

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Medienos technologijos katedros vedėjas

Marius Gudauskas

**PALENGVINTOS MEDIENOS DROŽLIŲ PLOKŠTĖS MECHANINIŲ SAVYBIŲ
ĮVERTINIMAS PANAUDOJANT DINAMINĮ NEDESTRUKCINIŲ SKERSINIŲ VIRPESIŲ
TYRIMO METODĄ**

Medienos inžinerijos studijų programos

Magistro baigiamasis darbas

Konsultantas

Vadovas

doc. dr. Darius Albrektas

Recenzentas

Atliko

Marius Gudauskas

2015 05 27

KAUNAS, 2015

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. MDP gamybos technologinė schema	10
1.2 pav. „Siempelkamp“ kilimo formavimo mašinos	11
1.3 pav. Smulkinių plokštės gamyba ekstruziniu būdu	13
1.4 pav. Smulkiniai paimti iš 1,25 mm – 3,15 mm frakcijos skiedrantų, naudojamų smulkinių plokštės gamybai	15
1.5 pav. KF kiekio ir smulkinių nuolaibio įtaka smulkinių plokštės mechaninėms savybėms	16
1.6 pav. Presavimo ciklo trukmės įtaka smulkinių plokštės mechaninėms savybėms, kurioje KF kiekis 11%	18
1.7 pav. Išbrinkio po 24 h mirkymo, priklausomybė nuo smulkinių plokštės tankio	18
1.8 pav. Trijų sluoksnių smulkinių plokštės išbrinkimo, po 24 h mirkymo, priklausomybė nuo medienos rūšies	19
1.9 pav. Trijų taškų eglės medienos statinio lenkimo testas	20
1.10 pav. Medienos įlinkio priklausomybė nuo sudaromos apkrovos statinio bandymo metu	21
1.11 pav. Keturių taškų statinis lenkimo bandymas pagal prancūzų standartą	21
1.12 pav. Smulkinių plokštės sanklijos stiprumo nustatymas	22
1.13 pav. Dinaminio gembinės sijos tyrimo metodo schema	23
1.14 pav. Pirmojo rezoansinio dažnio grafikas tiriant OSB bandinius	23
1.15 pav. Virpesių amplitudės mažėjimas (slopinimas) tiriant OSB bandinį dinaminio tyrimo metodu	24
1.16 pav. Ultragarso bangų matavimai bandinyje	25
2.1 pav. MDP tyrimo įrangos principinė schema	26
2.2 pav. Charakteringi plokštės taškai V, B, C, kuriuose nustatinėjami rezonansiniai dažniai ir virpesių amplitudės	27
2.3 pav. Charakteringi plokštės taškai, kuriuose nustatinėjama virpesių amplitudė	28
2.4 pav. Amplitudinė – dažninė charakteristika nustatinėjant slopinimo koeficientą	30
3.1 pav. Neapdailinto MDP bandinio amplitudinė – dažninė charakteristika 20 - 2000 Hz dažnių diapazone	31
3.2 pav. Neapdailintų bandinių sudėtingos modos	32
3.3 pav. Neapdailinto bandinio modos	33

3.4 pav. Apdailinto MDP bandinio amplitudinė – dažninė charakteristika 20 - 2000 Hz dažnių diapazone	36
3.5 pav. Apdailinto N tipo bandinio modos	36
3.6 pav. Apdailinto L tipo bandinio modos	37
3.7 pav. Apadailinto M tipo bandinio modos	37
4.1 pav. Pirmo bandinio amplitudės vertės 200 Hz diapazone prieš apdailinimą ir po apdailinimo	40
4.2 pav. Vidutinės amplitudės vertės	41
4.3 pav. Bandinių apdailinimo schema plokštės linkimo krypties atžvilgiu	42

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Vartojamos santrumpos ir simboliai	7
1.1 lentelė. Kaučiukmedžio ir kenafu šerdies smulkinių formos	14
3.1 lentelė. Neapdailinto bandinio vidutinių rezonansinių dažnių vertės	31
3.2 lentelė. Neapdailintos MDP tampros modulio vertės	34
3.3 lentelė. Neapdailintos MDP slopinimo koeficiento vertės	34
3.4 lentelė. Apdailinto bandinio vidutinių rezonansinių dažnių vertės	35
3.5 lentelė. Apdailintos MDP tampros modulio vertės	38
3.6 lentelė. Apdailintų bandinių slopinimo koeficiento vertės	39
4.1 lentelė. MDP bandinių tampros modulis ir slopinimo koeficientas	43
5.1 lentelė. Svarbiausi įvairių tipų MDP tampros modulio statistiniai rodikliai	45
5.2 lentelė. Svarbiausi įvairių tipų MDP slopinimo koeficiento statistiniai rodikliai	45

Palengvintos medienos drožlių plokštės mechaninių savybių įvertinimas panaudojant dinaminį nedestrukcinį skersinių virpesių tyrimo metodą / Magistro projektas / Autorius – M. Gudauskas / Vadovas – doc. dr. D. Albrektas / Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Medžiagų inžinerijos katedra. Kaunas, 2015 – 50 psl., 30 paveikslų, 11 lentelių.

SANTRAUKA

Šiame darbe analizuojama palengvintos medienos drožlių plokštės apdailinimo įtaka jos mechaninėms savybėms. Tyrimuose naudotas 21 bandinys, kurių matmenys $500 \times 500 \times 15$ mm. Priklausomai nuo apdailinimo būdo, bandiniai suskirstyti į keturis tipus: S – neapdailinti bandiniai; N – iš abiejų pusių kompensaciniu popieriumi apdailinti bandiniai; L – iš vienos pusės apdailinti lukštu, o iš antrosios - kompensaciniu popieriumi; M – iš abiejų pusių lukštu apdailinti bandiniai.

Mechaninės savybės tirtos dinaminiu nedestrukciniu rezonansiniu skersinių virpesių tyrimo metodu, panaudojant originalią tyrimo metodiką ir įrangą. Faneravimo įtaka MDP mechaninėms savybėms įvertinta lyginat neapdailintų bandinių tampros modulio (E) ir slopinimo koeficiento ($tg\delta$) vertes su vertėmis, kurios nustatytos po jų apdailinimo.

