

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Paulius Muralis

**VIETOS DŽIOVYKLOJE IR DŽIOVINIMO REŽIMO ĮTAKOS DRĖGNIO
PASISKIRSTYMO MEDIENOJE TYRIMAS**

Magistro darbas

Vadovas

Doc. dr. Darius Albrektas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėja

Doc. dr. Vaida Jonaitienė

Paulius Muralis

**VIETOS DŽIOVYKLOJE IR DŽIOVINIMO REŽIMO ĮTAKOS DRĖGNIO
PASISKIRSTYMO MEDIENOJE TYRIMAS**

Medienos inžinerija (621J53001)

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. Darius Albrektas

Recenzentas

Doc. dr. Valdas Norvydas

Atliko

DM – 3 gr. stud. Paulius Muralis

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Paulius Muralis

(Studento vardas, pavardė)

Medienos inžinerija (621J53001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Vietos džiovykloje ir džiovinimo režimo įtakos drėgnio pasiskirstymui medienoje tyrimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2015m. Gegužės mėn. 29d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Pauliaus Muralio** baigiamasis projektas tema „Vietos džiovykloje ir džiovinimo režimo įtakos drėgnio pasiskirstymui medienoje tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Turinys

Turinys.....	4
Paveikslų sąrašas	6
Lentelių sąrašas.....	8
SANTRAUKA	9
SUMMARY	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Medienos džiovinimas.....	12
1.1.1. Medienos džiovyklų klasifikavimas	13
1.2. Medienos džiovinimui įtaką darantys veiksniai	14
1.2.1. Džiovinimo metu atsirandantys defektai	15
1.2.2. Medienos persimetimas džiovinimo metu.....	16
1.2.3. Medienos skilimai džiovinimo metu	16
1.2.4. Medienos spalvos pakitimai džiovinimo metu	17
1.2.5. Medienos sukrovimo džiovinimui būdai	18
1.2.6. Oro srauto greičio per medienos rietuvę džiovykloje modeliavimas	20
1.2.7. Džiovinimo režimo parinkimas	23
1.2.8. Džiovinimo režimų modeliavimas ir medienos drėgnio sklaida	25
1.2.9. Drėgmės pasiskirstymas medienoje	26
1.2.10. Medienos drėgnio sklaida tolimesnėje gamyboje.....	27
1.2.11. Medienos džiovinimo ekonomiškumas	28
1.3. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	29
2. Tyrimų objektas.....	31
3. Tyrimų metodika	32
3.1. Medienos džiovinimo metodika	32
4. Rezultatai ir jų aptarimas.....	37

4.1. Medienos drėgnio pasiskirstymo esant skirtingiems džiovinimo režimams nustatymas ...	37
4.1.1. Džiovinimo režimas Nr. 1	37
4.1.2. Džiovinimo režimas Nr. 2	38
4.1.3. Džiovinimo režimas Nr. 3	40
4.1.4. Džiovinimo režimas Nr. 4	41
4.2. Medienos drėgnio pasiskirstymo nuo vietos džiovykloje nustatymas	42
4.2.1. Džiovinimo režimas Nr. 1	42
4.2.2. Džiovinimo režimas Nr. 2	43
4.2.3. Džiovinimo režimas Nr. 3	44
4.2.4. Džiovinimo režimas Nr. 4	45
4.3. Medienos džiovinimo režimo įtaka džiovinimo trukmei.....	46
Išvados.....	48
Literatūros sąrašas	49
Priedai.....	51

Paveikslų sąrašas

1 pav. Konvekcinės džiovyklos schema: 1 – medienos džiovyklos pastatas, 2 – vartai ir vartų nukėlimo mechanizmas, 3 – ventiliatorių rėmas su ventiliatoriais, 4 – šilumos perdavimo sistema, 5 – drėkinimo sistema, 6 – drėgmės šalinimo sistema, 7 – valdymo sistema [3]	14
2 pav. Medienos spalvos pakitimų priklausomybė nuo oro srauto greičio [11].....	17
3 pav. Skirtingų ilgių ir pločių medienos pakavimas [12].....	19
4 pav. Skirtingų storių medienos tarpiklių įtaka medienos džiūvimo laikui [14].....	20
5 pav. Oro srauto judėjimas džiovinimo kameroje [16]	21
6 pav. Oro srauto tekėjimas rodyklių kryptimis per rietuvę. Vaizdas pateiktas iš viršaus [16]	21
7 pav. Medienos džiovinimo priklausomybė nuo medienos rietuvės pločio. $EMC = 14.0\%$, $v = 1.5m/s$, džiovinimo agento temperatūros skirtingos [18]	22
8 pav. Džiovinimo temperatūros (Temp), pusiausvirinio drėgnio (EMC) ir medienos drėgnio (MC) priklausomybė nuo džiovinimo laiko, džiovinant A (Ąžuolo medieną), B (Buko medieną), C (Uosiu medieną), D (Platanalapio klevo medieną) švelniu (con) ir forsuotu (acc) džiovinimo režimais [20]	24
9 pav. Prognozuojamas medienos drėgnis lyginant su medienos drėgniu, nustatytu medieną išdžiovinus džiovinimo kameroje [22]	25
10 pav. Prognozuojamo ir eksperimentinio medienos drėgnio priklausomybė nuo džiovinimo laiko [23]	26
11 pav. Medienos drėgnio sklaidos įtaka gaminio kokybei [28]	28
12 pav. Džiovinimui paruošti bandiniai	31
13 pav. Džiovinimo kameroje esančios medienos drėgnis nustatomas jutikliais, kurie įtvirtinti į pažymėtas medienos rietuves	32
14 pav. Kompiuterinis valdiklis (RGK 170, CSA electronic, Vokietija)	33
15 pav. Laboratorinė džiovinimo krosnelė	36
16 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 1. Džiovinama 37mm storio mediena	37
17 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 2. Džiovinama 54mm storio mediena	38
18 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 2. Džiovinama 37mm storio mediena	39
19 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 2. Džiovinama 29mm storio mediena.	39

20 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 3. Džiovinama 37mm storio mediena.	40
21 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 4. Džiovinama 37mm storio mediena.	41
22 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje, taikant džiovinimo režimą Nr. 1	42
23 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje, taikant džiovinimo režimą Nr. 2	43
24 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje taikant džiovinimo režimą Nr. 3	44
25 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje taikant džiovinimo režimą Nr. 4	45

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Medienos džiovinimo būdai [2]	12
2 lentelė. Bandinių skaičius kiekvieno džiovinimo bandymo metu	31
3 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 1. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 4h.....	34
4 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 2. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 4h.....	34
5 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 3. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 6h.....	34
6 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 4. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 2h.....	35
7 lentelė. Džiovinimo režimų fazių (pakaitinimo, drėkinimo, kondicionavimo ir atvėsavimo) parametrai.....	35
8 lentelė. Medienos džiovinimo trukmė, taikant skirtingus džiovinimo režimus.....	46

Vietos džiovykloje ir džiovinimo režimo įtakos drėgnio pasiskirstymui medienoje tyrimas /Magistro projektas/ Autorius – P.Muralis/ Vadovas – doc.dr. D.Albrektas/ Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Medžiagų inžinerijos katedra. Kaunas, 2015 - 48 psl, 25 paveikslai, 8 lentelės.

SANTRAUKA

Medienos džiovinimas – svarbi medienos apdirbimo proceso dalis, vykdoma ekonomiškai ir technologiškai kryptimis. Džiovinant medieną, susiduriama su daugybe veiksnių, kurie daro įtaką džiovinamos medienos kokybei. Kokybiškai išdžiovinta mediena yra brangesnė ir ją apdirbti yra paprasčiau negu drėgną medieną. Medienos džiovinimo režimo parinkimas yra labai svarbi gamybinio ciklo, kuris vyksta konvekcinio džiovinimo kameroje, dalis. Daugybė įvairių medienos džiovinimo režimų yra bandomi ir tikrinamas jų efektyvumas, atsižvelgiant į džiovinimo laiką ir galutinį drėgnio pasiskirstymą, išdžiovintoje medienoje. Plati medienos drėgnio variacija po džiovinimo sukelia daug problemų toliau eksploatuojant medieną. Šio mokslinio darbo tikslas – nustatyti vietos džiovykloje ir džiovinimo režimo įtaką drėgnio pasiskirstymui medienoje.

Tyrimo metu medienos džiovinimas atliekamas konvekciniame džiovinimo kameroje su elektroniniais drėgmės ir temperatūros jutikliais, naudojant kompiuterinę valdiklį (RGK 170, CSA electronic, Vokietija). Taikomi keturi skirtingi žematemperatūriai džiovinimo režimai. Medienos džiovinimo režimai parinkti atsižvelgiant į džiovinamos medienos rūšį. Beržo (lot. Betula) mediena buvo naudojama tiriamųjų bandinių gamybai. Bandymai buvo atliekami džiovinant 37mm storio beržo medieną, siekiant gauti 7,5% galutinį medienos drėgnį. Mokslinio tyrimo metu buvo pagaminta 240 beržo medienos bandinių ir atlikta 12 džiovinimų, siekiant nustatyti vietos džiovykloje ir džiovinimo režimo įtaką drėgnio pasiskirstymui medienoje.

Tyrimo metu buvo nustatytas medienos drėgnio pasiskirstymas, atsižvelgiant į taikytą džiovinimo režimą ir vietą džiovinimo kameroje. Taip pat nustatyta kiekvieno džiovinimo režimo trukmė.

Įvertinus visus keturis džiovinimo režimus, pateikiami rezultatai. Tyrimai parodė, kad džiovinimo režimai neturi didelės įtakos drėgnio pasiskirstymui medienoje. Tačiau medienos vieta džiovinimo kameroje turi įtakos drėgnio pasiskirstymui medienoje.

Investigation of Influence of Place in the Drying Kiln and Drying Schedule on Moisture Content Distribution in Wood /Master's Thesis/ Author – P.Muralis/ Supervisor – doc.dr. D.Albrektas/ Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Kaunas, 2015 - 48 pages, 25 Figures, 8 Tables.

SUMMARY

Wood drying – important part of woodworking process, performed in economical and technological directions. A number of factors are encountered when drying the wood that influence the quality of dried material. High-quality dried wood is expensive and it is easier to process than wet wood. Wood drying schedules selection is a very important part of production cycle. A variety of wood drying schedules are tested and their efficiency verified, according to the drying time and final distribution of moisture content in dried wood. The wide variation of moisture content in wood after drying, cause a lot of trouble to process wood further. Main goal of this scientific work – identify the influence of place in the drying kiln and drying schedule on moisture content distribution in wood.

The study of wood drying is carried out in a convection drying chamber with electronic humidity and temperature sensors and computer controls (RGK 170, CSA Electronic, Germany). Four different modes of low temperature drying are applied. Wood drying schedules are adjusted based on wood species that will be drying. Birch (lat. *Betula*) wood was used for the production of samples. The tests were carried out by drying 37mm thickness birch wood to get 7.5% final moisture content of the wood. 240 birch wood samples has been made and 12 drying process performed in order to identify the influence of place in the drying kiln and drying schedule on moisture content distribution in wood.

Wood humidity distributions in the applied drying schedule and place in the drying chamber were determined. Each drying process duration was found.

All four schedules of drying were evaluated and the results are given. Research has shown that drying schedules doesn't have the effect on moisture content distribution in wood. However the place in the drying kiln affects moisture content distribution in wood.

Ivadas

Mediena - gamtinis produktas, gaunamas iš įvairių medžių rūšių ir naudojamas daugelyje gamybos sričių. Mediena turi gerų, išskirtinių savybių, yra lengvai apdorojama. Kiekviena medienos rūšis yra skirtingo drėgnio, tankio, spalvos, kietumo ir kt. Šviežiai nukirstoje medienoje yra daug vandens, kurio nepašalinus, mediena negali būti tinkamai eksploatuojama ar naudojama aukštesnės kokybės gaminių gamybai.

Medienos džiovinimas yra labai svarbi medienos apdirbimo proceso dalis. Techninis medienos džiovinimas yra sistemingas vandens pašalinimas, vykdomas ekonomiškai kryptimi, siekiant, kad mediena būtų kuo mažiau pažeista ar sugadinta. Medienos skilimai, persimetimai, pelėsis, sušutimas, nusispalvinimas ar netolygus išdžiūvimas yra ydos, kurios gali atsirasti džiovinimo metu, ir kurių būtina išvengti, norint kokybiškai išdžiovinti medieną. Tinkamai išdžiovinta mediena yra brangesnė ir ją apdirbti yra paprasčiau negu drėgną medieną. Išdžiovinta mediena suteikia galimybę labiau kontroliuoti medienos matmenis, sumažėja medienos svoris ir higroskopiškumas, padidėja stipris.

Džiovinant medieną šiluminiu būdu, medienoje esanti drėgmė gali būti pašalinama ją išgarinant arba išvirinant. Šiuo metu, mediena dažniausiai yra džiovinama konvekciniuose džiovyklose. Būtent šio tipo džiovyklas naudoja daugybė Lietuvos įmonių, kurios užsiima pjautinės medienos gamyba ar teikia džiovinimo paslaugas. Šių įmonių tikslas – gauti kuo kokybiškesnį produktą.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Medienos džiovinimas

Medienos džiovinimas – sudėtingas fizikinis procesas, kurį apibūdina šilumos ir masės mainai medienoje [1]. Medienos džiovinimą sąlygoja:

- šilumos mainai tarp aplinkos ir medienos;
- šilumos judėjimas medienoje laidumo būdu;
- drėgmės judėjimas medienoje laidumo būdu;
- drėgmės garavimas iš medienos paviršiaus [2].

Priklausomai nuo šilumos perdavimo medienai, ją galima džiovinti keliais būdais: konvekciniu, kontaktiniu, spinduliniu ir elektriniu [2]. Šie medienos džiovinimo būdai aprašomi 1 lentelėje.

1 lentelė. Medienos džiovinimo būdai [2]

Džiovinimo			Džiovinami sortimentai
Būdas	Variantai	Agentas	
Konvekcinis atmosferinis	Atmosferinis	Oras	Rąstai, pjautinė mediena
Konvekcinis dirbtinis šiluminis	Dujose, atmosferiniame slėgyje	Oras, kūryklų dujos, perkaitintas garas	Pjautinė, smulkintoji mediena, lukštas
	Vakuminis	Praretintas oras	Pjautinė mediena
	Išcentrinis (rotacinis)	Oras	Pjautinė mediena
	Skysčiuose	Hidrofobiniai skysčiai, higroskopinių medžiagų tirpalai	Rąstai, pjautinė mediena
Kontaktinis	Kontaktinis	Oras	Pjautinė, smulkintoji mediena, lukštas
Spindulinis	Spindulinis	Oras	Lukštas, apdailinti paviršiai
Elektrinis	Indukcinis	Oras	Pjautinė mediena
	Dielektrinis	Oras	Rąstai, pjautinė mediena

Džiovinant medieną gali būti naudojami ir kombinuoti džiovinimo būdai, kai mediena pradedama džiovinti vienu, o pabaigiama džiovinti kitu būdu [3]. Šiuo metu Europos valstybėse taikomas metodas, kai mediena iš pradžių džiovinama konvekciniu atmosferiniu būdu iki orasausės drėgmės,

o pabaigiama džiovinti konvekciniu dirbtiniu šiluminiu būdu kol pasiekama reikalinga baldinė drėgmė [2, 3].

1.1.1. Medienos džiovyklų klasifikavimas

Medienos džiovyklos yra klasifikuojamos pagal šilumos perdavimą. Pagal šį klasifikavimą išskiriamos 4 džiovyklų grupės:

- Konvekcinės (orinės – garinės, dujinės ir skystinės);
- Kontaktinės (kondukcinės);
- Spindulinės;
- Dielektrinės (diaterminės) [2].

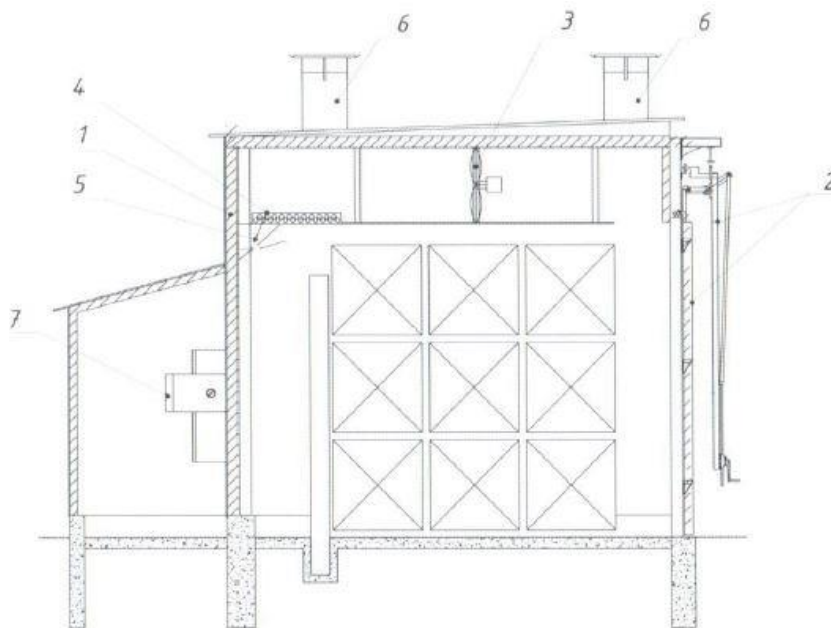
Lietuvoje ir užsienyje labiausiai paplitusios konvekcinės medienos džiovyklos [3]. Šios grupės džiovyklos gali būti skirstomos pagal veikimo principą, konstrukciją, medienos pakrovimo būdą, cirkuliacijos kartotinumą, išgarintos drėgmės pašalinimo iš džiovyklos būdą [2,3].

Konvekcinės medienos džiovyklos yra kamerų formos, todėl vadinamos džiovinimo kameromis [4]. Džiovinimo kamerų konstrukcijos ir detalės gaminamos iš aliuminio ir nerūdijančio plieno, įterpiant šiluminės izoliacijos sluoksnius [5]. Tokiu būdu pagamintų džiovyklų konstrukcijos pasižymi geru mechaniniu ir cheminiu atsparumu bei gera šilumos izoliacija [5]. Pagal veikimo principą džiovyklos skirstomos į dvi grupes:

- Periodinės – džiovyklos, kuriose mediena džiovinama cikliška;
- Nuolatinės – džiovyklos, kurios veikia konvejerio principu [2].

