, 405-409. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10086-004-0665-x>
28. Fruhwald, E. *Effect of high-temperature drying on properties of Norway spruce and larch.* Holz Roh Werkst 65, 2007, 411-418. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-0174-8>
29. Funaoka, M., Kako, T., Abe, I. *Condensation of lignin during heating of wood.* Sci Technol 24, 2007, 277-288. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01153560>
30. Sundqvist B. *Colour changes and acid formation in wood during heating. Doctor thesis.* 2007, Prieiga per: interneta: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:999439/FULLTEXT01.pdf> [žiūrēta 2017-01-10].