Nustatyta, kad neapdailintos MDP tampros modulis dvejomis statmenomis kryptimis skiriasi (21 – 29) % ribose. Didesnis tampros modulis yra išilgine plokštės kilimo formavimo kryptimi. Faneruojant bandinius atsižvelgta į plokštės kilimo formavimo kryptį ir lukšto pluošto kryptį. Tyrimo rezultatai įrodo, kad L tipo bandiniuose lyginant su neapdailintais, pirma kryptimi E padidėja iki 48 %, antra kryptimi sumažėja iki 16 %. M tipo bandiniuose pirmąja kryptimi E padidėja iki 70 %, antrąja kryptimi sumažėja iki 13%. N tipo bandiniuose, lyginant su neapdailintais, pirma ir antra kryptimi E atitinkamai padidėja iki 13 % ir 20 %. Nustatyta, kad po bandinių apdailinimo $tg\delta$ sumažėja, nes padidėja jų standumas.

Mechanical properties evaluation of light weight particle board using the dynamic nondestructive transverse vibrations research method / Master's Thesis / Author – M. Gudauskas / Supervisor – doc. dr. D. Albrektas / Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Kaunas, 2015 - 50 pages, 30 Figures, 11 Tables.

SUMMARY

In this paper, the influence of a particle board finish to its mechanical properties is analysed. 21 samples with dimensions of $500 \times 500 \times 15$ mm were used to conduct this research. Depending on the method of the finish of the material, samples are grouped into four types: S – samples without finish; N – finished with compensatory paper on both sides; L – finished with veneer on the one side and with compensatory paper on the other side; M – finished with veneer on both sides.

The mechanical properties of the investigated dynamic non - destructive resonant transverse vibrations of the method of analysis using the original software, according to a special survey methodology. Influence for finished chipboard mechanical properties was evaluated by comparing samples without finishing of the modulus of elasticity (E) and inhibition coefficient ($tg\delta$) values with the values which was set after finish is applied.

It was established that the modulus of elasticity of unfinished chipboard is different (21 - 29) % range in two perpendicular directions. The higher modulus of elasticity is the longitudinal direction of chipboard direction. Finishing chipboard samples were considerate into chipboard direction and the direction of the fiber shell. The results show that the L - type samples compared to samples without the finish, in a first direction E increases by 48 %, and in a second direction decreases by 16 %. M - type sample in the first direction E increases by 70 % in the second direction by 13 %. N - type samples compared with samples without finishing first and second direction E increased by 13 % and 20 %. It was found that the samples after the finish is applied $tg\delta$ reduced, because of increased stiffness.

TURINYS

ĮVADAS	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	9
1.1. Medienos plokštės.....	9
1.2. Medienos drožlių plokštės gamyba.....	10
1.3. Medienos drožlių plokščių paskirtis ir savybės	12
1.3.1. Presavimo būdo įtaka plokštės savybėms	13
1.3.2. Smulkinių geometrijos įtaka plokštės savybėms	13
1.3.3. Naudojamų klijų įtaka medienos drožlių plokštės savybėms	15
1.3.4. Presavimo parametrų įtaka plokštės savybėms.....	17
1.4. Mechaninių savybių įvertinimo būdai	19
1.4.1. Statiniai mechaninių savybių įvertinimo metodai.....	20
1.4.2. Dinaminiai tyrimo metodai	22
2. MEDIENOS DROŽLIŲ PLOKŠTĖS SAVYBIŲ ĮVERTINIMO ĮRANGA IR METODIKA ..	26
2.1. Tyrimams naudojama įranga.....	26
2.2. Medienos drožlių plokštės tyrimo metodika.....	27
2.2.1. Rezonansinių dažnių nustatymas	27
2.2.2. Amplitudinės dažninės charakteristikos nustatymas	28
2.2.3. Bandinių modų nustatymas.....	28
2.2.4. Tampros modulio ir slopinimo koeficiento skaičiavimas	29
3. TYRIMŲ REZULTATAI.....	31
3.1. Neapdailintų bandinių tyrimas.....	31
3.1.1. Neapdailintų bandinių amplitudinės – dažninės charakteristikos	31
3.1.2. Neapdailintų bandinių modų nustatymas.....	32
3.1.3. Neapdailintų bandinių tampros modulio ir slopinimo koeficiento nustatymas	33
3.2. Apdailintų bandinių tyrimas	35
3.2.1. Apdailintų bandinių amplitudinės – dažninės charakteristikos	35
3.2.2. Apdailintų bandinių modų nustatymas	36
3.2.3. Apdailintų bandinių tampros modulio ir slopinimo koeficiento nustatymas.....	38
4. REZULTATŲ PALYGINIMAS	40

4.1. Apdailintų ir neapdailintų bandinių amplitudinės – dažninės charakteristikos	40
4.2. Apdailintų ir nepadailintų bandinių modų dažnių palyginimas	41
4.3. Apdailintų ir neapdailintų bandinių tampriai plastiškųjų savybių palyginimas.....	43
5. REZULTATŲ PATIKIMUMĄ ĮVERTINANTI STATISTINĖ ANALIZĖ	45
IŠVADOS	47
LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	48
PRIEDAI.....	50

SIMBOLIAI IR SANTRUMPOS

1 lentelė. Vartojamos santrumpos ir simboliai

Nr.	Žodis	Santrumpos, simboliai
1	Vidurkis	vid.
2	Paveikslas	pav.
3	Medienos drožlių plokštė	MDP
4	Orientuotų skiedrantų plokštė	OSB
5	Karbamido formaldehidas	KF
6	Melamino formaldehidas	MF
7	Fenolio formaldehidas	FF
8	Rūgštys	pH
9	Hidroksilinės gupės	OH
10	Vidinės sanklijos stiprumas	VSS
11	Tampros modulis	E
12	Slopinimo koeficientas	$tg\delta, \zeta$
13	Dažnis	f
14	Virpesių amplitudė	A
15	Tankis	ρ
16	Masė	M
17	Ilgis	L
18	Skerspjuvio plotas	S
19	Inercijos momentas	I
20	Dispersija	s^2
21	Vidutinis kvadratinis nuokrypis	s
22	Variacijos koeficientas	v
23	Apkrova	P

IVADAS

Dėl intensyvios baldų pramonės plėtros auga medienos plokščių poreikis. Priklausomai nuo paskirties gaminamos įvairių rūšių medienos plokštės. Dėl savo savybių dažniausiai naudojama medienos smulkinių plokštė [6].