Principinė konvekcinės medienos džiovyklos schema pateikiama 1 paveiksle. Pagrindinės konvekcinės medienos džiovyklos dalys:

- Džiovinimo kamera;
- Džiovinimo kameros vartų sistema;
- Ventiliatorių sistema;
- Šilumos perdavimo sistema;
- Drėkinimo sistema;
- Drėgmės šalinimo sistema;
- Valdymo sistema [3].



1 pav. Konvekcinės džiovyklos schema: 1 – medienos džiovyklos pastatas, 2 – vartai ir vartų nukėlimo mechanizmas, 3 – ventiliatorių rėmas su ventiliatoriais, 4 – šilumos perdavimo sistema, 5 – drėkinimo sistema, 6 – drėgmės šalinimo sistema, 7 – valdymo sistema [3]

Medienos rietuvės į džiovinimo kamerą gali būti pakraunamos autokrautuvu arba bėginiu transportu (sortimentus sukrovus į rietuves ant vežimėlių) [1, 4]. Džiovyklos kameroje agento cirkuliacija gali būti vienkartinė arba daugkartinė. Tai priklauso nuo to, kiek kartų džiovinimo kameroje agentas yra leidžiamas pro rietuves iki kol yra išleidžiamas į atmosferą [2].

1.2. Medienos džiovinimui įtaką darantys veiksniai

Kokybiškam medienos džiovinimui įtaką daro daugybė veiksnių: medienos charakteristikos – biologinė rūšis, sortimentų skerspjūvio matmenys, pradinis ir galutinis medienos drėgnis, medienos tankis ir sandara (metinių rėvių storis, įvijumas ir kt.), džiovinimo kamera, tinkamo džiovinimo režimo parinkimas ir taikomos technologijos charakteristikos – džiovinimo agento (oro) temperatūra, drėgnis, judėjimo greitis ir šių parametrų tolygumas džiovinamos medienos rietuvėse, oro parametrų keitimo manevringumas (kaloriferių, oro cirkuliacinių įrengimų, drėkinimo purkštukų, šviežio oro įleidimo ir panaudoto oro išleidimo įranga), medienos sortimentų sukrovimo į rietuves taisyklumas, rietuvių išdėstymo džiovinimo kameroje tvarka, įkrovos dydis [1, 6].

Visi šie veiksniai daro įtaką medienos džiovinimo kokybei ir trukmei. Medienos džiovinimo proceso metu svarbu pašalinti kuo daugiau šių veiksnių, kad procesas taptų kuo labiau ekonomiškai ir efektyvus tiek kokybės, tiek laiko atžvilgiu.

1.2.1. Džiovinimo metu atsirandantys defektai

Pagrindiniai defektai, kurie atsiranda netaisyklingai džiovinant medieną yra medienos spalvos pokytis, skilimai, persimetimai, pelėsis, sušutimas, nusispalvinimas ar netolygus išdžiūvimas [4]. Yra įvairių pasiūlymų kaip galima išvengti vieno ar kito defekto. Norint išvengti medienos persimetimo, ant medienos paketų džiovinimo metu gali būti uždėtas atitinkamas svoris ar panaudotas suspaudimo mechanizmas [3, 4]. Medienos šutimas prasideda esant aukštai temperatūrai ir prastai ventiliacijai. Siekiant to išvengti, reikia užtikrinti, kad per rietuves einantis oro srautas atitiktų reikalavimus [3]. Skilimai medienoje, džiovinimo metu, gali atsirasti dėl blogo medienos supakavimo į rietuves arba dėl blogai parinkto džiovinimo režimo. Norint išvengti tokių problemų, šias operacijas turėtų atlikti kvalifikuoti darbuotojai. Taip pat galima lentų galus užkalti metalinėmis plokštelėmis arba užtepti specialiomis medžiagomis, kurios neleistų medienai skilti. Viena didžiausių medienos džiovinimo ydų yra netolygus medienos išdžiūvimas. Skiriami tokie netolygūs medienos išdžiūvimai:

- Per sortimento skerspjūvį;
- Per sortimento ilgį;
- Vienoje kameroje džiovinamos medienos kiekio;
- Viso vienos partijos medienos kiekio [3].

Netolygus medienos išdžiūvimas priklauso ne tik nuo džiovinimo proceso. Medis skirtinguose kamieno vietose yra skirtingo drėgnio. Todėl realu, kad medžio kamieną suskersavus į rąstus, juos išpjovus į lentas ir išdžiovinus, gausime netolygiai išdžiūvusią medieną. Džiovinimo metu taip pat gali pasireikšti drėgmės „kišenės“ reiškiny, kuri gali būti rasta nedidelių savo tūrių zonų džiovinamoje medienoje [3]. Drėgmės „kišenės“ zonos bus drėgnesnės už džiovinotos medienos drėgmės vidurkį.

Matmenų stabilumas – svarbi medienos kokybės problema, susijusi su medienos drėgniu [7]. Įvairius medienos gaminius yra veikiami aplinkos sąlygų juos gaminant, sandėliuojant ir eksploatuojant. Gaminams, pagamintiems iš išdžiovinotos medienos, patekus į aplinką, kuri yra labai drėgna, mediena pradės plėstis ir tokiu atveju gaminys bus sugadintas. Sausoje ir šiltoje aplinkoje eksploatuojamas gaminys gali pradėti trauktis. Labai svarbu medieną išdžiovinti iki reikiamo drėgnio, nes kitu atveju, mediena pradeda keisti matmenis, o tai labai neigiamai veikia gaminių kokybę.

1.2.2. Medienos persimetimas džiovinimo metu

Džiovinant medieną, įtempimai ir deformacijos medienoje atsiranda dėl medienos nuodžiūvio, kuris priklauso nuo drėgmės ir temperatūros variacijų. Medienos persimetimas gali būti skersinis, išilginis, kraštinis arba sraigtinis [2, 8]. Spiralinis pluoštas yra vienas labiausiai pasitaikančių defektų medienoje ir sukelia daugybę problemų, kurios paveikia medienos mechanines savybes, džiovinimą ir apdirbimą [8]. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad skirtingų rūšių mediena persimeta skirtingai: japoninio maumedžio (lot. *Larix leptolepis*) ir kapoklinio tujenio (lot. *Thuja plicata*) mediena yra linkusi persimesti kur kas labiau nei kitų rūšių mediena [8]. Džiovinant japoninio maumedžio medieną, persimetimo kampas yra labiau susijęs su pluošto kampu išorinėje medienos dalyje negu vidinėje medienos dalyje, o kapoklinio tujenio pluošto kampas yra didelis ir varijuoja spinduline kryptimi [8].

Norint nustatyti medienos pluošto krypties įtaką spinduline kryptimi ir reikalingą prispaudimo svorį, reikia atlikti medienos persimetimo jėgos matavimus, medienos džiovinimo metu [8].

Didesnis medienos persimetimo kampas bus medienoje, kuri yra gauta iš išorinės medžio dalies [8]. Medienos persimetimas džiovinimo metu priklauso nuo pluošto kampo variacijos spinduline kryptimi [8].

Galima teigti, kad persimetinėti pradeda mediena, kurioje yra didelis pluošto kampas. Tai atsitinka vos tik mediena pradeda džiūti ir gali tęstis netgi po džiovinimo, medieną sandėliuojant. Efeityvus būdas, išvengti medienos persimetimo, yra medienos prispaudimas džiovinimo metu. Tačiau tinkamas svorio parinkimas ir prispaudimas priklauso nuo darbuotojų patirties ir intuicijos.

1.2.3. Medienos skilimai džiovinimo metu

Džiovinimo metu mediena gali skilti – atsirasti įvairių dydžių vidiniai ir paviršiniai plyšiai. Taikant forsuotus džiovinimo režimus, mediena yra linkusi skilti kur kas labiau nei taikant normalius arba švelnius džiovinimo režimus. Medienai skylant, pirmiausiai susidaro smulkūs plyšeliai, dar vadinami „plaukiniais“ plyšeliais, kurių gylis būna iki 1/10 sortimento storio, toliau susidaro dideli paviršiniai plyšiai, kurie gali pereiti į vidinius plyšius [4]. Vidiniai plyšiai susidaro kai medienos paviršius būna nudžiūvęs, o centriniai medienos sluoksniai tik pradeda džiūti [4]. Džiovinant jau sikilusią medieną, skilimai linkę didėti ir gilėti [3]. Medienos skilimai priklauso nuo medienos rūšies, medienos supakavimo į rietuves, džiovinimo režimo intensyvumo [9]. Medieną džiovinant forsuotai, naudojant aukštas temperatūras ir mažą pusiausvirinį drėgnį, medienos sortimentų galai skilinėja [4]. Norint

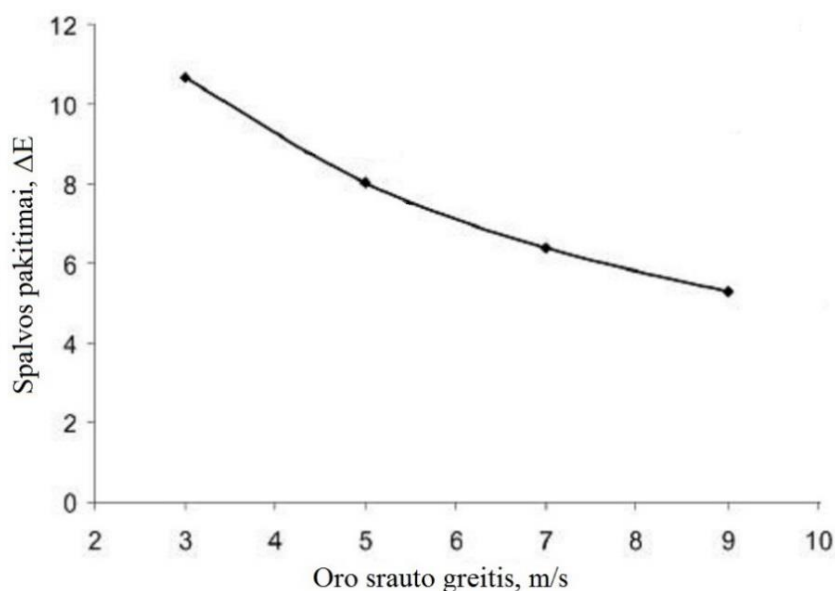
apsaugoti medienos sortimentų galus nuo skilimų, juos reikia uždažyti drėgmei nelaidžiu preparatu [4]. Medienos sortimentų galų uždažymas padeda išvengti skilimo, tačiau reikalauja papildomų darbo sąnaudų ir lėšų. Siekiant išvengti medienos skilimų, būtina lėtinti drėgmės išgaravimo procesą, kitaip tariant, švelninti džiovinimo režimą ir taisyklingai sukrauti medieną į rietuves [10].

1.2.4. Medienos spalvos pakitimai džiovinimo metu

Medienos spalvos pakitimai – medienos džiovinimo yda, atsirandanti medieną džiovinant per daug aukštos temperatūros režimais [11]. Medienos nusispalvinimai turi didelę įtaką medienos kokybės klasei, kuriai mažėjant, patiriami ekonominiai nuostoliai. Taip pat medienos spalvos pakitimai gali atsirasti dar prieš medienos džiovinimą dėl netinkamo medienos sandėliavimo. Oro srauto greitis, didelis oro drėgnis ir neteisingas medienos sukrovimas į rietuves turi įtakos spalvos pakitimams [4]. Medienos spalvos pakitimo kilmę gali skirstyti į grupes:

- Biologinę (grybelinę);
- Temperatūrinę;
- Cheminę [3].

Mokslininkų atlikto tyrimo metu buvo bandoma optimizuoti džiovinimo režimus, siekiant gauti kuo trumpesnę medienos džiovinimo laiką ir išvengti medienos spalvos pakitimų [11]. Džiovinamos medienos spalvos pakitimų priklausomybė nuo oro srauto greičio pateikiamas 2 paveiksle.



2 pav. Medienos spalvos pakitimų priklausomybė nuo oro srauto greičio [11]

Gauti rezultatai parodo, kad didesnis oro srauto greitis sumažina medienos spalvos pakitimus. Oro srauto greičio didinimas tik nežymiai sumažina medienos spalvos pakitimus, todėl tai nėra labai ekonomiška. Paprasčiausias būdas, siekiant išvengti medienos spalvos pakitimų džiovinimo metu – džiovinimo režimo švelninimas, tai yra temperatūros mažinimas ir pusiausvyrinio drėgnio didinimas [11].

1.2.5. Medienos sukrovimo džiovinimui būdai

Medienos pakavimo į rietuves procesas yra itin svarbus ir atsakingas paruošimo džiovinimui etapas. Tačiau dažnai jis yra atliekamas neteisingai. Taisyklingam rietuvių sudarymui ir tolygaus džiovimo užtikrinimui naudojami įvairių profilių tarpikliai.

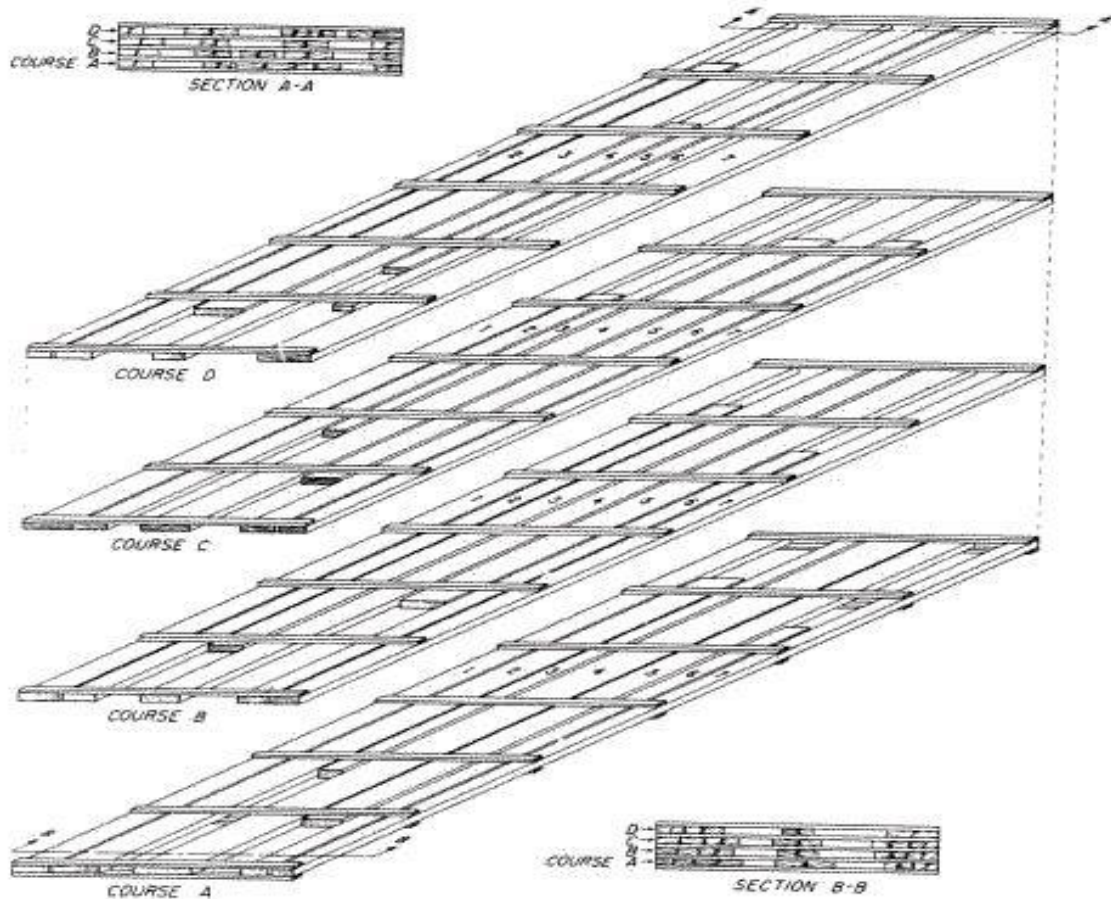
Tarpikliai yra skirti atskirti viengubo ar dvigubo pjovimo medienos lentoms tarpusavyje. Tarpikliai gaminami įvairių matmenų, atsižvelgiant į džiovinimo būdą. Didesnių matmenų tarpikliai yra naudojami medieną džiovinant lauke, po stogu, nes tokiu atveju galima gauti maksimalų oro srauto cirkuliavimą tarp lentų [12]. Mažesnių matmenų tarpikliai yra naudojami medieną džiovinant džiovyklose. Todėl, kad oro srauto cirkuliavimas tarp lentų vyksta priverstiniu būdu (naudojant ventiliatorius) ir atsižvelgiant į ekonominį aspektą – siekiant į džiovyklą sutalpinti kuo daugiau medienos [12].

Siekiant gauti aukštos kokybės medieną, būtina atkreipti dėmesį į tarpiklių padėjimo vietas kraunant lentas. Pagrindinis tokio pakavimo tikslas - palengvinti medienos džiovinimo procesą, padidinti drėgmės pasišalinimo iš medienos paviršiaus greitį ir išsaugoti medienos kokybę [3, 12].

Naudojamos džiovyklos matmenys nulemia sukraunamų rietuvių dydį, siekiant rietuves į džiovinimo kamerą sukrauti kuo kompaktiškiau. Sukraunant skirtingų ilgių ir pločių medieną į rietuves, būtina lentas krauti taip, kad mediena rietuvių šonuose ir galuose būtų lygi [12]. Taisyklingo medienos pakavimo pavyzdys pateikiamas 3 paveiksle.

Sukraunant medienos rietuves, tarpikliai turi būti padedami kiekvienos lentos gale, kad būtų galima išvengti lentų deformacijų džiovinimo metu [3]. Siekiant išvengti nejudančio oro „kišenės“ susidarymo, didelis dėmesys turi būti skiriamas tvarkingam tarpiklių sulygiavimui [3, 12]. Atmestinai sukraunant rietuves, mediena gali persimesti, o dar blogiau – skilti, tačiau atsakingas rietuvių pakavimas gali padėti išvengti šių ydų.