Medienos drožlių plokštės (MDP) daugiausiai sunaudojama statybų sektoriuje ir baldų gamyboje. Plokštėmis apkalamos karkasinės konstrukcijos, pastatų sienos, grindys ir lubos. Naudojama kaip pagrindinė medžiaga serijinėje baldų gamyboje bei izoliacinė ir pakavimo medžiaga.

Priklausomai nuo eksploatacijos sąlygų smulkinių plokštės ir jos gaminiai yra veikiami dinaminių ir statinių apkrovų, bei drėgmės. Kol pagaminamas galutinis produktas, plokštės yra atitinkamai apdailinamos ir tai įtakoja jų savybes.

Yra naudinga atlikti bandymus siekiant kuo geriau suprasti šių kompozitinių medžiagų savybes ir tinkamai jas panaudoti produktų gamyboje ir pastatų statyboje. Jau yra atlikti tyrimai, kuriuose analizuota, kaip 750 kg/m^3 tankio plokštės apdailinimas įtakoja jos savybes [17]. Šiomis dienomis vis daugiau naudojama palengvintos MDP (580 kg/m^3) ir jos dar nėra nuodugniai ištirtos.

Tinkamai išnaudojant plokštės ir apdailos medžiagų mechanines savybes, būtų gaminamos detalės pasižyminčios didesniu atsparumu mechaninėms apkrovoms. Dėl padidėjusių stipruminių savybių atsirastų galimybė mažinti detalių matmenis, taip sunaudojant mažesnę kiekį plokštės. Tokiu būdu sumažėtų įmonių išlaidos MDP pirkimui bei gamtos išteklių vartojimas. Dėl išvardintų priežasčių būtų naudinga atlikti tyrimus, įvertinant faneravimo įtaką palengvintos MDP mechaninėms savybėms.

Mokslinio tyrimo tikslas – įvertinti apdailos įtaką palengvintos medienos drožlių plokštės mechaninėms savybėms.

Kad būtų galima pasiekti tikslą suformuluojami tokie *uždaviniai*:

1. Atlikti informacijos šaltinių analizę;
2. Išanalizuoti tyrimo metodiką ir įrangą;
3. Vadovaujantis metodika, atlikti neapdailintų ir apdailintų MDP bandinių tyrimus;
4. Pagal tyrimo duomenis paskaičiuoti bandinių tampros modulį ir slopinimo koeficientą;
5. Lyginant tyrimo rezultatus įvertinti apdailinimo įtaką MDP mechaninėms savybėms;
6. Rezultatų patikimumą įvertinti statistine analize.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Medienos plokštės

Europoje medienos produkcija sudaro 25 % visos pramoninės produkcijos, medienos plokštės gamyba sudaro 9 % visos medienos produkcijos. Iš viso Europoje pagaminamo medienos plokščių kiekio 70 % sudaro smulkinių plokštės, 24 % - medienos plaušo plokštės ir 6 % - fanera ir medienos lukštas [6].

Medienos plokštes galime vadinti kompozitinėmis medienos medžiagomis. Priklausomai nuo paskirties gaminama daugybė įvairių plokščių, kurias būtų galima suskirstyti į tirs pagrindines grupes:

- 1 – medienos smulkinių plokštės;
- 2 – medienos plaušų plokštės;
- 3 – fanera.

Medienos smulkinių plokštės dar galima skirstyti į medienos drožlių, orientuotų skiedrantų (OSB) ir cementu sujungtas drožlių plokštes. Kadangi tyrimai atliekami su MDP, šis produktas analizuojamas plačiau.

MDP gaminamos iš specialiai išdrožtų arba medienos apdirbimo metu gaunamų drožlių (skiedrelės, plostekės ir pjovimo, frezavimo, bei gręžimo drožlės). Drožlių gamybai naudojama masyvioji, mažavertė mediena ir pramoninės medienos atliekos. Gamybos proceso metu smulkiniai maišomi su rišančiąja medžiaga ir karštais presais supresuojami į atitinkamų matmenų lakštus.

Medienos drožlių plokštės klasifikuojamos pagal šiuos požymius [11], (LST EN 309:1999):

- Presavimo būdą – plokščiasis, cilindrinis, ekstruzinis;
- Plokštės formą – plokščiosios ir profiliuotos;
- Sandarą – vienasluoksnės, daugiasluoksnės, skirtingos sandaros (kada sluoksniai iš skirtingos medienos), ekstruzinio presavimo su vamzdinėmis skylėmis.
- Paskirtį – bendrosios paskirties, pastatų vidinės įrangos ir baldų, apkrovų veikiamoms konstrukcijoms, specialiosios paskirties (atsparios biologiniams veiksniams ir ugniai, sugeriančios garsą).
- Aplinkos santykinę drėgnį – tinkančios sausai arba drėgnai aplinkai.

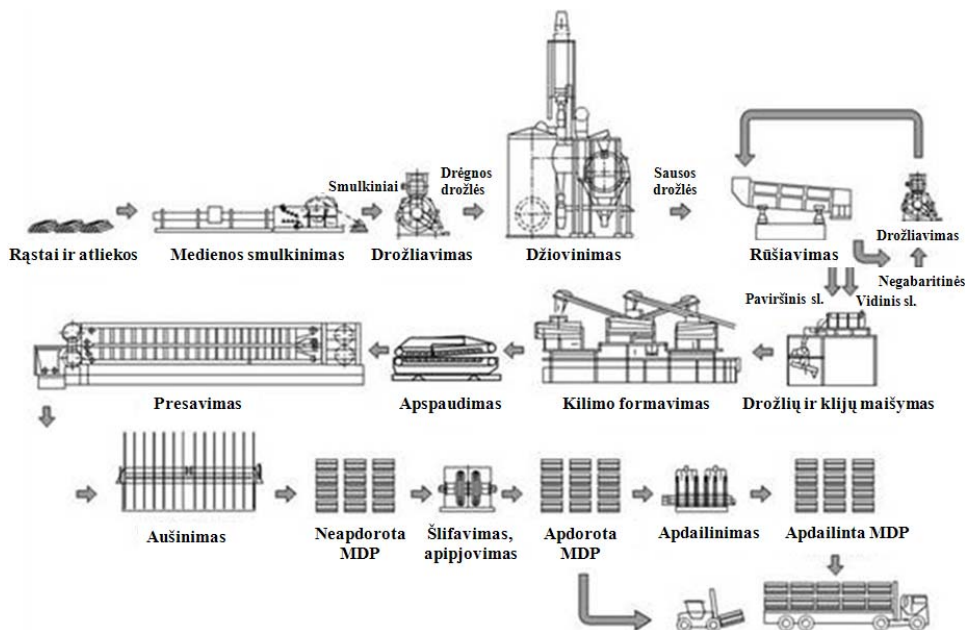
Žinoma, kad MDP turi daug privalumų, tačiau svarbu paminėti ir trūkumus:

1. formaldehido emisija;
2. vandens absorbcija;
3. degumas.

MDP paviršius dažnai apdailinamas lukštu, kompensaciniu popieriumi, melamine išmirkytu popieriumi. Toks plokštės apdailinimas be to, kad suteikia estetinę išvaizdą, padidina jos stiprumines savybes ir mažina žalingų medžiagų emisiją.

1.2. Medienos drožlių plokštės gamyba

Visi šiuolaikiniai plokštės gamybos procesai pasižymi dideliu automatizacijos laipsniu, gamyba valdoma elektros kontūrais, jutiklių pagalba kontroliuojamas gamybos procesas nuo žaliavos patekimo į sistemą iki baigtinio produkto pagaminimo. MDP gamybos technologinė schema pateikta 1.1 paveiksle.



1.1 pav. MDP gamybos technologinė schema

Šiomis dienomis yra daug mašinų ir technologinių procesų komponavimo galimybių, net gaminant tos pačios rūšies plokštes, tačiau pagrindiniai gamybos etapai išliko ir yra bendri, o technologiniai procesai skiriasi nežymiai. Toliau aprašomi pagrindiniai MDP gamybos etapai.

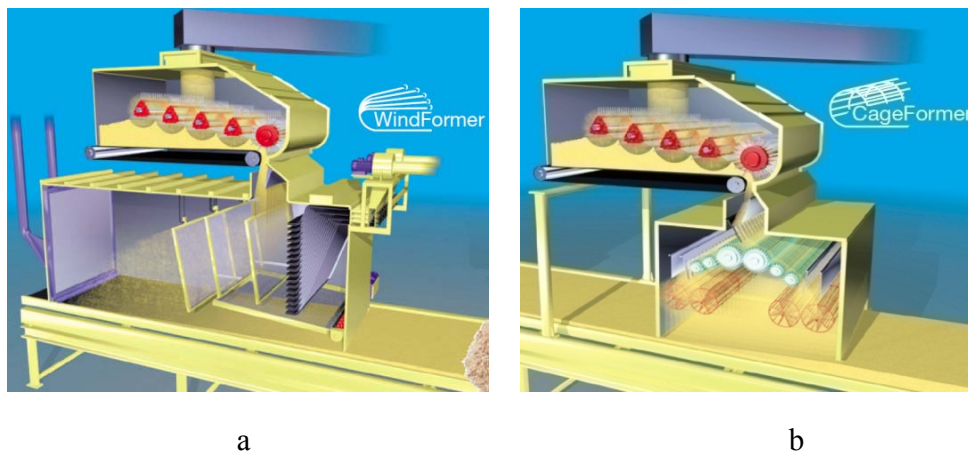
Medienos smulkinimas. Šio proceso tikslas yra pagaminti susmulkintos medienos dalelių mišinį, kuriame dalelės būtų kiek galima vienodesnės formos ir storio. Nuo dalelių geometrijos priklauso tolimesni plokštės gamybos procesai (dalelių rūšiavimas) ir mechaninės plokštės savybės. Medienos drožlių plokštė yra gaminama 3 – 5 sluoksnių, todėl smulkinimo proceso tikslas yra išgauti skirtingo dydžio dalelių mišinius. Smulkiosios dalelės naudojamos išoriniams, o stambiosios vidiniams plokštės sluoksniams.

Smulkinių džiovinimas. Smulkiniai turi būti išdžiovinti iki (3 – 5) % drėgno. Esant dideliame drėgmės kiekiui, drožlėse esantis vanduo atskiedžia klijus, o presavimo metu susidaro garai, dėl kurių suskilinėja presuojama plokštė. Drožlės džiovinamos konvekciniu džiovinimo principu reaktyviniuose, vamzdiniuose, srautiniuose ir būgniniuose džiovintuvuose. Įvairaus storio ir dydžio daleles tolygiai išdžiovinti gana sudėtinga, todėl tam tikrų frakcijų smulkiniai džiovinami atskirai.

Smulkinių rūšiavimas. Į atitinkamas frakcijas smulkiniai suskirstomi orinio klasifikavimo arba sijojimo metodais. Orinio klasifikavimo metu krentančios drožlės išsklaidomos ant besisukančio veleno tuo pačiu metu į krentančių dalelių srautą pučiamas oras, taip atskiriant lengvasias daleles nuo sunkiųjų. Sijojimo įrenginiuose smulkinių frakcija priklauso nuo sijojimo elementų akučių dydžio.

Smulkinių sumaišymas su klijais. Klijai su medienos drožlėmis maišomi nuolat besisukančiuose maišytuvuose. Maišytuve klijai ant dalelių paviršiaus išpurškiami purkštuvais. Maišymo metu, tarp būgno ir medienos dalelių vyksta trintis ir būgnas įkaista, dėl šios priežasties jis yra aušinamas vandeniu.

MDP kilimo formavimas. Išorinio plokštės kilimo sluoksnio formavimui dažniausiai naudojamos pneumatinės formavimo mašinos (1.2 pav., a), [22]. Naudojant šią formavimo sistemą, paviršiuje suformuojamas tankiausias kilimo sluoksnis ir artėjant link vidinio sluoksnio tankis mažėja, nes didėja smulkinių matmenys. Toks smulkinių išsidėstymas gaunamas atitinkamai komponuojant trijų tipų sietus.