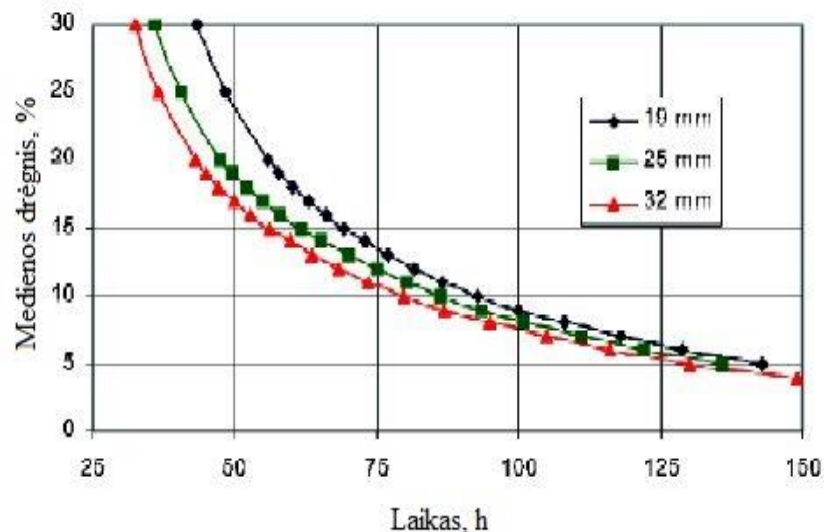
Tarpikliai gali būti gaminami iš įvairių medienos rūšių [3]. Pagrindiniai tarpikliam keliami reikalavimai yra jų matmenys ir išdžiūvimas [3, 12]. Jei tarpikliai nebus išdžiovinti, mediena, sąlyčio su tarpikliais vietose, gali pakeisti spalvą [3]. Yra žinoma ir priimta, kad džiovinant bet kokios rūšies medieną, geriausiai yra naudoti tos pačios rūšies medienos tarpiklius, kaip ir džiovinama mediena.



3 pav. Skirtingų ilgių ir pločių medienos pakavimas [12]

Norint kuo labiau sumažinti tarpiklio ir džiovinamos medienos kontakto plotą, siūloma naudoti H formos tarpiklius arba specialius figūrinius tarpiklius [3, 13]. Šie tarpikliai yra itin plačiai naudojami Austrijoje ir Vokietijoje. Tokio tipo tarpikliai ne tik apsaugo medieną nuo dėmių, bet ir pagerina oro srauto judėjimą rietuvėje, todėl mediena greičiau džiūsta [13].

Moksliniuose darbuose aprašomi bandymai, kurių metu siekiama išsiaiškinti tarpiklių matmenų įtaką medienos džiūvimo laikui [14]. Tyrimai atliekami atsižvelgiant į medienos džiūvimo laiką ir ekonominį aspektą – siekiant į džiovyklą sutalpinti kuo daugiau medienos. Gauti rezultatai pateikiami 4 paveikle.



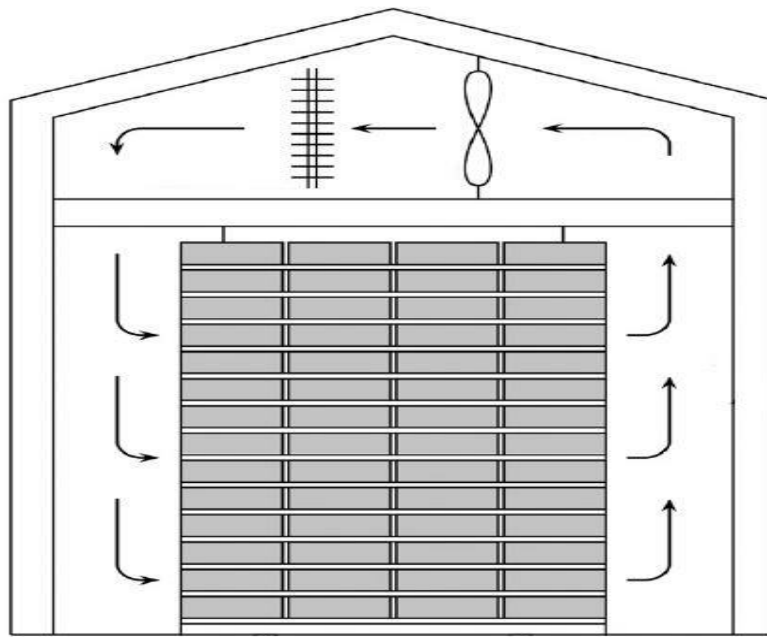
4 pav. Skirtingų storių medienos tarpiklių įtaka medienos džiūvimo laikui [14]

Mokslininkų atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad efektyviausia yra naudoti 25mm storio tarpiklius, atsižvelgiant į medienos džiūvimo laiką ir norint sutalpinti kuo daugiau medienos į džiovinimo kamerą [14]. Įvairūs medienos džiovinimo tyrimai rodo, kad galutinio medienos drėgnio priežastis – klimato variacijos džiovinimo kameroje, kurios priklauso nuo lentų storio, tarpiklių storio, oro srauto cirkuliacijos ir džiovinimo režimo.

1.2.6. Oro srauto greičio per medienos rietuvę džiovykloje modeliavimas

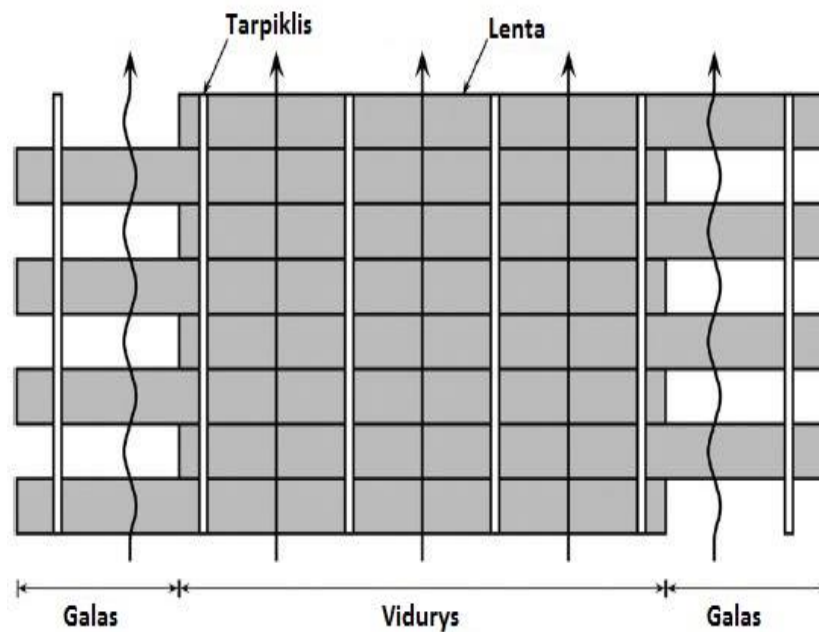
Moderniose džiovyklose džiovinimo procesą valdo kompiuteris, kuriame yra nustatoma norima džiovinimo programa. Jis kontroliuoja oro temperatūrą, agento drėgnį ir oro srauto greitį. Oro srauto greitis ir kryptis yra sukuriamas naudojant ventiliatorius. Oro srauto judėjimas džiovinimo kameroje pavaizduotas 5 paveiksle. Ventiliatoriai gali būti reversuojantys, kurie pagal nustatytą laiko tarpą, reversuojasi ir sukuria oro srautą į priešingą pusę, ir nereversuojantys, kurie sukuria oro srautą tik į vieną pusę. Oro srauto reversavimas yra labai svarbus medienos džiovinimo procese. Periodiškai reversuojant oro srautą, užtikrinamas tolygesnis medienos išdžiūvimas. Oro srauto reversavimas turi vykti labai dažnai, ypač, kai mediena tik pradedama džiovinėti [15]. Išdžiovininus laisvąją drėgmę, reversavimo laikas gali būti ilgesnis – kas kelios valandos [15].

Medienos džiūvimo greitis gali būti padidintas, padidinus oro srauto greitį, tačiau pasiekus kritinį tašką oro srauto greičio didinimas neturi jokios įtakos medienos džiūvimo greičiui [16].



5 pav. Oro srauto judėjimas džiovinimo kameroje [16]

Džiovinimo kameros sudarytos iš dviejų dalių: centrinės dalies ir galinių dalių [16]. Šiose dalyse oro srauto greitis yra skirtingas. Centrinėje džiovinimo kameros dalyje oro srauto greitis yra mažesnis, nes netenkama slėgio dėl medienos rietuvių kiekio, per kurias oro srautas jau pratekėjo [16]. Oro srautui tekant per rietuvę, slėgio netekimas atsiranda dėl netolygaus medienos sukrovimo į rietuves. Oro srauto tekėjimas per rietuvę pateikiamas 6 paveiksle.



6 pav. Oro srauto tekėjimas rodyklių kryptimis per rietuvę. Vaizdas pateiktas iš viršaus [16]

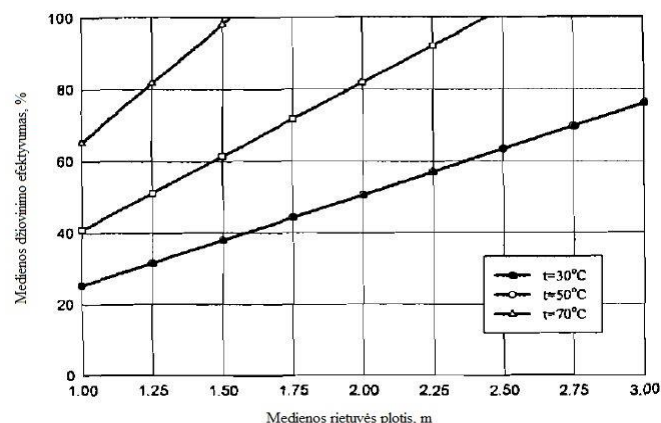
Atsižvelgiant į oro srauto charakteristikas, paveiklė 6 pavaizduotas medienos sukrovimo būdas gali būti būti išskirtas į dvi dalis:

- Centrinė – kai lentos sudėtos kompaktiškai ir oro srautas cirkuliuoja nustatyta kryptimi netrukdomai;
- Galinė – kai lentos sudėtos išlindusiais galais ar išskirstytos ir oro srautas srautas cirkuliuoja užkliūdamas [17].

Remiantis 6 paveikslu galima prognozuoti oro srauto judėjimą per viengubo pjovimo medienos rietuves. Kadangi medienos kraštai yra neapipjauti, yra didelė galimybė, kad oro srauto tekėjimas atitiks 6 paveiksle pavaizduotą oro srauto tekėjimą galuose. Siekiant išvengti nejudančio oro „kišenių“ susidarymo, medienos rietuves sukrauti reikia kuo kompaktiškiau ir laikantis nustatytos tvarkos. Nesilaikant reikalavimų, bus sudėtinga pasiekti reikiamą oro srauto greitį, kuris užtikrintų sistemingą drėgmės pašalinimą, todėl džiovinimo procesas užtruktų ilgiau.

Medienos rietuvės plotis turi didelę įtaką medienos džiovinimo efektyvumui [18]. Tekant per medienos rietuvę, džiovinimo agento temperatūrai įtaką daro medienos paviršiaus temperatūra, oro srauto greitis, rietuvės plotis, tarpiklio storis ir džiovinamos medienos drėgnis [19].

Moksliniame tyrime aprašomi bandymai, kurių metu buvo norima nustatyti medienos rietuvės pločio įtaką medienos džiovinimo parametrus ir efektyvumui [18]. Paveiksle 7 pateikiama medienos džiovinimo priklausomybė nuo medienos rietuvės pločio, taikant skirtingas džiovinimo agento temperatūras.



7 pav. Medienos džiovinimo priklausomybė nuo medienos rietuvės pločio. EMC = 14.0%, $v = 1.5\text{m/}$, džiovinimo agento temperatūros skirtingos [18]

Mokslinio tyrimo rezultatai rodo, kad džiovinimo agentui cirkuliuojant per medienos rietuvę, daugiau drėgmės pašalinama esant didesniam rietuvės pločiui [18]. Galima teigti, didėjant rietuvės pločiui, medienos džiovinimo efektyvumas didėja. Naudojant skirtingas džiovinimo temperatūras, rietuvės plotis nevienodai padidina medienos džiovinimo efektyvumą. Siekiant gauti kuo didesnį medienos džiovinimo efektyvumą, medienos rietuvės turėtų būti kuo platesnės, o džiovinimo režimas – forsuotas.

1.2.7. Džiovinimo režimo parinkimas

Daugybė įvairių medienos džiovinimo režimų yra bandomi ir tikrinamas jų efektyvumas atsižvelgiant į džiovinimo laiką, galutinį drėgnio pasiskirstymą tarp medienos ir energijos sąnaudas. Džiovinimo režimo parinkimas yra labai svarbi gamybinio ciklo, kuris vyksta konvekcinio džiovinimo kameroje, dalis [4]. Neteisingai parinkus džiovinimo režimą arba jo nesilaikant, neįmanoma išvengti džiovinamos medienos skilimų, persimetimų, pelėsio, sušutimo, nusispalvinimo ar netolygaus išdžiūvimo. Džiovinimo režimas – temperatūros (TEMP - Temperature), pusiausvirinio drėgnio (EMC – Equilibrium moisture content) ir oro srauto greičio parinkimas [3, 20]. Džiovinimo režimas kontroliuojamas remiantis drėgmės kiekiu (MC – Moisture content) medienoje [3, 20].

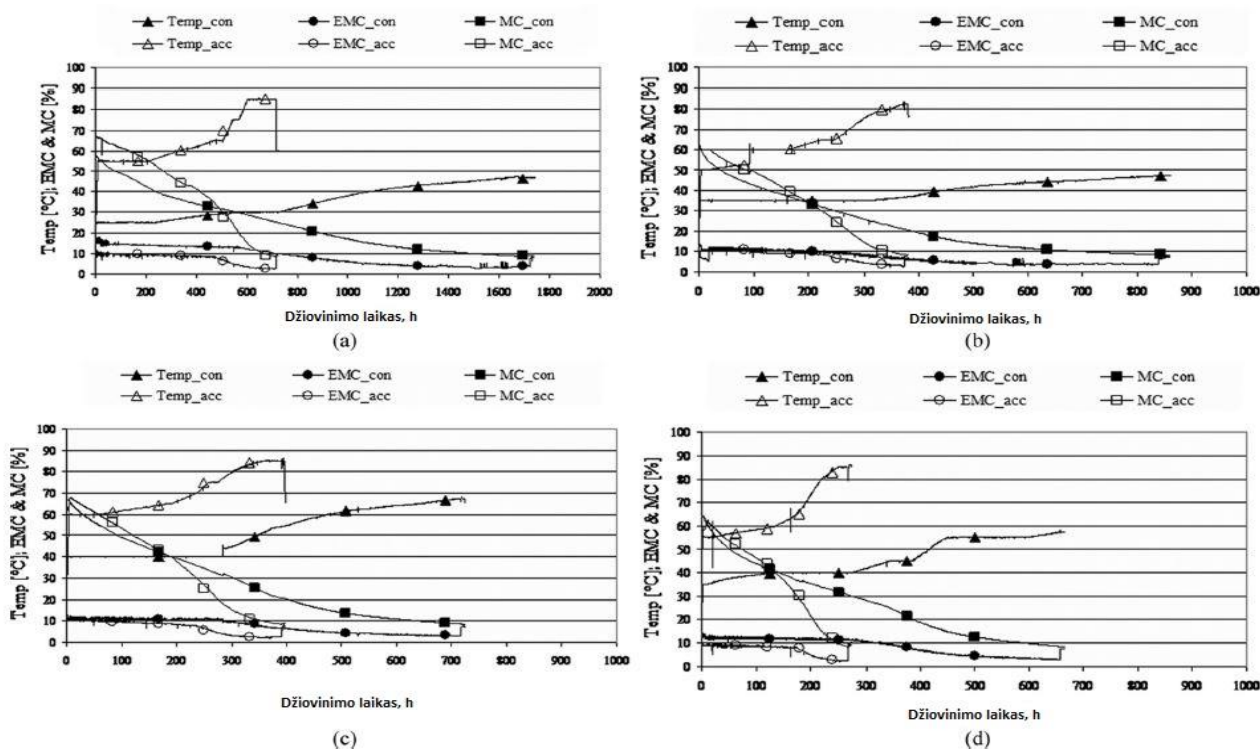
Pagal temperatūrą, džiovinimo režimai skirstomi į žematemperatūrius (agento temperatūra žemesnė nei 100°C) ir aukstatemperatūrius (agento temperatūra aukštesnė nei 100°C) [4]. Džiovinant aukstatemperatūriais režimais, medienos mechaninės savybės pablogėja, mediena labai patamsėja [4]. Dėl šių priežasčių mediena dažniausiai yra džiovinama žematemperatūriais režimais. Šie režimai skirstomi į tris kategorijas:

- Švelnius – gaunama nepakitusios spalvos, labai aukštos kokybės mediena;
- Normalius – gaunama šiek tiek pakitusios spalvos, vidaus poreikiams skirta mediena;
- Forsuotus – gaunama šiek tiek blogesnių mechaninių savybių ir patamsėjusi mediena [4].

Taikant skirtingus džiovinimo režimus – gaunamos skirtingos džiovinimo trukmės ir skirtinga išdžiovintos medienos kokybė. Džiovinant medieną švelniu režimu, džiovinimo trukmė yra ilgesnė už normalaus džiovinimo režimą. Forsuotas džiovinimo režimas trunka trumpiausiai, bet visada nukenčia džiovinamos medienos kokybė. Keičiantis džiovinimo režimui, keičiasi temperatūra ir pusiausvirinis drėgnis. Mažėjant agento temperatūrai ir didėjant pusiausviriniam drėgniui, džiovinimo režimas švelnėja. Siekiant medienos džiovinimą pagreitinoti, džiovinimo agento temperatūra – padidinama, o pusiausvirinis drėgnis – sumažinamas.

Medienos džiovinimo trukmė ir išdžiūvusios medienos kokybė – rodikliai, kurie priklauso vienas nuo kito. Norint pasiekti maksimalią ekonominę naudą, medienos džiovintojai turi įvertinti abu rodiklius ir juos suderinti. Medienos džiovinimas nebus ekonomiškai remiantis tik vienu rodikliu.

Kiekvienai medienos rūšiai siekiama nustatyti optimaliausią džiovinimo režimą. Moksliniuose darbuose atliekami bandymai, kurių metu švelnus, normalus ir forsuotas džiovinimo režimai yra palyginami tarpusavyje, o gauti rezultatai pateikiami. Paveiksle 8 matome keturių skirtingų medienos rūšių džiūvimo grafikus, naudojant skirtingus džiovinimo režimus (švelnų ir forsuotą).