1.2 pav. „Siempelkamp“ kilimo formavimo mašinos: a – pneumatinė, b - mechaninė

1.2 pav., b pavaizduota mechaninė sistema, kuri naudojama vidinių plokštės kilimo sluoksnių formavimui. Sraigtinis arba juostinis transporteris su klijais sumaišytos dalelės iš kaupiamojo rezervuaro tiekiamos į formavimo mašinos dozatorių. Iš dozatoriaus medienos dalelės krenta ant

besisukančių velenų, kurie ant judančio juostinio transporterio išsklaido smulkius ir taip formuojamas MDP kilimas.

Kilimo presavimas. Prieš presavimą karštajame prese suformuotas kilimas apspaudžiamas, tokiu būdu sumažinamas kilimo aukštis ir padidinamas jo stiprumas. Šios operacijos dėka ženkliai sutrumpinamas pagrindinio presavimo proceso ciklas, preso plokštės galima praverti mažesniu atstumu, nes ruošinys tarp jų lengviau patalpinamas.

Galutiniam presavimui naudojami tik karštieji presai, kuriuose presuojantiesiems elementams karštį perduoda įkaitintas vanduo, alyva arba garai. Priklausomai nuo presavimo ciklo ir naudojamų klijų rūšies, preso plokštės įkaista $140^{\circ} - 200^{\circ} \text{ C}$ ribose. Plokštės presavimui naudojamos įvairios presavimo sistemos. Pagrindiniai naudojami sistemos - daugiasekcijiniai ir vienasekcijiniai presai, nuolatinio ir periodinio presavimo presai ir ekstruzinio presavimo sistemos.

Baigiamieji plokštės gamybos procesai. Po presavimo MDP yra aušinamos ir kondicionuojamos keletą dienų. Šio proceso metu galutinai susiformuoja sanklija visame plokštės skerspjūvyje, negrįžtamai susiklijuoja vidiniai sluoksniai ir sumažėja plokštės storis. Toliau plokštės šlifuojamos ir pjaustomos iki reikiamo matmens [18].

1.3. Medienos drožlių plokščių paskirtis ir savybės

Medienos drožlių plokštės daugiausiai sunaudojama pastatų statyboje įrenginėjant grindis ir sienas, statant kabinas ir pertvaras. Taip pat, gali būti naudojama kaip konstrukcinis elementas dvitėjų sijų gamyboje, kurios montuojamos stogų perdangose ir sienų konstrukcijose. Medienos drožlių plokštė, kaip pagrindinė medžiaga, naudojama serijinėje baldų gamyboje.

Priklausomai nuo eksploataavimo sąlygų, MDP turi pasižymėti atitinkamomis savybėmis. Pagrindinės savybės, pagal kurias įvertinama plokštės paskirtis yra:

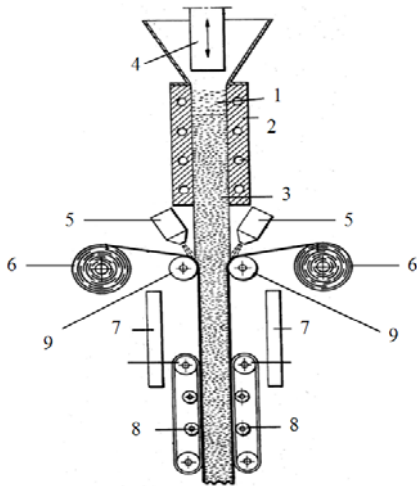
- Mechanninės savybės – tampros modulis (E) ir vidinės sanklijos stiprumas (VSS);
- Fizinės savybės – išbrinkimas.

Išvardintos plokštės savybės labiausiai priklauso nuo gamybos būdo, ją sudarančių smulkiųjų geometrijos, smulkiųjų orientacijos, plokštę sudarančių sluoksnių skaičiaus, naudojamų klijų rūšies ir kiekio, presavimo proceso parametrų.

1.3.1. Presavimo būdo įtaka plokštės savybėms

Anksčiau minėta, kad priklausomai nuo presavimo būdo skiriamos plokščiojo, cilindrinio ir ekstruzinio presavimo plokštės. Plokščiojo presavimo plokštėse presavimo jėga statmena plokštumos paviršiui, o smulkiniai išsidėstę lygiagrečiai šio paviršiaus atžvilgiu. Šio tipo plokštės pasižymi daug didesniu atsparumu statiniam lenkimui, nei ekstruziniu būdu pagamintos plokštės.

Ekstruziniu būdu pagamintuose kompozituose smulkiniai yra išsidėstę statmenai, plokštės plokštumos atžvilgiu, t.y. priešingai nei plokščiojo presavimo gaminiuose [14]. Dėl šios priežasties jų stiprumas statinių apkrovų poveikyje yra labai mažas. Siekiant padidinti stiprumą jos yra apdailinamos. Šio tipo plokštėse išbrinkis statmena presavimui kryptimi yra nežymus. Labai didelis matmenų pokytis, drėgmės poveikyje, nustatomas lygegrečiai presavimui kryptimi. Ekstruzinio presavimo proceso schema pateikta 1.3 paveiksle.



1.3 pav. Smulkinių plokštės gamyba ekstruziniu būdu: 1 – smulkiniai, 2 – kaitinimo elementai, 3 – supresuota plokštė, 4 – stūmoklis, 5 – klijų purkštuvai, 6 – apdailos medžiaga, 7 – šildytuvai, 8 – prispaudimo velenai

1.3.2. Smulkinių geometrijos įtaka plokštės savybėms

A. H. Juliana ir kt. moksliniame tiriamajame darbe, kuriame tirta kaučiukmedžio ir kenafu stiebų smulkinių formos įtaka plokštės savybėms teigiama, kad smulkinių geometrija, įskaitant formą ir dydį, yra vienas iš pagrindinių parametru, kuris įtakoja smulkinių plokštės savybes [9]. Smulkinių geometrija iš esmės įtakoja dalelių sanklijos kokybę, nuo kurios priklauso gaminamos plokštės stiprumas ir standumas.


















Teoriškai, tarp plonesnių ir ilgesnių dalelių susidaro didesni sąlyčio plotai, nei tarp storesnių ir trumpesnių dalelių.

Dalelės geometrija įvertinama pagal du pagrindinius parametrus – nuolaibį ir plokštumą sąlyčio santykį (plotį, ilgį ir storį). Nuolaibis nustatomas dalelės ilgį dalinant iš jos storio. Gersenė sanklija, dėl didesnio kontaktinio paviršiaus ploto, susidaro tarp plonų dalelių, nei tarp stambių. Plokštės gamyboje, kur naudojamos stambios dalelės, reikalingas didesnis klijų kiekis tinkamai adhezijai gauti.