8 pav. Džiovinimo temperatūros (Temp), pusiausvirinio drėgnio (EMC) ir medienos drėgnio (MC) priklausomybė nuo džiovinimo laiko, džiovinant A (Ąžuolo medieną), B (Buko medieną), C (Uosiu medieną), D (Platanalapio klevo medieną) švelniu (con) ir forsuotu (acc) džiovinimo režimais [20]

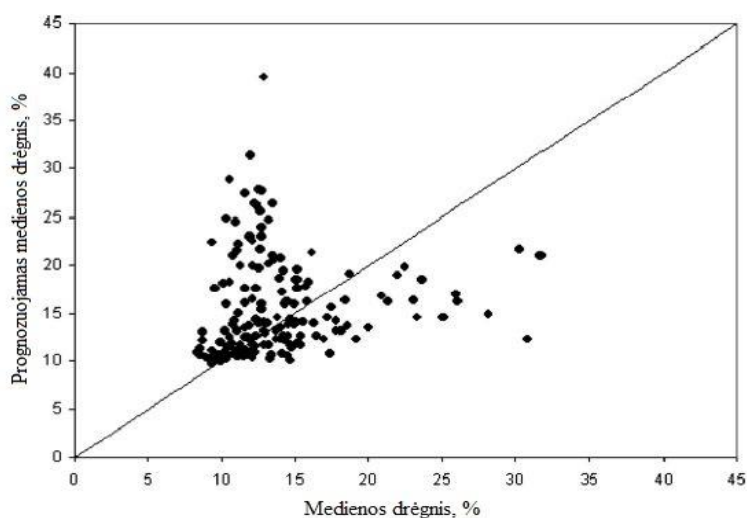
Džiovinant ąžuolo, buko, uosio ir platanalapio klevo medienos ruošinius skirtingais režimais nustatyta, kad itin didelių skirtumų tarp švelnių ir forsuotų režimų išdžiovinamos mažų matmenų medienos kokybės nėra [20]. Džiovinant medieną forsuotu režimu, džiovinimo laikas yra pastebimai mažesnis: džiovinant ąžuolo medieną, džiovinimo laikas mažesnis 41%, buko medieną – 43%, uosio medieną – 54% ir platanalapio klevo medieną – 42% [20]. Taip pat pastebėta, kad džiovinant forsuotu režimu iš anksto buvę skilimai dar labiau padidėjo. Džiovinant ąžuolo medieną forsuotu režimu, skilimų gali padaugėti net 62%, lyginant su švelnių režimu [20]. Skilimų padaugėję ir forsuotu režimu džiovintoje buko medienoje, tačiau uosio ir platanalapio klevo medienoje skilimų nepadaugėjo.

Remiantis atliktu moksliniu tyrimu su vėlyvosios ievos (lot. *Prunus serotina*) mediena, galima teigti, kad džiovinimo režimo metu sumažinus agento temperatūrą, sumažėja defektų ir išvengiama medienos kokybės praradimo [21].

1.2.8. Džiovinimo režimų modeliavimas ir medienos drėgnio sklaida

Medienos džiovinimo proceso modeliavimas gali sumažinti eksperimentų ir bandymų kiekius [22]. Džiovinimo režimų modeliavimo būdu galima sutaupyti daug laiko ir energijos sąnaudų, siekiant nustatyti optimaliausią pasirinktos medienos rūšies džiovinimo režimą. Modeliavimu ir imitavimu pagrįstas medienos džiovinimo optimizavimas išlieka skirtingas nuo gaunamų rezultatų, kurių buvo tikėtasi [22]. Taip yra dėl dviejų pagrindinių priežasčių: didelė medienos rūšių variacija ir džiovinimo sąlygų variacija.

Mokslinio tyrimo metu eksperimentiniu būdu sumodeliuotas medienos drėgnis buvo palygintas su džiovinimo kameroje išdžiovintos medienos drėgniu. Šis bandymas buvo atliktas, norint nustatyti džiovinimo proceso modeliavimo patikimumą. Gauti rezultatai pateikti 9 paveiksle.

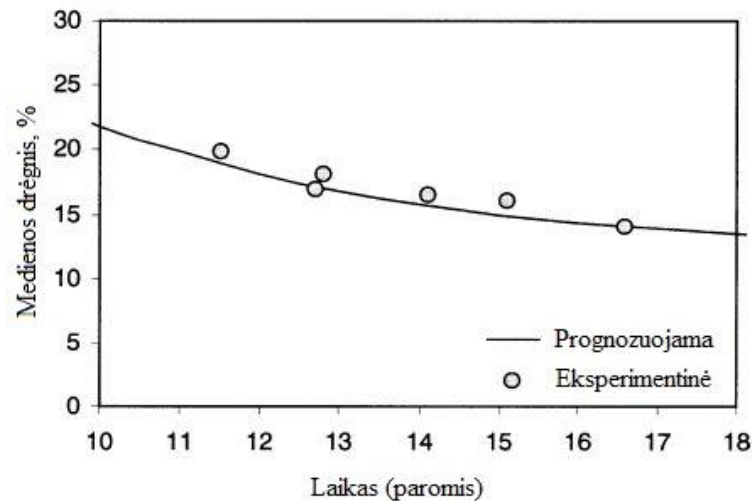


9 pav. Prognozuojamas medienos drėgnis lyginant su medienos drėgniu, nustatytu medieną išdžiovinus džiovinimo kameroje [22]

Mokslinių tyrimų rezultatai rodo, kad prognozuojamas medienos drėgnis lyginant su medienos drėgniu, nustatytu medieną išdžiovinus džiovinimo kameroje, skiriasi nežymiai – 5,2% [22]. Galima teigti, kad medienos džiovinimo procesų modeliavimo rezultatai yra pakankamai tikslūs jei lyginsime visų medienos sortimentų drėgnio vidurkius. Kitu atveju rezultatai gali labai skirtis, nes medienai

džiūnant, lentų drėgnumas tarpusavyje skyrėsi. Medienos drėgnio variacija priklauso nuo paketų vietos džiovykloje džiovinimo metu, todėl yra svarbu nustatyti tikslias vietas džiovinimo kameroje.

Mokslininkai ištyrė, kad naudojant skaitinį modelį, galima prognozuoti medienos džiovinimo režimo metu kintantį medienos drėgnį ir galutinį medienos drėgnį po džiovinimo [23]. Paveiksle 10 pateikiami gauti tyrimo rezultatai.



10 pav. Prognozuojamo ir eksperimentinio medienos drėgnio priklausomybė nuo džiovinimo laiko [23]

Džiovinimo režimų modeliavimas parodo, kad tokie bandymai yra ganėtinai tikslūs ir naudingi, siekiant sumažinti džiovinimo laiką [22]. Optimizavus tokius džiovinimo proceso parametrus kaip rietuvių plotis ir tarpinių storis, medienos džiovinimas gali būti dar efektyvesnis. Modeliuojant temperatūrą, drėgnį ir oro srauto greitį, galima pasiekti balansą tarp džiovinimo efektyvumo, džiovinimo proceso laiko ir džiovinamos medienos kokybės [22].

1.2.9. Drėgmės pasiskirstymas medienoje

Medienos drėgmė – augančiame medyje esantis vanduo, kuris perneša maistines medžiagas [3]. Augančių medžių drėgnis yra didesnis už pluošto soties ribą (30 – 35%) [1, 2]. Dažniausiai ši riba yra viršijama 2 – 3 kartus. Šviežiai nukirsto medžio drėgnis priklauso nuo:

- Medienos biologinės rūšies;
- Vietos kamiene;
- Augimvietės;
- Metų laiko [2].

Medienos drėgnis tarp balanos ir branduolio skiriasi ir sukelia problemų džiovinant medieną. Lapuočių medienos balanos drėgnis yra tik šiek tiek didesnis už branduolio drėgnį, o spygliuočių medienos balanos drėgnis yra kur kas didesnis už branduolio drėgnį [2].

Mokslinio tyrimo metu kaliforninės cūgos (lot. *Tsuga heterophylla*) mediena buvo charakterizuojama pagal regionus, kuriuose mediena būna didesnio drėgnio nei įprastai [24, 25]. Kaliforninės cūgos mediena, kurios drėgnis viršija standartinį šios medienos rūšies drėgnį, vadinama šlapiąja mediena [24]. Šlapioji mediena atsiranda augančiuose medžiuose kaip bakterinės infekcijos rezultatas, o lentos, išpjautos iš tokios medienos, visada yra didesnio drėgnio, sunkiau džiūsta ir yra mažiau atsparios džiūvimo defektams [24]. Drėgmės kiekis taip pat gali skirtis tarp balanos ir branduolio arba tarp lentos galų, todėl džiovinant tokią medieną, gali atsirasti medienos ydos kaip įskilimai ir persimetimai.

Mokslininkų atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad kaliforninės cūgos medienoje, kuri yra infekuota bakterija, yra daugiau ekstaktinių medžiagų, mažesnis pralaidumas, skirtinga elektrinė varža ir pluošto soties riba [24]. Tai sukelia daug problemų džiovinant tokią medieną, todėl yra ieškomi būdai kaip tokią medieną išrūšiuoti prieš džiovinimą, kad būtų galima džiovinti atskiroje džiovinimo kameroje. Taip pat rezultatai parodė, kad medienos drėgnis tame pačiame medyje tik skirtinguose aikščiuose, varijuoja nežymiai (nuo 70% iki 85%) [24]. Tokiam nedideliame drėgnio varijavimui įtakos turėti galėjo tai, kad mediena, ją nukirtus, buvo sandėliuojama septynis mėnesius iki kol buvo supjauta į bandinius.

Maksimalus drėgmės kiekis medienoje yra labai svarbus, norint parinkti tinkamą džiovinimo režimą ir tinkamai išdžiovinti medieną. Ypatingai svarbu atkreipti dėmesį, kad medienos drėgnis didėja, didėjant atstumui nuo šerdies. Tai yra normalu, nes balanos drėgnis yra beveik du kartus didesnis nei branduolio.

1.2.10. Medienos drėgnio sklaida tolimesnėje gamyboje

Išdžiovintos medienos drėgnio sklaida yra labai svarbi sekančiuose medienos apdirbimo procesuose. Medienos drėgnio variacija daro įtaką medienos apdirbimo greičiui, produkto kokybei, mechaninėms savybėms ir gaminio, kuris bus pagamintas, elgsenai [26]. Santykis tarp medienos drėgnio, oro temperatūros ir drėgmės nusako kaip mediena elgsis. Eksploatuojamos medienos drėgnis gali mažėti, mediena trauksis – medienos matmenys mažės, medienos drėgnis gali didėti, mediena

plėsis – medienos matmenys didės arba medienos drėgnis išliks pastovus – medienos matmenys nepasikeis.

Medienos grindys, ilgą laiką eksploatuojamos patalpoje, kurios drėgmė 60%, absorbuoja drėgmę kol medienos tampa 11% drėgnio [27]. Tokiu atveju medienos matmenys didėja ir tai sukelia daug problemų eksploatuojant grindis. Siekiant išvengti medienos drėgnio padidėjimo, mediena turėtų būti eksploatuojama patalpoje, kurios drėgmė mažesnė, arba pradinis medienos drėgnis būti artimas 11% [27].

Gaminant inžinerinius medienos produktus, medienos drėgnio variacija yra ypatingai svarbi. Kadangi inžineriniai medienos produktai gaminami iš plonų sluoksnių, kurie suklijuoti kartu, didelė drėgnio sklaida gali sugadinti gaminį, nes gaminys pradės persimesti. Persimetimo metu klijų siūlės gali neatlaikyti įtempimų ir produktas išsisluoksniuos. Paveiksle 11 parodyta didelės medienos drėgnio sklaidos įtaka gaminio kokybei.



11 pav. Medienos drėgnio sklaidos įtaka gaminio kokybei [28]

Tarpusavyje suklijuota mediena pradeda persimesti, kai vienas iš medienos sluoksnių pradeda džiūti arba brinkti. Kai viršutinis sluoksnis traukiasi arba plečiasi, kiti sluoksniai gali likti nepakitę, todėl gaminys išsisluoksniuos arba gaminys išsilenks [28].

1.2.11. Medienos džiovinimo ekonomiškumas

Energijos sąnaudos medienos džiovinimui yra ganėtinai didelės ir realu, kad ateityje jos tik didės [29]. Medienos džiovinimo procesas – viena iš daugiausiai energijos suvartojanti operacija, medienos pramonės sektoriuje [29]. Siekiant kuo didesnio ekonomiškumo, daug dėmesio yra skiriama energijos taupymui, nes tai svarbus dalykas ne tik pinigine prasme, bet ir aplinkosaugine. Vis dėlto džiovinant medieną yra labai sudėtinga surasti idelų tarpinį variantą tarp energijos sąnaudų, kitų džiovinimo sąnaudų, džiovinimo laiko ir džiovinamos produkcijos kokybės [30].

1.3. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Medienos džiovinimas – sudėtingas fizikinis procesas, kurį apibūdina šilumos ir masės mainai medienoje. Techninis medienos džiovinimas yra labai svarbi medienos apdirbimo proceso dalis, vykdoma ekonomiškai kryptimi.

Lietuvoje ir užsienyje labiausiai paplitusios konvekinės medienos džiovyklos. Konvekinės medienos džiovyklos yra kamerų formos, todėl vadinamos džiovinimo kameromis. Džiovinimo kameros gali būti skirstomos pagal veikimo principą, konstrukciją, medienos pakrovimo būdą, cirkuliacijos kartotinumą, išgarintos drėgmės pašalinimo iš džiovyklos būdą.

Moderniose konvekinėse džiovyklose džiovinimo procesą valdo kompiuteris, kuriame yra nustatoma norima džiovinimo programa. Kompiuterio pagalba galima kontroliuoti oro temperatūrą, aplinkos drėgnį ir oro srauto greitį. Taikant skirtingus džiovinimo režimus – gaunamos skirtingos džiovinimo trukmės ir skirtinga išdžiovinotos medienos kokybė. Siekiant medienos džiovinimą pagreitinti, džiovinimo agento temperatūra – padidinama, o pusiausvyrinis drėgnis – sumažinamas. Mažėjant agento temperatūrai ir didėjant pusiausvyriniam drėgniui, džiovinimo režimas švelnėja.

Medienos džiovinimo kokybei ir trukmei įtaką daro daugybė veiksnių. Pagrindiniai defektai, kurie atsiranda netaisyklingai džiovinant medieną, yra medienos skilimai, persimetimai ir netolygus išdžiūvimas. Medienos džiovinimo proceso metu svarbu pašalinti kuo daugiau veiksnių, kurie daro įtaką defektų atsiradimui, kad procesas taptų kuo labiau ekonomiškai ir efektyvus.

Džiovinimo metu mediena gali persimesti ar skilti. Medienos persimetimas ir galų skilimas dažniausiai yra prasto tarpiklių padėjimo pakavimo metu rezultatas. Taisyklingai medienos sortimentų pakavimas į rietuves padeda užtikrinti tinkamą medienos džiovinimo procesą, padidinti drėgmės pašalinimo iš medienos paviršiaus greitį ir išsaugoti medienos kokybę. Džiovinant forsuotais režimais, mediena yra linkusi persimesti ir skilti kur kas labiau nei taikant normalius arba švelnius džiovinimo režimus. Siekiant išvengti medienos persimetimų ir skilimų, džiovinimo režimą būtina švelninti, o medienos sortimentus taisyklingai sukrauti į rietuves.

Medienos džiovinimo proceso modeliavimas gali sumažinti eksperimentų ir bandymų kiekius. Tačiau medienos džiovinimo optimizavimas pagrįstas modeliavimu ir imitavimu išlieka skirtingas nuo rezultatų, gautų eksperimentiniu būdu. Modeliuojant temperatūrą, drėgnį ir oro srauto greitį, galima pasiekti balansą tarp džiovinimo efektyvumo, džiovinimo proceso laiko ir džiovinamos medienos kokybės. Medienos džiovinimo trukmė ir išdžiūvusios medienos kokybė – rodikliai, kurie

priklauso vienas nuo kito. Norint pasiekti maksimalią ekonominę naudą, būtina įvertinti abu rodiklius ir juos tarpusavyje derinti.

Atlikus šia tematika paskelbtų literatūros šaltinių analizę, suformuotas magistro baigiamojo darbo tikslas ir uždaviniai.

Šio darbo tikslas – nustatyti vietos džiovykloje ir džiovinimo režimo įtaką drėgnio pasiskirstymui medienoje.

Darbo uždaviniai:

1. Ištirti ir nustatyti džiovinimo režimo įtaką drėgnio pasiskirstymui medienoje.
2. Ištirti ir nustatyti vietos džiovykloje įtaką drėgnio pasiskirstymui medienoje.
3. Nustatyti medienos džiovinimo trukmę priklausomai nuo džiovinimo režimo.
4. Optimizuoti drėgmės jutiklių padėtį džiovinimo kameroje.

2. Tyrimų objektas

Beržo (lot. *Betula*) mediena buvo naudojama bandinių gamybai. Bandiniai, kurių matmenys 37 x 55 x 1000mm, buvo gaminami iš viengubo pjovimo lentų. Lentos buvo išpjautos iš vidurinės kamblinių beržo rąstų dalies, kuriai priklauso balana, netikras branduolys ir šerdis. Pasverti ir džiovinimui paruošti bandiniai pateikiami 12 paveiksle.



12 pav. Džiovinimui paruošti bandiniai

Bandinių gamybai naudojamų rąstų kokybė – B arba C, skersmuo apie 30cm, ilgis 3,3m. Kiekvienam džiovinimui bandiniai pjaunami tik iš to paties kamblinio rąsto, kad jų tankis būtų artimas. Norint išvengti netolygaus bandinių drėgnio sumažėjimo prieš džiovinimą sandėliuojant, bandiniai buvo išpjauti likus 2h iki džiovinimo ir sandėliuojami 20°C temperatūros patalpoje. Prieš džiovinimą ir po džiovinimo bandiniai pasveriami, siekiant įvertinti balanos ir netikro branduolio įtaką bandinių drėgniui. Kiekvieno džiovinimo bandymo metu buvo naudojama 20 bandinių. Džiovinimo metu naudojamų bandinių skaičius pateikiamas 2 lentelėje.

2 lentelė. Bandinių skaičius kiekvieno džiovinimo bandymo metu

Taikomas džiovinimo režimas	I režimas			II režimas			III režimas			IV režimas		
Bandymo Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Bandinių skaičius	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Mokslinio tyrimo metu buvo pagaminta ir išdžiovinta 240 beržo medienos bandinių, siekiant nustatyti vietos džiovykloje ir džiovinimo režimo įtaką drėgnio pasiskirstymui medienoje.