Kitame moksliniame darbe [10] pateikta išvada, kad medienos drožlių plokštės, kurių vidiniai sluoksniai sudaryti iš didesnių, ilgesnių dalelių, pasižymi žymiai didesniu stiprumu lenkiant ir stipresne sanklija, nei plokštės, kurių vidiniai sluoksniai sudaryti iš mažų dalelių. Kitų tyrėjų darbuose taip pat pateikiama išvada, kad lenkiamosios plokštės savybės gerėja didėjant skiedrantų ilgiui. Taip yra todėl, kad dažnai drožlės gaunamos frezuojant medieną išilgai pluošto, o tyrimais įrodyta, kad medienos stiprumas išilgai pluošto žymiai didesnis, nei skersai pluošto.

Žemiau pateiktoje 1.1 lentelėje pavaizduotos iš kaučiukmedžio ir kenafų stiebų pagamintų smulkinių formos. Pagal geometrinę formą smulkiniai suskirstyti į 10 klasių. Įvertintas procentinis smulkinių pasiskirstymas pagal geometrinę formą, susmulkinus atitinkamą kiekį žaliavos.

1.1 lentelė. Kaučiukmedžio ir kenafų šerdis smulkinių formos

Medžiaga	Klasės										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Kaučiukmedis (%)	 23	 17	 15	 11	 13	 12	 9				
Kenafų šerdis (%)	 20	 19	 12	 9	 15	 4	 9	 2	 3	 7	

Iš lentelės matome, kad dauguma drožlių yra stačiakampio arba artimos stačiakampio formai (1, 2, 3, 4 ir 5 klasės). Plokštė pagaminta iš šių klasių smulkinių pasižymėtų geriausiomis savybėmis dėl didžiausio kontaktinio paviršiaus ploto. Kiek mažesnis kontaktinis paviršiaus plotas gaunamas tarp pusiau apvalios formos drožlių (9-10 klasės) ir mažiausiai kontaktuoja trikampio formos smulkiniai (6, 7, 8 klasės).

Medienos smulkinimo metu, peilio ašmenų gebėjimas įsiskverbti į medieną ir ją pjauti, labai priklauso nuo pjaustomos medienos tankio ir kietumo. Susmulkintų dalelių storį ir ilgį įtakoja šie parametrai: smulkinamos medienos padavimo ir pjovimo greitis, peilio ašmenų kampas, medienos drėgnis, darbinės aplinkos temperatūra.

Gaminant smulkinius reikia laikytis tam tikrų sąlygų, kad drožlės būtų pagamintos atitinkamo storio ir ilgio. Nuo šių parametrų priklauso ne tik plokštės savybės bet ir įrengimų apkrovimas.

Gaminamų drožlių forma ir dydis priklauso ir nuo naudojamos medienos rūšies. MDP gamybai daugiausiai naudojama spygliuočių mediena – 75 % , lapuočių – 15 %, perdirbtos medienos atliekos – 10 % [6]. Paveiksle 1.4 galima pamatyti kaip skiriasi skirtingų rūšių medienos smulkinių forma, kada drožlės išgaunamos esant toms pačioms darbinėms sąlygomis.



a

b

1.4 pav. Smulkiniai paimti iš 1,25 mm – 3,15 mm frakcijos skiedrantų, naudojamų smulkinių plokštės gamybai: a – buko, b - eglės

1.3.3. Naudojamų klijų įtaka medienos drožlių plokštės savybėms

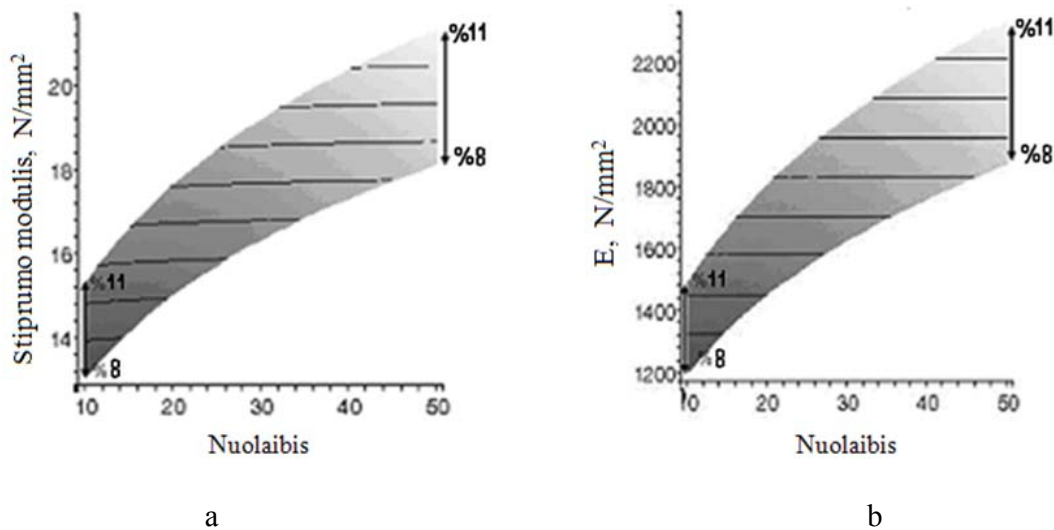
Pagrindinė medžiaga, iš kurios gaminama medienos drožlių plokštė, yra mediena. Nedidelę dalį, iš visų gamybai naudojamų medžiagų, sudaro cheminiai elementai (karbamido formaldehidas, parafinas, antiseptiniai priedai) ir vanduo. Vidiniuose plokštės sluoksniuose klijų kiekis sudaro 9 %, o išoriniuose 11 % bendrosios plokštės masės. Klijų kiekis labai įtakoja plokštės savybes, be to yra griežtai normuojamas dėl kenksmingo poveikio žmogaus sveikatai.

Karbamido-formaldehido (KF) dervos pasižymi mažu klampumu, yra naudojamos kaip (50 – 70) % vandens tirpalas [18]. Smulkiniai klijuojami esant atitinkamam karbamido (K) ir formaldehido

(F) molinės masės santykiui - 1:1,0 ir 1:1,3, ribojant formaldehido kiekį. Klėjai, naudojami su mažu formaldehido kiekiu, lemia plokštės tankio sumažėjimą ir dalelių sanklijos kokybės pablogėjimą.