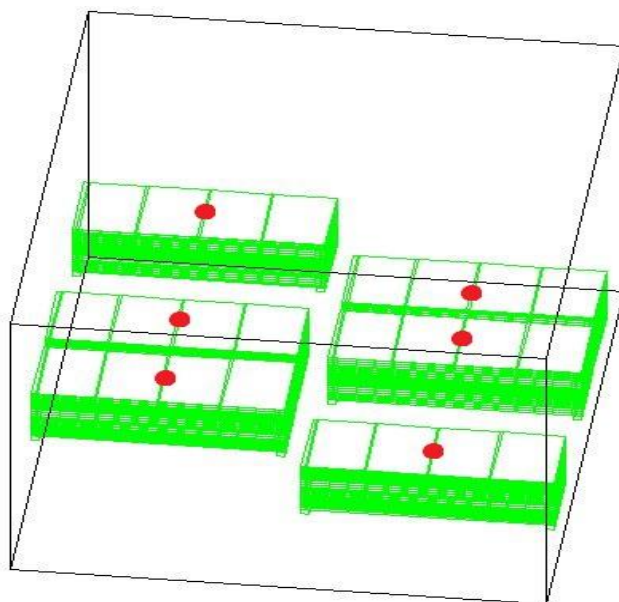
3. Tyrimų metodika

Magistro darbe eksperimentiniai bandymai buvo atlikti konvekciniuose džiovinimo kameroje. Išdžiovintos medienos džiovinimo kokybė įvertinta remiantis standartu LST EN 14298:2006 [31]. Pagal šį standartą kokybė įvertinama pagal šiuos rodiklius:

1. Vidutinį medienos partijos drėgnį, kuris gali būti 7 – 18 %;
2. Medienos drėgnio leistiną sklaidą apie tikslinį drėgnį, kuri gali būti nuo -2,5% iki +2.0%;
3. Drėgnio leistiną viršutinę ir apatinę ribas (93,5% pavienių sortimentų drėgnis negali būti didesnis 1,3 ir mažesnis 0,7 už tikslinio drėgnio reikšmės) [31].

3.1. Medienos džiovinimo metodika

Tiriamajame darbe bandymams naudojama vertikali skersinės cirkuliacijos periodinio veikimo konvekciniame džiovinimo kameroje, kurios džiovinimo agentas yra oras, o drėgmė iš kameros pašalinama ventiliaciniu būdu. Džiovinimo kameroje sumontuoti reversiniai ventiliatoriai. Džiovinimo kameros vidaus matmenys – 7,5m (plotis) x 7,8m (ilgis) x 4,5m (aukštis iki ekrano). Džiovinimo kameroje esančios medienos drėgnis nustatomas jutikliais. Raudonai pažymėtos vietos, kuriose įtvirtinti drėgnio jutikliai į medienos rietuves. Drėgnio jutiklių vietos pavaizduotos 13 paveiksle.



13 pav. Džiovinimo kameroje esančios medienos drėgnis nustatomas jutikliais, kurie įtvirtinti į pažymėtas medienos rietuves

Medienos drėgmei nustatyti naudojami šeši įkalami jutikliai. Jutikliai įkalami į rietuvės viršutinėje eilėje esančią vidurinę lentą. Į džiovinimo kamerą kraunami keturi medienos rietuvių aukštai, kiekviename aukšte sukraunama po 10 rietuvių (dvi eilės po penkias rietuves). Drėgnio jutikliai įkalami į antras, nuo apačios, medienos rietuves. Kadangi vidurinėje eilėje esantys medienos sortimentai džiūsta lėčiau, todėl šioje eilėje įkalami du drėgnio jutikliai, o kitose eilėse po vieną drėgnio jutiklį. Rietuvės, į kurias kalama po vieną jutiklį, parenkamos šachmatiškai.

Medienos džiovinimas atliekamas įmonės UAB „Murameda“ konvekcinėje džiovinimo kameroje su elektroniniais drėgmės ir temperatūros jutikliais, naudojant kompiuterinį valdiklį (RGK 170, CSA electronic, Vokietija). Kompiuterinis valdiklis pavaizduotas 14 paveiksle.



14 pav. Kompiuterinis valdiklis (RGK 170, CSA electronic, Vokietija)

Medienos džiovinimo režimai parinkti atsižvelgiant į džiovinamos medienos rūšį. Tyrimo metu atliekama 12 medienos džiovinimų. Eksperimentiniai bandymai buvo vykdomi džiovinant bandinius kartu su viengubo pjovimo beržo mediena. Džiovinant 29mm storio medieną atliktas 1 džiovinimas, 37mm storio medieną – 10 džiovinimų ir 54mm storio medieną – 1 džiovinimas. Bandymai džiovinant bandinius kartu su 29mm ir 54mm storio viengubo pjovimo beržo mediena buvo atlikti, siekiant įvertinti drėgnio sklaidą esant skirtingiems džiovinimo laikams. Džiovinimo metu buvo siekiamai gauti 7,5% galutinį medienos drėgnį. Džiovinamai beržo medienai parinkti keturi skirtingi žematemperatūriai džiovinimo režimai. Džiovinimo režimų temperatūra, pusiausvyrasis drėgnis ir oro srauto reversavimo laikas skiriasi. Taikant kiekvieną džiovinimo režimą atlikta po 3 medienos džiovinimus, siekiant nustatyti drėgnio pasiskirstymą medienoje priklausomai nuo džiovinimo režimo. Džiovinimo režimai pateikti 3, 4, 5 ir 6 lentelėse.

3 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 1. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 4h

MC, %	T, °C	TG	EMC, %	Reversavimo laikas, h
>50%	35,0	2,5	12,0	4
50 - 40%	35,0	2,5	12,0	4
40 - 30%	35,0	2,6	11,5	4
30 - 25%	45,0	2,7	9,2	4
25 - 20%	50,0	2,8	7,1	4
20 - 15%	55,0	2,9	5,2	4
15 - 10%	60,0	3,0	3,3	4
10 - 7%	60,0	3,1	2,2	4

4 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 2. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 4h

MC, %	T, °C	TG	EMC, %	Reversavimo laikas, h
>50%	50,0	2,5	12,0	4
50 - 40%	50,0	2,5	12,0	4
40 - 30%	50,0	2,5	12,0	4
30 - 25%	50,0	2,5	10,0	4
25 - 20%	50,0	2,5	8,0	4
20 - 15%	50,0	2,4	6,3	4
15 - 10%	50,0	2,3	4,3	4
10 - 7%	50,0	2,0	3,5	4

5 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 3. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 6h

MC, %	T, °C	TG	EMC, %	Reversavimo laikas, h
>50%	45,0	2,6	11,5	6
50 - 40%	45,0	2,7	11,0	6
40 - 30%	45,0	2,7	11,0	6
30 - 25%	48,0	2,7	9,2	6
25 - 20%	55,0	2,8	7,1	6
20 - 15%	60,0	2,9	5,2	6
15 - 10%	62,0	3,0	3,3	6
10 - 7%	62,0	3,0	2,3	6

6 lentelė. Džiovinimo režimas Nr. 4. MC – medienos drėgnis, %; T - temperatūra, °C; TG – temperatūrinis gradientas; EMC – pusiausvyrinis drėgnis, %; Reversavimas – oro srauto krypties pakeitimas, vykdomas kas 2h

MC, %	T, °C	TG	EMC, %	Reversavimo laikas, h
>50%	29,0	1,9	15,4	2
50 - 40%	29,0	2,1	14,3	2
40 - 30%	29,0	2,3	13,0	2
30 - 25%	29,0	2,4	10,5	2
25 - 20%	32,0	2,5	8,0	2
20 - 15%	38,0	2,6	5,8	2
15 - 10%	48,0	2,2	4,5	2
10 - 7%	55,0	2,1	3,3	2

Visiems džiovinimo režimams buvo taikomos vienodos pakaitinimo (temperatūra džiovykloje pakeliama iki reikiamo lygio), drėkinimo (6h džiovykloje išlaikomas 15% pusiausvyrinis drėgnis), kondicionavimo (10h džiovykloje išlaikomas 7,5% pusiausvyrinis drėgnis, kad medienos sortimentų drėgnis taptų artimas nustatytam drėgniui) ir atvėsavimo (temperatūra džiovykloje mažinama palaipsniui kol pasiekama aplinkos temperatūra) fazės. Džiovinimo režimų fazių parametrų duomenys pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė. Džiovinimo režimų fazių (pakaitinimo, drėkinimo, kondicionavimo ir atvėsavimo) parametrai

Džiovinimo fazė	Temperatūra, °C	EMC, %	Temperatūros padidėjimas / mažėjimas, min/°C	Trukmė, h
Pakaitinimas	Priklauso nuo džiovinimo režimo	13,0	16	-
Drėkinimas	Automatinė	15,0	-	6
Kondicionavimas	Automatinė	7,5	-	10
Atvėsavimas	Priklauso nuo džiovinimo režimo	3,0	16	-

Džiovinant medieną buvo naudojami keturi skirtingi džiovinimo režimai. Džiovinimo režimai parinkti konsultuojantis su Lietuvos, Vokietijos ir Austrijos medienos džiovintojais. Džiovinimo režimas (Nr. 1) naudojamas Lietuvoje, įmonėje UAB „Murameda“. Džiovinimo režimas (Nr. 2) naudojamas Vokietijoje, įmonėje Hecht & Kloth GmbH. Džiovinimo režimas (Nr. 3) naudojamas

Austrijoje, įmonėje Wertholz HandelsgesmbH. Džiovinimo režimas (Nr. 4) rekomenduojamas taikyti Mariaus Tamošaičio praktiniame vadove „Ąžuolo, beržo ir juodalksnio medienos džiovinimas“. Taikant kiekvieną medienos džiovinimo režimą buvo atliekama po 3 džiovinimus.

Pabaigus medienos džiovinimą, iš kiekvieno bandinio išpjauinama po 2 drėgnio sekcijas, siekiant nustatyti kuo tikslesnį džiovinamos beržo medienos bandinių drėgnį. Išpjautų drėgnio sekcijų matmenys – 33 x 50 x 10mm. Drėgnio sekcijos pasveriamos naudojant elektronines svarstyklas EW – 3000 – 2M (tikslumas 0,01g) ir džiovinamos laboratorinėje krosnelėje. Laboratorinė džiovinimo krosnelė pateikiama paveiksle 15.



15 pav. Laboratorinė džiovinimo krosnelė

Drėgnio sekcijos džiovinamos, siekiant gauti visiškai sausą medieną. Sekcijos džiovinamos iki nekintančio drėgnio. Kai svoris tampa pastovus, medieną galima laikyti visiškai sausa. Baigus džiovinti, medienos drėgnio sekcijos pasveriamos dar kartą. Remiantis gautais duomenimis, apskaičiuojamas medienos bandinių drėgnis ω [32]:

$$\omega = \frac{m_{\omega} - m_0}{m_0} \cdot 100\%; \quad (1)$$

čia: m_{ω} – drėgnos medienos masė, g; m_0 – sausos medienos masė, g; $m_{\omega} - m_0$ – medienoje buvusio vandens masė, g.

4. Rezultatai ir jų aptarimas

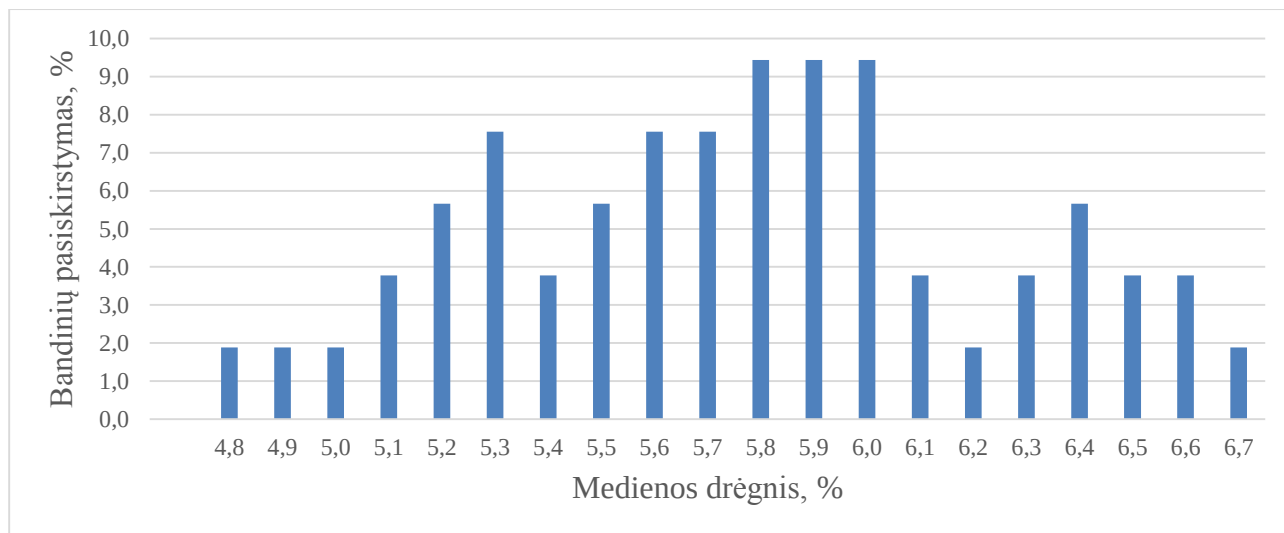
Šiame skyriuje pateikiami tyrimų metu gauti rezultatai ir jų analizė. Rezultatų analizė atlikta remiantis skaitinėmis rezultatų išraiškomis.

4.1. Medienos drėgnio pasiskirstymo esant skirtingiems džiovinimo režimams nustatymas

Siekiant įvertinti medienos drėgnio variacijos priklausomybę nuo džiovinimo režimo, buvo atlikta po 3 medienos džiovinimus, taikant džiovinimo režimus Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3 ir Nr. 4. Grafikuose pateikiama: X ašyje – išdžiovintų medienos bandinių drėgnis (%), Y ašyje – išdžiovintų medienos bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį (pasiskirstymas išreiškiamas procentaliai džiovintam bandinių kiekiui tam tikru režimu).

4.1.1. Džiovinimo režimas Nr. 1

Džiovinant 37mm storio beržo medieną, kartu buvo išdžiovinta 60 bandinių (37 x 55 x 1000mm). Po medienos džiovinimo proceso, nustatomas bandinių drėgnis (%), drėgnio sklaida ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį (%). Gauti 3 džiovinimų rezultatai pateikiami 16 paveiksle.



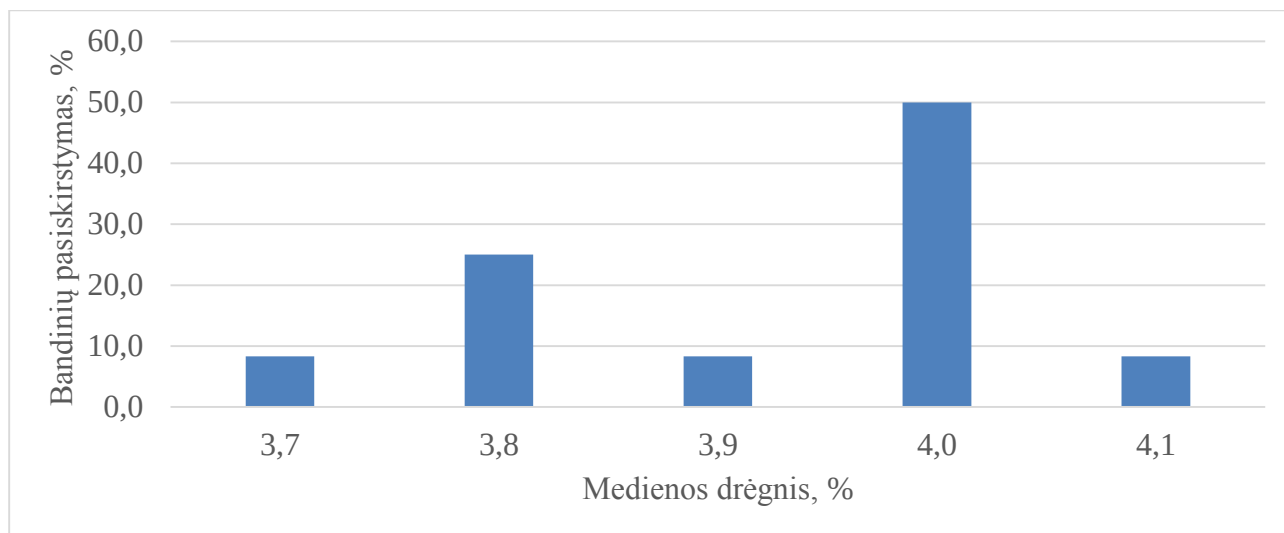
16 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 1. Džiovinama 37mm storio mediena

Iš 16 paveikle pateikto grafiko matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 1, medienos drėgnis kinta nuo 4,8% iki 6,7%. Medienos džiovinimo kameroje džiovinama didesnio ilgio (nuo 2,50m iki 4,10m) ir pločio (nuo 100mm iki 450mm) viengubo pjovimo mediena, lyginant su tyrimų metu

naudojamų bandinių ilgiu (1,00m) ir pločiu (55mm). Džiovinamos medienos ir bandinių storis vienodas – 37mm. Todėl gautas išdžiovintų bandinių drėgnis yra mažesnis nei džiovinimo metu siekiamas gauti 7,5% galutinis medienos drėgnis. Išdžiovintų medienos bandinių drėgnio vidurkis – 5,8%. Drėgnio sklaida apie medienos bandinių drėgnio vidurkį yra nuo - 1,0% iki + 0,9%.

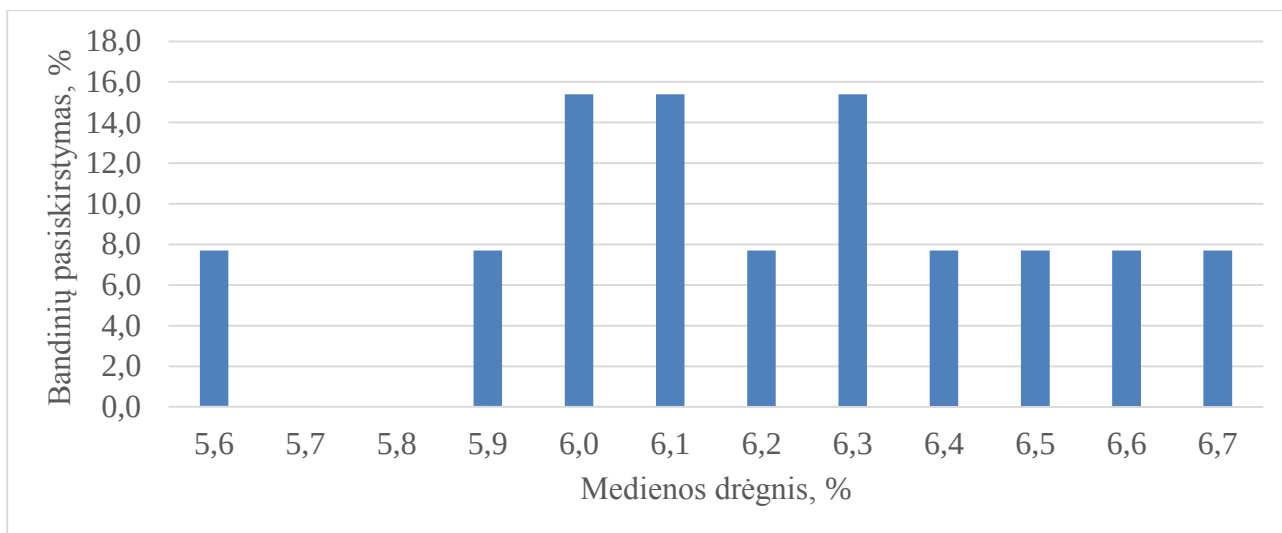
4.1.2. Džiovinimo režimas Nr. 2

Džiovinimo režimu Nr. 2, medienos bandiniai (37 x 55 x 1000mm) buvo džiovinami skirtingą laiko tarpą, atitinkamai su 29mm, 37mm ir 54mm storio, viengubo pjovimo beržo mediena. Džiovinant 29mm storio medieną – išdžiovinta 20 bandinių, 37mm storio medieną – 20 bandinių, 54mm storio medieną – 20 bandinių. Po medienos džiovinimo proceso, nustatomas bandinių drėgnis (%), drėgnio sklaida ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį (%). Gauti 3 džiovinimų rezultatai pateikiami 17, 18 ir 19 paveikslė.



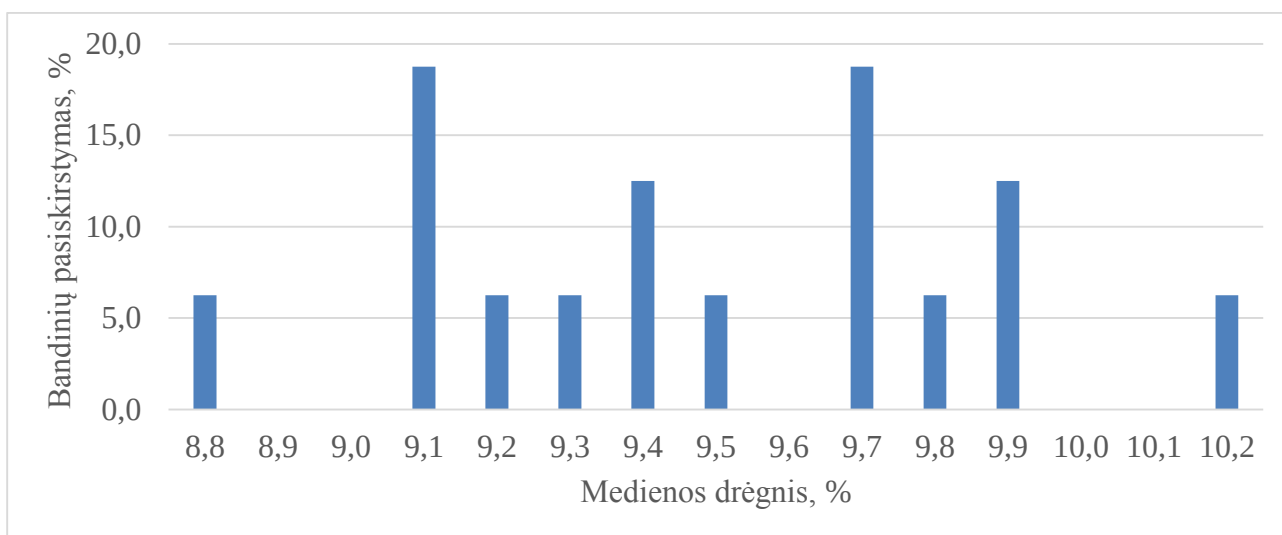
17 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 2. Džiovinama 54mm storio mediena

Iš 17 paveiklė pateikto grafiko matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 2, medienos drėgnis varijuoja nuo 3,7% iki 4,1%. Medienos džiovinimo kameroje džiovinama didesnio ilgio (nuo 2,50m iki 4,10m), pločio (nuo 100mm iki 450mm) ir storio (54mm) viengubo pjovimo mediena, lyginant su tyrimų metu naudojamų bandinių ilgiu (1,00m), pločiu (55mm) ir storiu (37mm). Todėl gautas išdžiovintų bandinių drėgnis yra žymiai mažesnis nei džiovinimo metu siekiamas gauti 7,5% galutinis medienos drėgnis. Išdžiovintų medienos bandinių drėgnio vidurkis – 3,9%. Drėgnio sklaida apie medienos bandinių drėgnio vidurkį yra nuo - 0,2% iki + 0,2%.



18 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 2. Džiovinama 37mm storio mediena

Iš 18 paveikle pateikto grafiko matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 2, medienos drėgnis varijuoja nuo 5,6% iki 6,7%. Gautas išdžiovintų bandinių drėgnis yra mažesnis nei džiovinimo metu siekiamas gauti 7,5% galutinis medienos drėgnis, nes medienos džiovinimo kameroje džiovinama didesnio ilgio (nuo 2,50m iki 4,10m) ir pločio (nuo 100mm iki 450mm) viengubo pjovimo mediena, lyginant su tyrimų metu naudojamų bandinių ilgiu (1,00m) ir pločiu (55mm). Džiovinamos medienos ir bandinių storis vienodas – 37mm. Išdžiovintų medienos bandinių drėgnio vidurkis – 6,2%. Drėgnio sklaida apie medienos bandinių drėgnio vidurkį yra nuo - 0,6% iki + 0,5%.

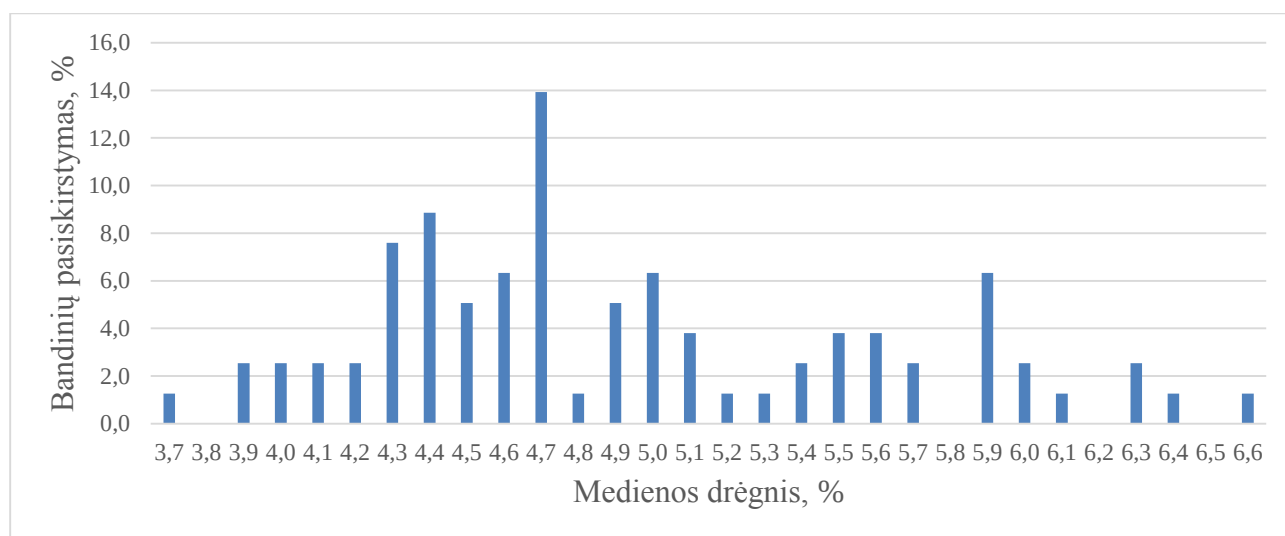


19 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 2. Džiovinama 29mm storio mediena.

Iš 19 paveikle pateikto grafiko matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 2, medienos drėgnis varijuoja nuo 8,8% iki 10,2%. Medienos džiovinimo kameroje džiovinama didesnio ilgio (nuo 2,50m iki 4,10m), pločio (nuo 100mm iki 450mm) ir mažesnio storio (29mm) viengubo pjovimo mediena, lyginant su tyrimų metu naudojamų bandinių ilgiu (1,00m), pločiu (55mm) ir storiu (37mm). Todėl gautas išdžiovintų bandinių drėgnis yra didesnis nei džiovinimo metu siekiamas gauti 7,5% galutinis medienos drėgnis. Išdžiovintų medienos bandinių drėgnio vidurkis – 9,5%. Drėgnio sklaida apie medienos bandinių drėgnio vidurkį yra nuo - 0,7% iki + 0,7%.

4.1.3. Džiovinimo režimas Nr. 3

Džiovinant 37mm storio beržo medieną, buvo išdžiovinta 60 bandinių (37 x 55 x 1000mm). Po medienos džiovinimo proceso, nustatomas bandinių drėgnis (%), drėgnio sklaida ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį (%). Gauti 3 džiovinimų rezultatai pateikiami 20 paveiksle.

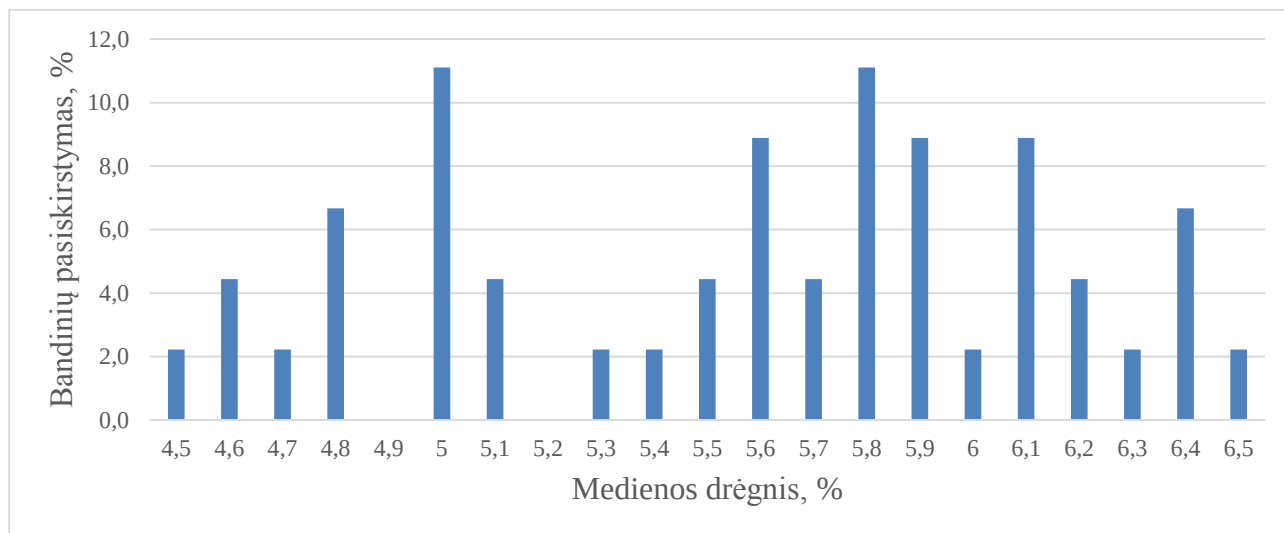


20 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 3. Džiovinama 37mm storio mediena.

Iš 20 paveikle pateikto grafiko matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 3, medienos drėgnis varijuoja nuo 3,7% iki 6,6%. Medienos džiovinimo kameroje džiovinama didesnio ilgio (nuo 2,50m iki 4,10m) ir pločio (nuo 100mm iki 450mm) viengubo pjovimo mediena, lyginant su tyrimų metu naudojamų bandinių ilgiu (1,00m) ir pločiu (55mm). Džiovinamos medienos ir bandinių storis vienodas – 37mm. Todėl gautas išdžiovintų bandinių drėgnis yra mažesnis nei džiovinimo metu siekiamas gauti 7,5% galutinis medienos drėgnis. Išdžiovintų medienos bandinių drėgnio vidurkis – 4,9%. Drėgnio sklaida apie medienos bandinių drėgnio vidurkį yra nuo - 1,2% iki + 1,7%.

4.1.4. Džiovinimo režimas Nr. 4

Džiovinant 37mm storio beržo medieną, buvo išdžiovinta 60 bandinių (37 x 55 x 1000mm). Po medienos džiovinimo proceso, nustatomas bandinių drėgnis (%), drėgnio sklaida ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį (%). Gauti 3 džiovinimų rezultatai pateikiami 21 paveiksle.



21 pav. Medienos drėgnio variacija ir bandinių pasiskirstymas pagal drėgnį, taikant džiovinimo režimą Nr. 4. Džiovinama 37mm storio mediena.

Iš 21 paveikle pateikto grafiko matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 4, medienos drėgnis varijuoja nuo 4,5% iki 6,5%. Medienos džiovinimo kameroje džiovinama didesnio ilgio (nuo 2,50m iki 4,10m) ir pločio (nuo 100mm iki 450mm) viengubo pjovimo mediena, lyginant su tyrimų metu naudojamų bandinių ilgiu (1,00m) ir pločiu (55mm). Džiovinamos medienos ir bandinių storis vienodas – 37mm. Todėl gautas išdžiovintų bandinių drėgnis yra mažesnis nei džiovinimo metu siekiamas gauti 7,5% galutinis medienos drėgnis. Išdžiovintų medienos bandinių drėgnio vidurkis – 5,6%. Drėgnio sklaida apie medienos bandinių drėgnio vidurkį yra nuo - 1,1% iki + 0,9%.

Apibendrinimas

Atlikus bandinių džiovinimą keturiais skirtingais režimais, kiekvienam džiovinimo režimui gauta medienos drėgnio sklaida. Nustatyta, kad išdžiovinus medienos bandinius keturiais skirtingais režimais, medienos bandinių drėgnis atitinką leistinąją sklaidą, nes telpa į intervalą, kuris, pagal standartus, yra nuo - 2,5% iki + 2,0%. Mažiausia medienos drėgnio sklaida, priklausomai nuo džiovinimo trukmės, užfiksuota džiovinant medienos bandinius džiovinimo režimu Nr. 2. Medienos bandinių drėgnio sklaida, taikant džiovinimo režimą Nr. 2, yra nuo - 0,2% iki + 0,2% džiovinant kartu su 54mm storio mediena, nuo - 0,6% iki + 0,5% džiovinant kartu su 37mm storio mediena ir nuo

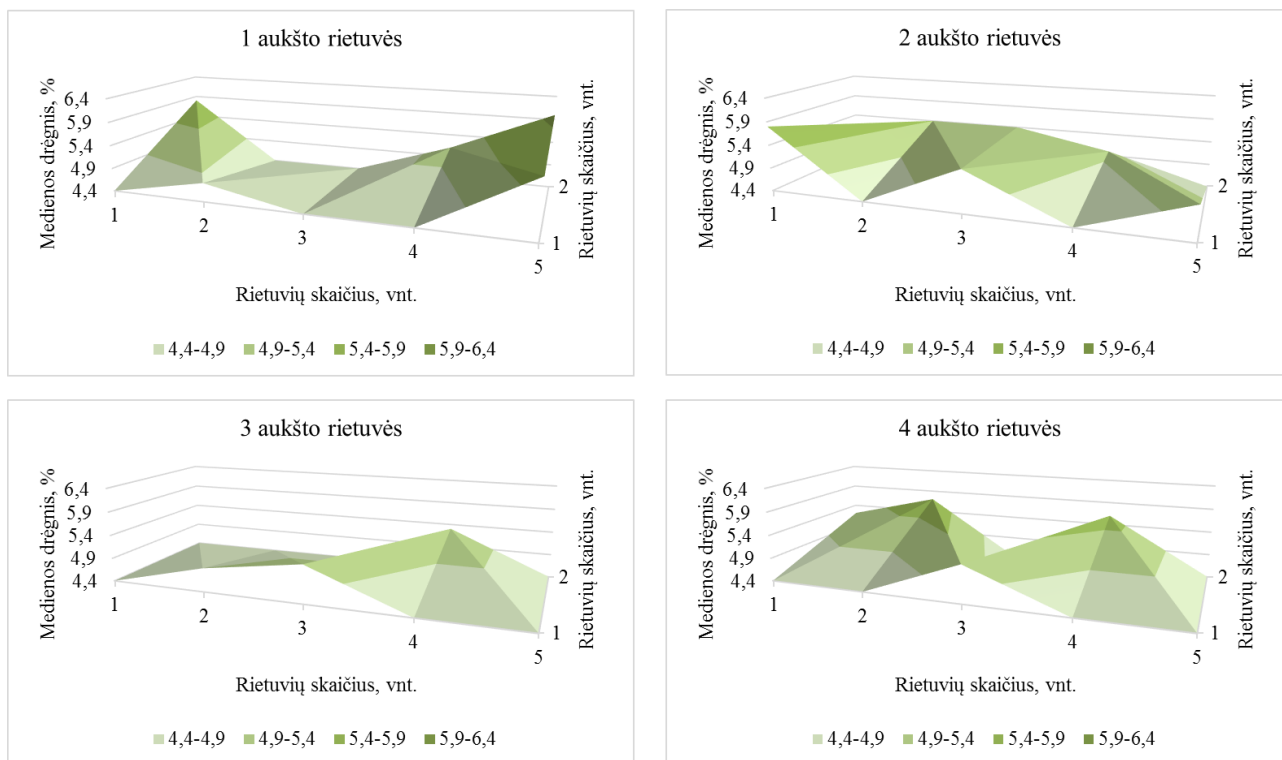
- 0,7% iki + 0,7% džiovinant kartu su 29mm storio mediena. Didžiausia medienos drėgnio sklaida nustatyta taikant džiovinimo režimą Nr. 3, kuri yra nuo - 1,2% iki + 1,7%. Taip galėjo nutikti dėl ilgesnio oro srauto reversavimo laiko, kuris yra 6h. Taip pat didesnei medienos drėgnio sklaidai įtaką galėjo padaryti aukšta temperatūra (62°C) ir mažas pusiausvyrinis drėgnis (2,3%). Siekiant sumažinti medienos drėgnio sklaidą apie tikslinį drėgnį, rekomenduojama taikyti džiovinimo režimą Nr. 2.

4.2. Medienos drėgnio pasiskirstymo nuo vietos džiovykloje nustatymas

Siekiant įvertinti medienos drėgnio pasiskirstymą nuo vietos džiovinimo kameroje, buvo atlikta 12 medienos džiovinimų, taikant keturis skirtingus džiovinimo režimus Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3 ir Nr. 4. Pabaigus džiovinti medieną, nustatomas bandinių drėgnis (%) ir bandinių vieta džiovinimo kameroje, kurioje bandiniai po džiovinimo yra didžiausio drėgnio. Džiovyklos aukštų pjūviai, kuriuose pavaizduotas medienos drėgnio pasiskirstymas, pateikiami sekančiuose paveiksluose.