Į rišamosios medžiagos sudėtį įeinantis amonio sulfatas ir karbamidas veikia kaip kietiklis, reikia atkreipti dėmesį, kad ir medienoje esančios rūgštys (pH) veikia klėjus kaip kietiklis. Paviršiniams plokštės sluoksniams naudojamuose klėjuose yra mažesnis kiekis (0,5 %), o vidiniuose didesnis (2,5 %) kiekis kietiklio. KF klėjais suklijuotos medienos drožlių plokštės daugiausiai naudojamos vidaus darbams arba baldų gamyboje.

Arabi M., Faezipour M. ir kt. tyrė smulkinių nuolaibio ir karbamido formaldehido įtaką smulkinių plokštės mechaninėms savybėms [2]. Tyrimo rezultatai rodo, kad didėjant dervų kiekiui plokštės mechaninės savybės gerėja (1.5 pav.). Nustatyta, kad dervų kiekiui didėjant nuo 8 % iki 11 %, plokštės, kurios pagamintos iš dalelių, kurių nuolaibis didesnis, pasižymėjo didesniu tampros ir stiprumo modulių pokyčiu, nei plokštės, kurios pagamintos iš smulkinių, kurių nuolaibis mažesnis. Iš to galima daryti išvadą, kad plokštės mechaninėms savybėms smulkinių geometrija turi didesnę įtaką, nei naudojamų rišančiųjų medžiagų kiekis.



1.5 pav. KF kiekio ir smulkinių nuolaibio įtaka smulkinių plokštės mechaninėms savybėms : a - stiprumo moduliui, b - tampros moduliui

Mediena yra hidrofilinė (linkusi sugerti vandenį) medžiaga, dėl celiuliozės molekulėse esančių hidroksilinių grupių (OH). Sugerdomos vandenį plokštės brinksta, kinta jos matmenys, o tai neigiamai įtakoja gaminių ir konstrukcijų kokybę. Kaip hidrofobinė medžiaga naudojama parafino emulsija, kurios sausųjų medžiagų kiekis sudaro apie 30 % viso plokštės klėjavimui naudojamų klijų sausųjų medžiagų kiekio.

Klijuojant drožles, geresnės kokybės adhezija gaunama naudojant melamino-formaldehido (MF) ir fenolio-formaldehido (FF) klijus. Naudojant šiuos klijus kompozitinės medžiagos pasižymi didesniu atsparumu vandeniui, nei plokštės, kurios pagamintos naudojant KF klijus. Melamino formaldehido dervų cheminė sudėtis yra panaši į KF dervų sudėtį, dėl to jos gali būti maišomos ir naudojamos kartu.

Melamino-karbamido-formaldehido ir fenolio turinčios (MKF) dervos, su (15 – 25) % kiekiu melamino ir 5 % fenolio, yra naudojamos medienos drožlių plokščių gamybai, kurios yra veikiamos itin didelio drėgmės lygio.

90 % medienos drožlių plokštės (pagal bendrąjį kiekį) sudaro mediena, kuri daro didelę įtaką plokštės savybėms. Cheminės medienos savybės, ekstraktinės medžiagos ir Ph daro didelę įtaką reakcijai tarp KF dervų ir medienos, dėl ko įtakojamos mechaninės plokštės savybės ir matmenų pokytis, veikiant drėgmei [15].

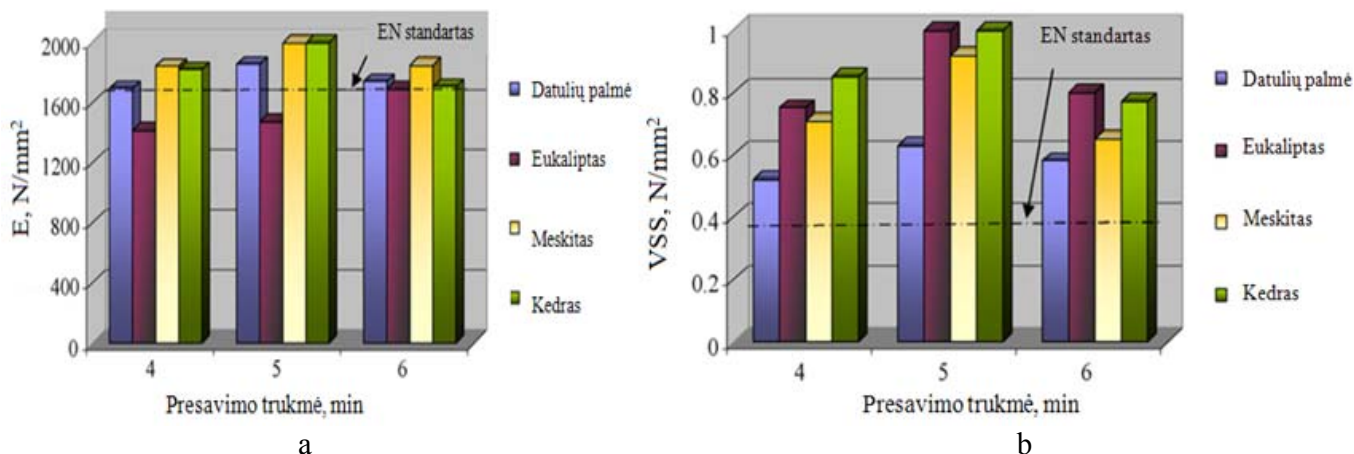
1.3.4. Presavimo parametrų įtaka plokštės savybėms

Nuo presavimo parametrų priklauso MDP tankis. Tankis - viena iš svarbiausių savybių, įtakojančių plokštės mechanines savybes ir matmenų stabilumą. Presavimo procesas turi būti atliekamas pagal nustatytą technologiją, kad būtų pagamintos numatytos paskirties ir savybių plokštės.

Presavimo ciklo metu svarbiausi parametrai yra presavimo temperatūra, presavimo slėgis, preso užsidarymo greitis ir ciklo trukmė. Jei naudojamų klijų rūšis, kiekis ir aplinkos parametrai yra pastovūs, kintant išvardintiems presavimo parametrams, pagaminama skirtingų savybių plokštė. Sekančiai aprašomi parametrai, pagal kuriuos gaunama atitinkamo tankio smulkinių plokštė.