4.2.1. Džiovinimo režimas Nr. 1

Taikant džiovinimo režimą Nr. 1 buvo atlikti 3 džiovinimai. Gauti medienos drėgnio pasiskirstymo nuo vietos džiovinimo kameroje rezultatai pateikiami 22 paveiksle.

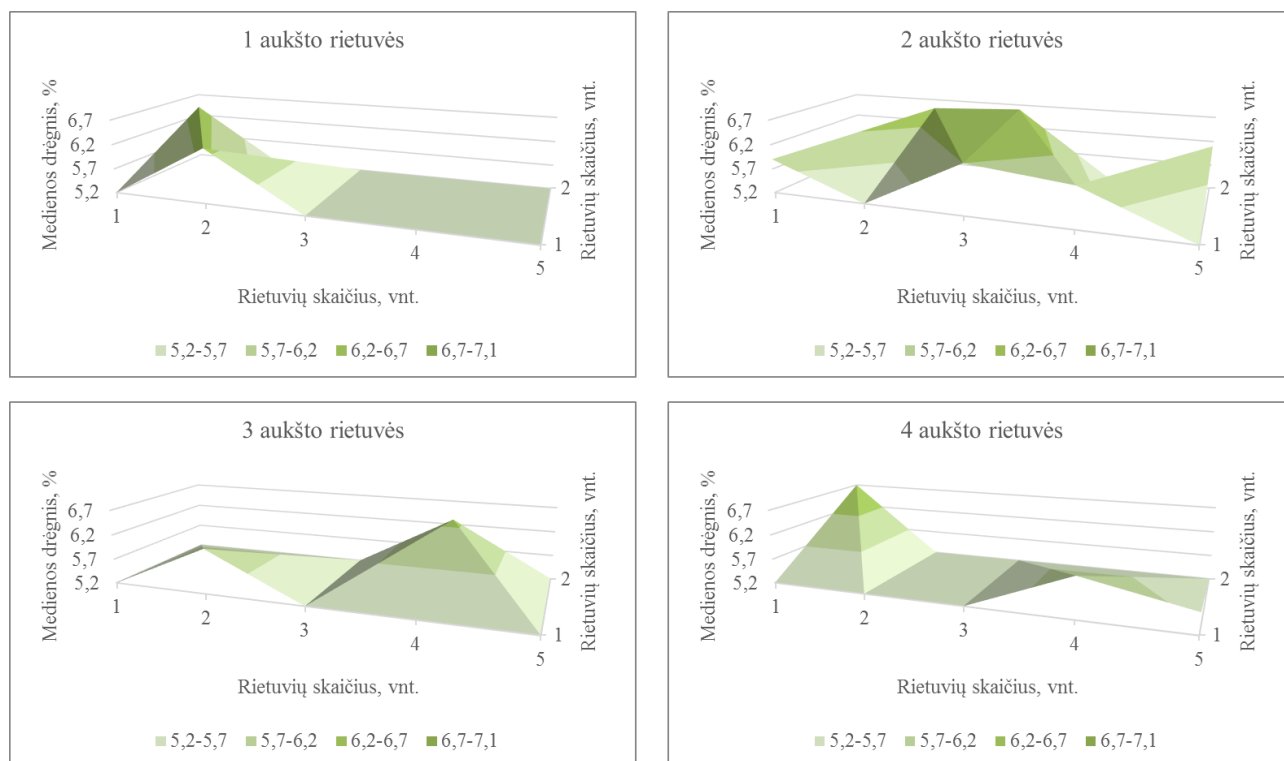


22 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje, taikant džiovinimo režimą Nr. 1

Iš 22 paveiksle gautų rezultatų matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 1, drėgniausia mediena po džiovinimo yra pirmo aukšto rietuvėse 1 ir 5 eilėse, antro aukšto rietuvėse 1 ir 3 eilėse bei ketvirto aukšto rietuvėse 2 ir 4 eilėse. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad oro cirkuliacija daro įtaką drėgnio pasiskirstymui pagal aukštus, o reversavimo laikas daro įtaką drėgnio pasiskirstymui pagal eiles. Kadangi apatiniame ir viršutiniame aukštuose yra daugiausiai bandinių, kurių drėgnis didesnis už vidutinį, galima teigti, kad oro srauto greitis yra mažesnis, lyginant su antrame ir trečiame aukšte esančiomis rietuvėmis. Šiuo atveju tik dvi vietos atitinka esamas jutiklių padėtis džiovinimo kameroje.

4.2.2. Džiovinimo režimas Nr. 2

Taikant džiovinimo režimą Nr. 2, buvo atlikti 3 medienos džiovinimai. Pagal džiovinimo režimą Nr. 2 buvo džiovinama 29mm, 37mm ir 54mm storio, viengubo pjovimo beržo mediena. Gauti medienos drėgnio pasiskirstymo nuo vietos džiovinimo kameroje rezultatai, džiovinant 37mm medieną, pateikiami 23 paveiksle.



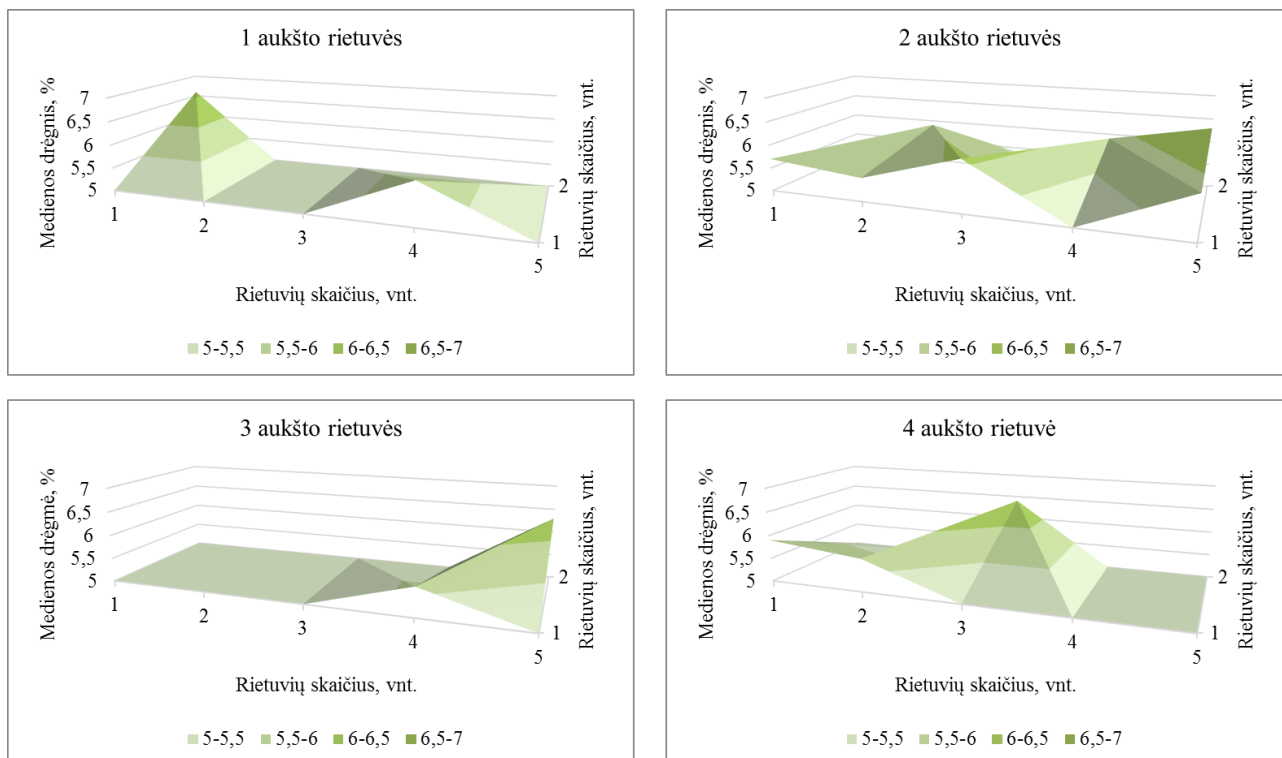
23 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje, taikant džiovinimo režimą Nr. 2

Iš 23 paveiksle gautų rezultatų matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 2, drėgniausia mediena po džiovinimo yra pirmo aukšto rietuvėse 1 ir 2 eilėse, antro aukšto rietuvėse 2 ir 3 eilėse, trečio

aukšto rietuvėje 4 eilėje bei ketvirto aukšto rietuvėje 1 eilėje. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad drėgnio pasiskirstymui įtaką daro medienos rietuvių padėtis džiovykloje. Esamas jutiklių padėtis džiovinimo kameroje atitinka tik dvi vietas antro aukšto rietuvėse.

4.2.3. Džiovinimo režimas Nr. 3

Taikant džiovinimo režimą Nr. 3, buvo atlikti 3 medienos džiovinimai. Gauti medienos drėgnio pasiskirstymo nuo vietos džiovinimo kameroje rezultatai pateikiami 24 paveiksle.

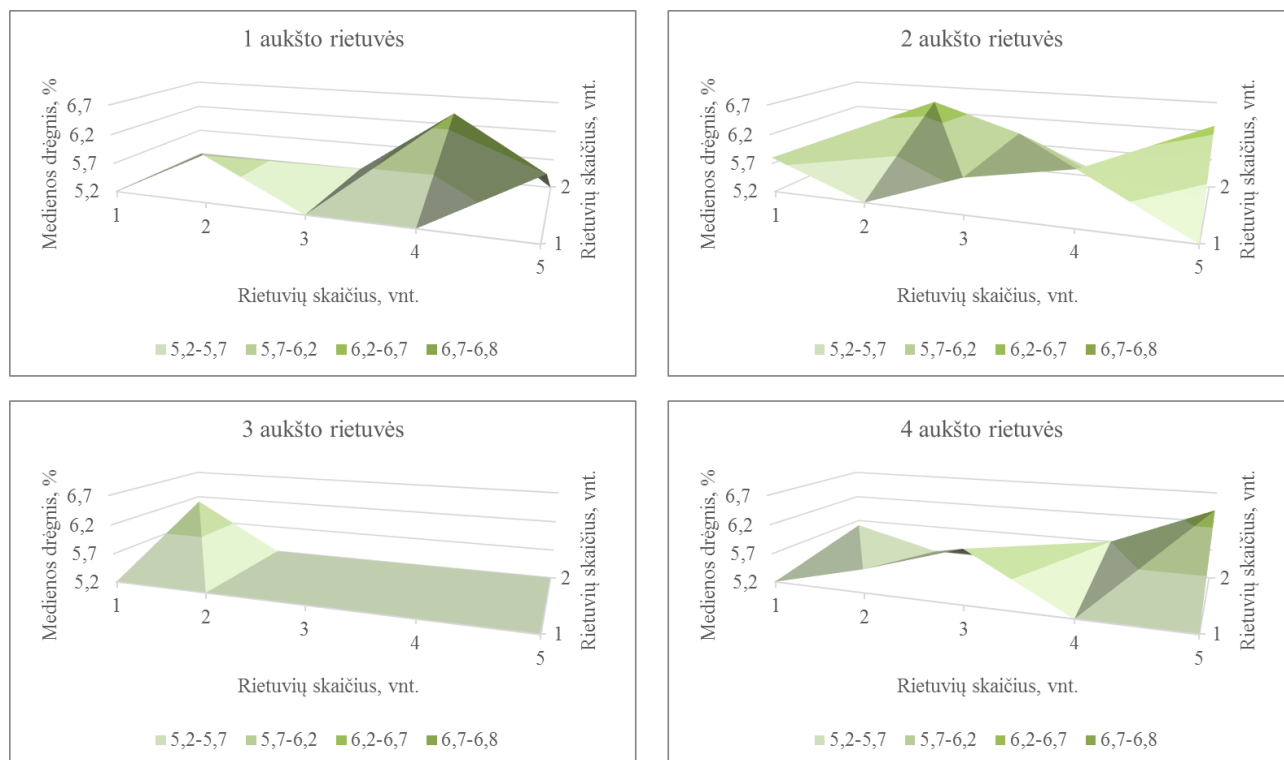


24 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje taikant džiovinimo režimą Nr. 3

Iš 24 paveiksle gautų rezultatų matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 3, drėgniausia mediena po džiovinimo yra pirmo aukšto rietuvėse 1 ir 4 eilėse, antro aukšto rietuvėse 3 ir 5 eilėse, trečio aukšto rietuvėje 5 eilėje bei ketvirto aukšto rietuvėje 3 eilėje. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad įtaką drėgnio pasiskirstymui daro reversavimo laikas ir medienos rietuvių padėtis džiovykloje. Dėl oro srauto reversavimo drėgniausios 1 ir 5 eilės rietuvės, o 3 eilės rietuvės drėgniausios dėl to, kad oro srautas tekėdamas per medienos rietuves susilpnėja, kol pasiekia džiovyklos centre esančias medienos rietuves. Taikomas medienos drėgnio jutiklių padėtis džiovinimo kameroje atitinka tik dvi vietas antro aukšto rietuvėse.

4.2.4. Džiovinimo režimas Nr. 4

Taikant džiovinimo režimą Nr. 4, buvo atlikti 3 medienos džiovinimai. Gauti medienos drėgnio pasiskirstymo nuo vietos džiovinimo kameroje rezultatai pateikiami 25 paveiksle.



25 pav. Medienos drėgnio pasiskirstymas priklausomai nuo medienos rietuvės aukščio džiovinimo kameroje taikant džiovinimo režimą Nr. 4

Iš 25 paveiksle gautų rezultatų matome, kad taikant džiovinimo režimą Nr. 4, drėgniausia mediena po džiovinimo yra pirmo aukšto rietuvėse 4 ir 5 eilėse, antro aukšto rietuvėse 2 ir 5 eilėse bei ketvirto aukšto rietuvėse 3 ir 5 eilėse. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad oro cirkuliacija daro įtaką drėgnio pasiskirstymui pagal aukštus, o reversavimo laikas daro įtaką drėgnio pasiskirstymui pagal eiles. Kadangi apatiniame ir viršutiniame aukštuose yra daugiausiai bandinių, kurių drėgnis didesnis už vidutinį, galima teigti, kad oro srauto greitis yra mažesnis, lyginant su antrame ir trečiame aukšte esančiomis rietuvėmis. Taikomas medienos drėgnio jutiklių padėtis džiovinimo kameroje atitinka tik dvi vietas antro aukšto rietuvėse.

Apibendrinimas

Medienos bandiniai buvo džiovinami skirtingose džiovyklos vietose, siekiant įvertinti medienos drėgnio variaciją po džiovinimo. Įvertinus išdžiovintų bandinių drėgnį, nustatytos vietos, kuriose

mediena po džiovimo būna drėgniausia ir sausiausia. Remiantis gautais rezultatais galima įvardinti vietas, kuriose medienos drėgnio jutikliai turėtų būti įtvirtinami, džiovinant medienos sortimentus.

Gauti rezultatai parodo, kad drėgniausia mediena po džiovavimo būna džiovavimo kameros 1, 3 ir 5 eilėse. Atsižvelgiant į rietuvės aukštį džiovavimo kameroje, drėgniausia mediena po džiovavimo būna džiovavimo kameros 1 ir 2 aukštuose. Atsižvelgiant į taikomą džiovavimo režimą ir įvertinus medienos drėgnio pasiskirstymą nuo vietos džiovavimo kameroje, galima teigti, kad taikant skirtingus džiovavimo režimus, mediena būna drėgniausia skirtingose džiovyklos vietose. Remiantis gautais duomenimis galima nustatyti optimalesnę medienos drėgnio jutiklių vietą džiovavimo kameroje ir taip pagerinti produkcijos kokybę bei gamybinių resursų panaudojimą.

4.3. Medienos džiovavimo režimo įtaka džiovavimo trukmei

Džiovinant medieną skirtingais džiovavimo režimais, jos džiovavimo trukmė skiriasi. Siekiant išsiaiškinti medienos džiovavimo režimo įtaką džiovavimo trukmei, atlikta 12 medienos džiovavimų, taikant 4 skirtingus džiovavimo režimus. Nustatyta džiovavimo trukmė, taikant skirtingus džiovavimo režimus, pateikta 8 lentelėje.

8 lentelė. Medienos džiovavimo trukmė, taikant skirtingus džiovavimo režimus

Džiovinimo režimas	1 džiovavimo trukmė, paromis	2 džiovavimo trukmė, paromis	3 džiovavimo trukmė, paromis	Vidutinė džiovavimo trukmė, paromis
Nr. 1	24	25	25	25
Nr. 2	24	21	19	-
Nr. 3	22	23	22	22
Nr. 4	24	24	25	24

Iš 8 lentelėje gautų rezultatų matome, kad mažiausia medienos džiovavimo trukmė yra taikant džiovavimo režimą Nr. 2. Džiovinimo režimas Nr. 2 truko 19 parų – džiovinant 29mm storio medieną, 21 parą – džiovinant 37mm storio medieną ir 24 paras – džiovinant 54mm storio medieną. Kadangi džiovinamos medienos storis skirtingas, vidutinės džiovavimo trukmės, taikant džiovavimo režimą Nr. 2, nustatyti negalima. Didžiausia džiovavimo trukmė gauta taikant džiovavimo režimą Nr. 1, kuris truko nuo 24 iki 25 parų.

Apibendrinimas

Siekiant gauti kuo mažesnę medienos džiovinimo trukmę ir medienos drėgnio sklaidą, reikėtų naudoti džiovinimo režimą Nr. 2. Tačiau džiovinant šiuo režimu neįvertinti kiti medienos džiovinimo metu atsirandantys defektai, todėl reikėtų atlikti daugiau bandymų, siekiant įvertinti džiovinimo kokybę.

Medienos džiovinimo režimais Nr. 1, Nr. 3 ir Nr. 4 išdžiovintos medienos drėgnis varijuoja leistinoje sklaidoje apie tikslinį drėgnį. Kadangi džiovinimo kokybė neįvertinta, o džiovinimų trukmės skiriasi, reikėtų rinktis džiovinimo režimą, kurio trukmė mažiausia.

Išvados

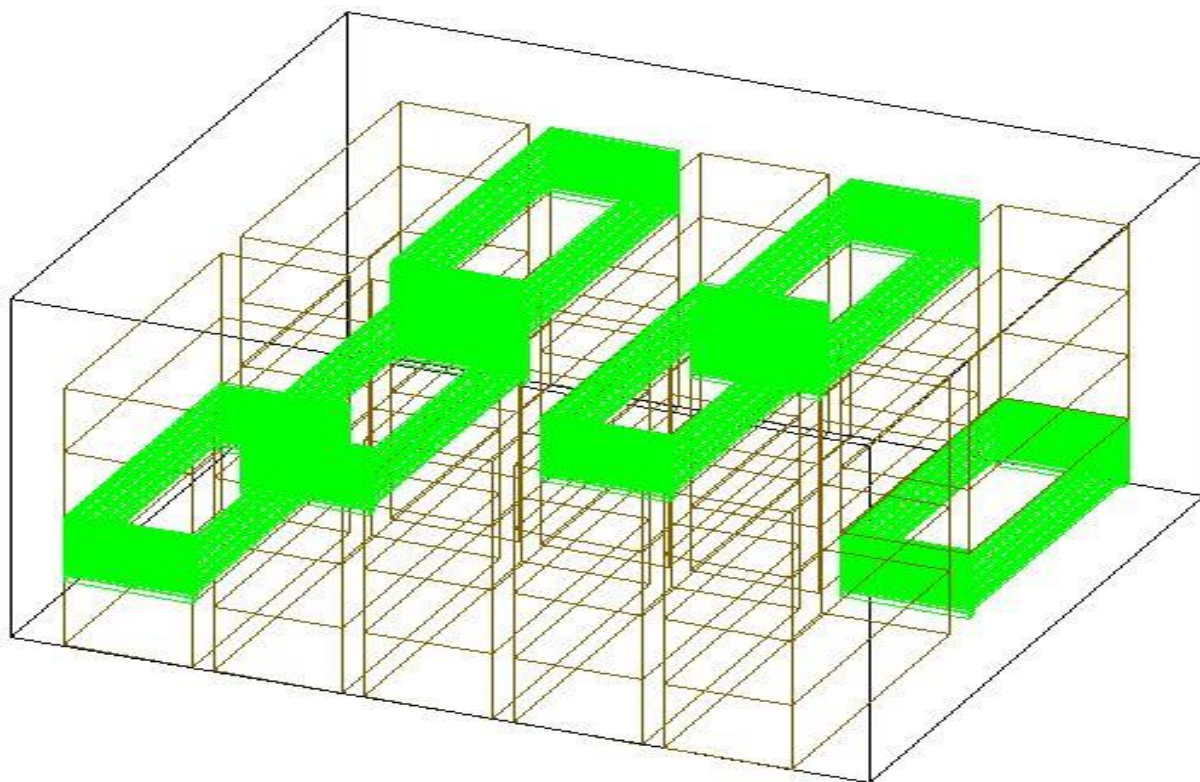
1. Nustatyta, kad medienos džiovinimo režimai turi įtaką drėgnio pasiskirstymui medienoje. Išdžiovintos medienos drėgnis kinta leistinoje sklaidoje nuo - 2,5% iki + 2,0% apie tikslinį drėgnį, todėl visi džiovinimo režimai gali būti naudojami. Tačiau siekiant kuo mažesnės medienos drėgnio sklaidos, reikėtų rinktis džiovinimo režimą Nr. 2, kuriuo išdžiovintų bandinių drėgnio sklaida yra nuo - 0,2% iki + 0,2% džiovinant 54mm storio medieną, nuo - 0,6% iki + 0,5% džiovinant 37mm storio medieną ir nuo - 0,7% iki + 0,7% džiovinant 29mm storio medieną.
2. Nustatyta, kad vieta džiovinimo kameroje turi įtakos džiovinamos medienos drėgnio pasiskirstymui. Nustatyta optimalesnė medienos drėgnio jutiklių vietą džiovinimo kameroje. Prieduose pateikti pasiūlymai (26 – 29 pav.), kuriose džiovinimo kameros vietose reikėtų matuoti džiovinamos medienos drėgnį, tuo pačiu pagerinant produkcijos kokybę bei gamybinių resursų panaudojimą.
3. Drėgniausi bandiniai yra išdžiovinti vidurinėje džiovinimo kameros dalyje, nes džiovykloje sukrauta mediena yra prapučiama nevienodu oro srauto greičiu. Taip nutinka, nes kol oro srautas patenka į centrinėje džiovyklos dalyje esančias rietuves, oro srauto greitis sumažėja dėl sumažėjusio slėgio. Rekomenduojama didinti sukraunamų rietuvių plotį ir aukštį. Tokiu būdu bus galima talpiaiau sukrauti medieną į rietuves, rietuvių skaičius bus mažesnis, drėgnio jutiklių įtvirtinimo procesas bus paprastesnis.
4. Džiovinimo režimas turi įtakos medienos džiovinimo trukmei. Siekiant kuo mažesnės medienos džiovinimo trukmės, reikėtų rinktis džiovinimo režimą Nr. 2., kuris truko 19 parų – džiovinant 29mm storio medieną, 21 parą – džiovinant 37mm storio medieną ir 24 paras – džiovinant 54mm storio medieną.
5. Tiriamojo darbo metu nebuvo įvertinti kiti džiovinimo kokybei įtakos turintys veiksniai. Reikia platesnių tyrimų, kurių metu būtų galima įvertinti medienos spalvą, skilimus ir persimetimus.

Literatūros sąrašas

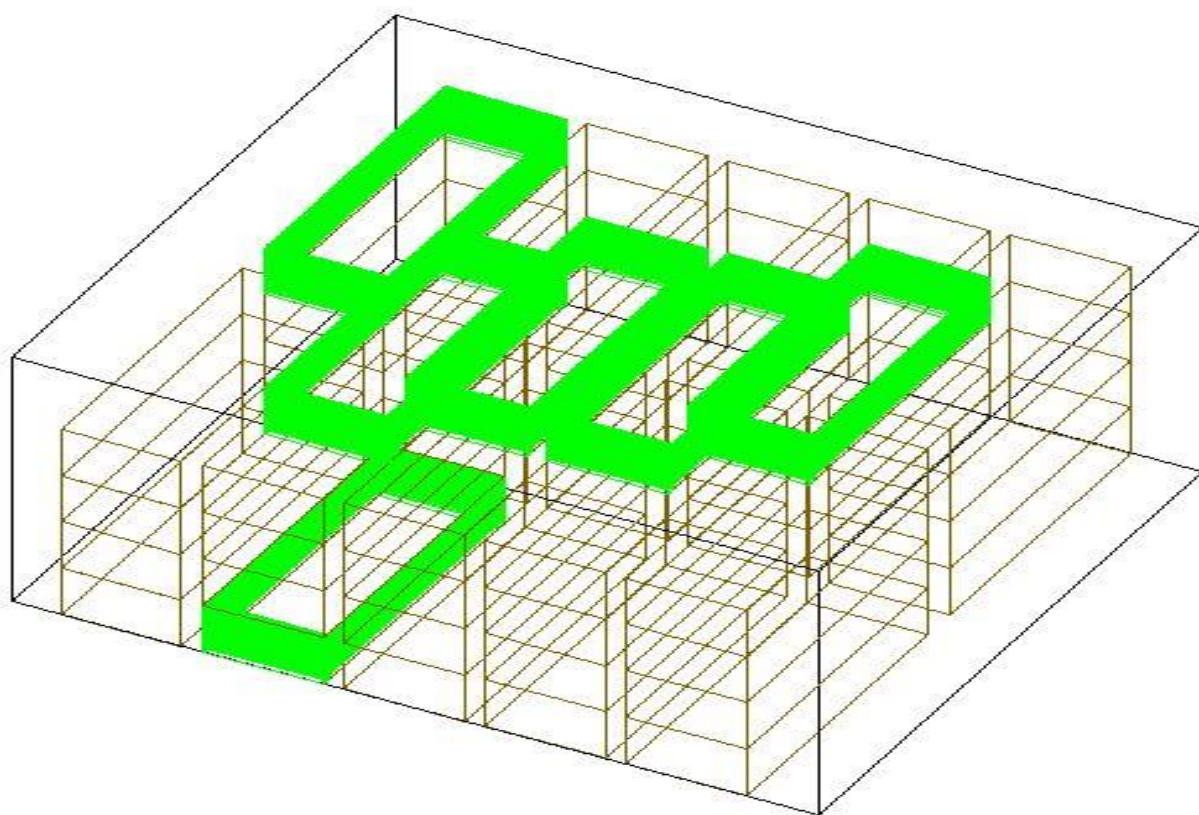
1. Internetinė prieiga: http://www.ekspertai.lt/mediena/straipsniai/medienos_džiovinimas
2. Kajalavičius A., Albrektas D. Medienos hidroterminio apdorojimo teorija ir įranga
3. Tamošaitis M. Ažuolo, beržo ir juodalksnio medienos džiovinimas. Praktinis vadovas
4. Kajalavičius A., Albrektas D. Pjautinės medienos kamerinis konvekcinis džiovinimas
5. Internetinė prieiga: <http://www.prolain.lt/veiklos-kryptys1.php?act=7>
6. Introduction to Kiln Drying
7. Oliveira L., Elustondo D., Mujundar A., Ananias R., Canadian Developments in Kiln Drying
8. Twisting force during drying of wood
9. Eshaghi S., Dashti H., Shahverdi M., Evaluation of Internal Cracks and Collapse in Poplar Wood during a Conventional Drying Process with Ultrasonic Inspection
10. Pleschberger H., Hansmann C., Muller U., Teischinger A., Fracture energy approach for the identification of changes in the wood caused by the drying processes
11. McCurdy M. C., Pang S., Optimization of kiln drying for softwood through simulation of wood stack drying, energy use, and wood color change
12. Romig B., Stacking lumber for drying
13. Kajalavičius A., Albrektas D. Specialūs pjautinės medienos džiovinimo būdai. Paskaitų konspektas
14. Salin J. G., The influence of some factors on the timber drying process, analyzed by a global simulation model
15. Fortin Y., Defo M., Nabhani M., Tremblay C., Gendron G., A Simulation Tool for the Optimization of Lumber Drying Schedules
16. G.J.F. Smit, J.P. du Plessis, J.P. du Plessis Sr., Modelling of airflow through a stack in a timber-drying kiln
17. Sun Z., Carrington G., Effect of stack configuration on wood drying processes
18. Widlak H., Relationship of process parameters and stack width in timber drying
19. Fortin Y., Tremblay C., Fafard M., Duplain G., Wood Drying Modelling Based on the Water Potential Concept: Simulation Results for Conventional Kiln Drying of Black Spruce Lumber
20. Pleschberger H., Teischinger A., Müller U., Hansmann C., Mechanical Characterization of Lumber of Small-Diameter Hardwood Species after Different Drying Schedules
21. Scholl M. S., Ray C. D., Wiedenbeck J. K., Blankenhorn P. R., Stover. L. R., Beakler B. W., A comparison of kiln-drying schedules and quality outcomes for 4/4-thickness black cherry lumber sawn from small-diameter logs

22. Berberovic A. H., Milota M. R., Simulation of Drying Using a Kiln Model
23. Elustondo D., Avramidis S., Stochastic numerical model for conventional kiln drying of timbers
24. Nicholls D. L., Brackley A. M., Allen T., Moisture Distributions in Western Hemlock Lumber From Trees Harvested Near Sitka, Alaska
25. Internetinė prieiga: http://en.wikipedia.org/wiki/Tsuga_heterophylla
26. Tanaka T., Avramidis S., Shida S., Evaluation of moisture content distribution in wood by soft X-ray imaging
27. Heimerdinger G., How Moisture and Humidity Affect Installation of Wood Floors
28. Internetinė prieiga: <http://www.moistureproblems.info/moisture-problems-engineered-wood.html>
29. Perre P., Remond R., Aleon D., Energy saving in industrial wood drying addressed by a multiscale computational model Board, stack, and kiln
30. Perre P., The drying of wood: The benefit of fundamental research to shift from improvement to innovation
31. LST EN 14298:2006. Pjautinė mediena. Džiovinimo kokybės įvertinimas
32. Jakimavičius Č. Medienotyra

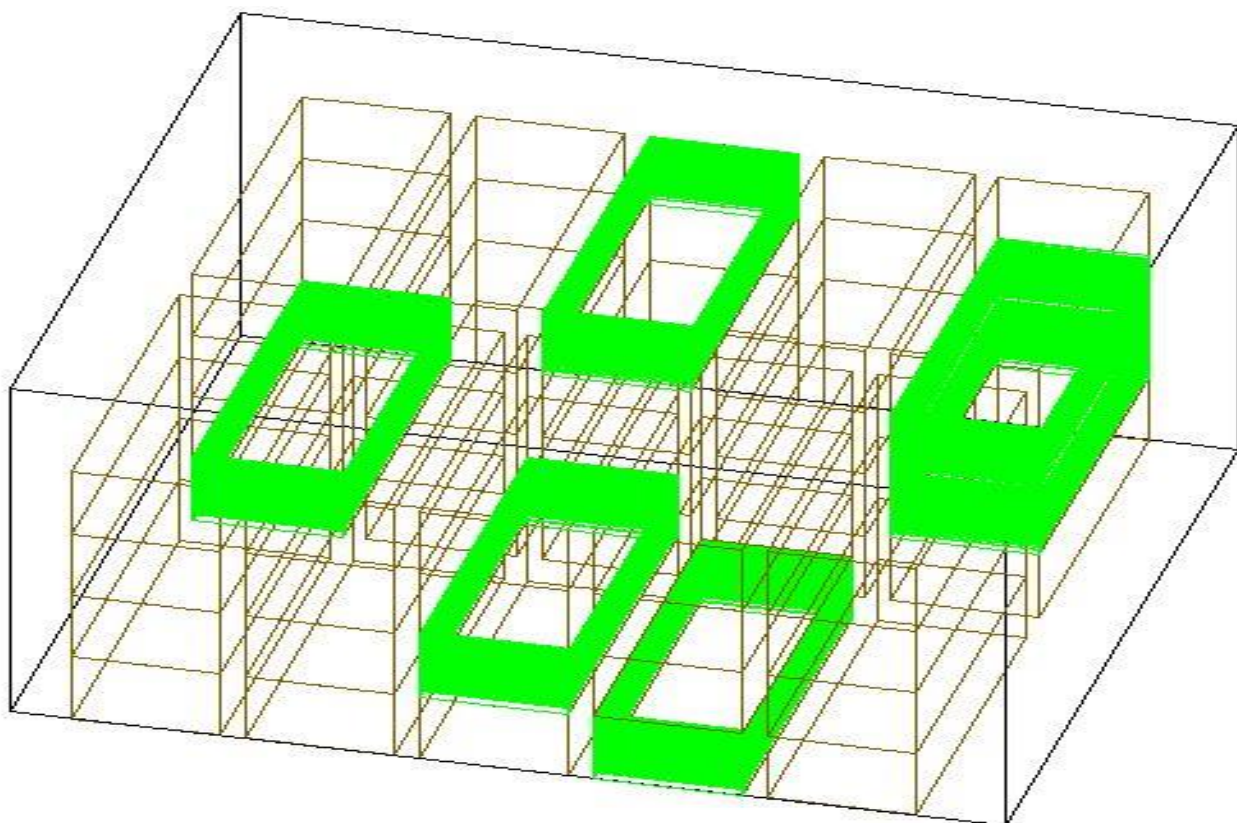
Priedai



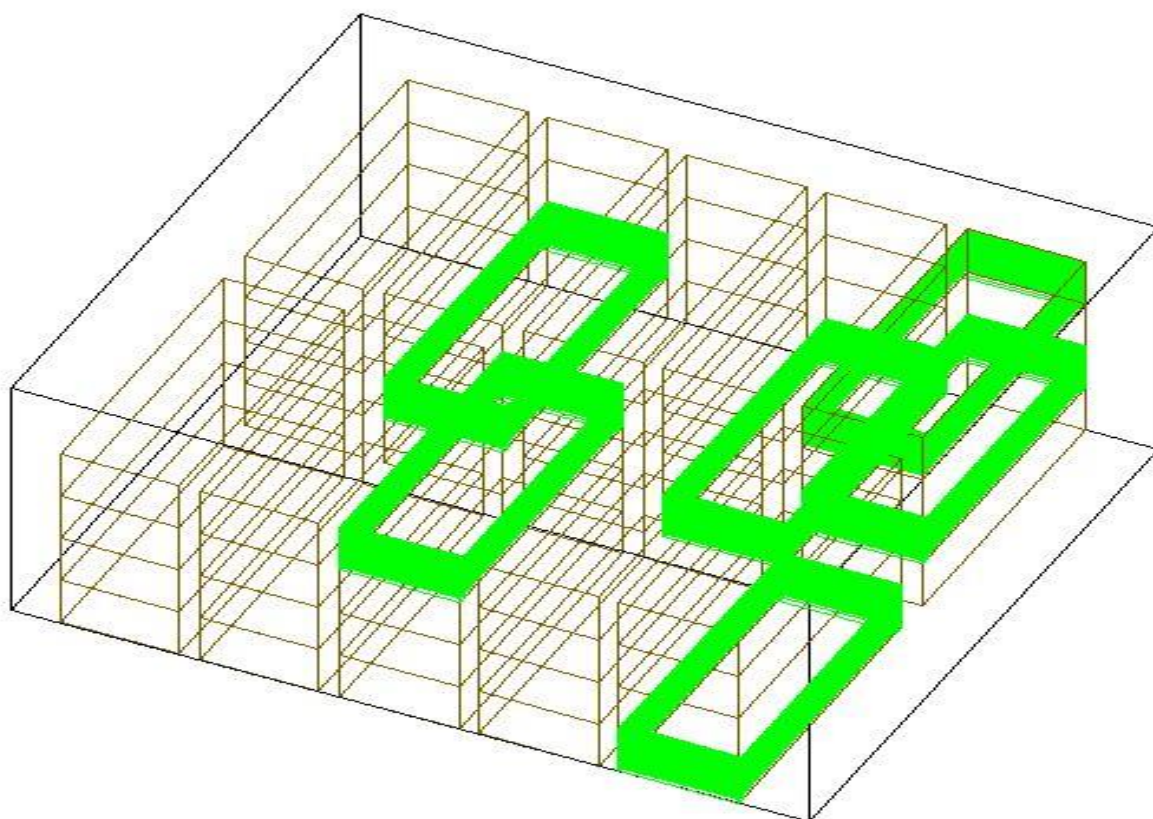
26 pav. Džiovinimo režimo Nr. 1 rekomenduojamos drėgnio jutiklių vietos



27 pav. Džiovinimo režimo Nr. 2 rekomenduojamos drėgnio jutiklių vietos



28 pav. Džiovinimo režimo Nr. 3 rekomenduojamos drėgnio jutiklių vietos



29 pav. Džiovinimo režimo Nr. 4 rekomenduojamos drėgnio jutiklių vietos

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju medienos inžinerijos specialybės dėstytojams ir magistro projekto vadovui už gautas žinias ir pagalbą.