Gaminant pagal technologiją suformuotas plokštės kilimas papresuojamas 30 kg/m² slėgiu šaltajame prese. Šios operacijos metu kilimo aukštis sumažinamas maždaug iki 2,5 cm aukščio ir padidinamas jo tankis (po galutinio presavimo kilimo aukštis gali sumažėti iki 20 kartų). Toliau papresuotasis kilimas transportuojamas į karštąjį presą. Klijais padengtų smulkinių kilimas presuojamas 160⁰ C temperatūroje esant 30 kg/m² slėgiui, preso presavimo greitis 4,5 mm/s, presavimo ciklo trukmė 5 min. Esant tokiems parametrams pagaminama 0,75 g/cm³ tankio plokštė.

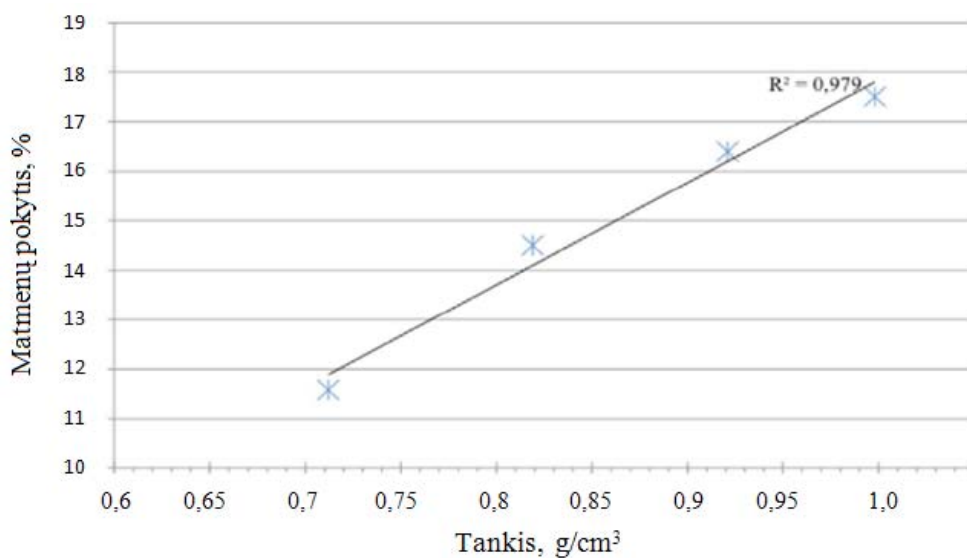
Ashori A., Nourbakhsh A. ir kt. tyrė presavimo ciklo trukmės ir naudojamų dervų kiekio įtaką plokščių, kurios pagamintos iš skirtingos rūšies medienos, mechaninėms ir fizikinėms savybėms [3]. Tyrimo rezultatai rodo, kad presavimo ciklo trukmė atitinkamai įtakoja kompozitinės medžiagos vidinės sanklijos stiprumą ir tampros modulį (1.6 pav.).



1.6 pav. Presavimo ciklo trukmės įtaka smulkinių plokštės mechaninėms savybėms, kurioje KF kiekis 11% : a - tampros moduliui, b - vidinės sanklijos stiprumui

Iš grafikų matome, kad stipriusia sanklija tarp smulkinių gaunama, kada presavimo ciklo trukmė 5 min. Šiuo atveju tokie presavimo parametrai tinkamiausi polimerizacijos reakcijai tarp klijus sudarančių komponentų. Esant stipresnei sanklijai nustatomas ir didesnis tampros modulis.

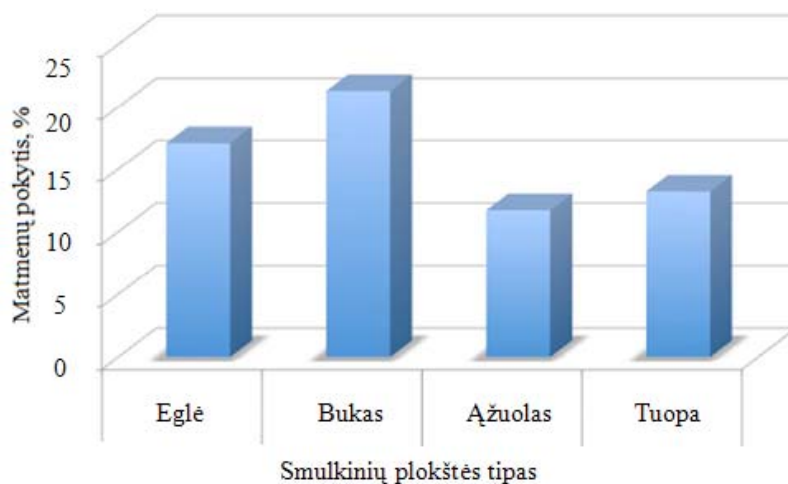
Iš kitų informacijos šaltinių žinoma, kad didėjant smulkinių plokštės tankiui, didėja ir matmenų pokytis drėgmės poveikyje [12]. Išbrinkio priklausomybė nuo tankio pavaizduota 1.7 paveiksle.



1.7 pav. Išbrinkio po 24 h mirkymo, priklausomybė nuo smulkinių plokštės tankio

Santykis tarp smulkinių plokštės tankio ir išbrinkio priklauso nuo smulkinių sutankinimo laipsnio ir presavimo metu susidariusių įtempių. Presavimo metu smulkiniai sugniuždomi ir suspaudžiami. Kuo stipriau dalelės supresuojamos ir deformuojamos, tuo didesnę potencialą jos turi pradinės formos atstatymui, todėl susidaro didesnis išbrinkis.

Matmenų stabilumas priklauso ir nuo plokštės gamybai naudojamos medienos rūšies (1.8 pav.). Skirtingų rūšių mediena pasižymi skirtinga anatomine struktūra ir chemine sudėtimi, skiriasi jų atsparumas presavimui ir mechaniniam apdirbimui.



1.8 pav. Trijų sluoksnių smulkinių plokštės išbrinkimo, po 24 h mirkymo, priklausomybė nuo medienos rūšies

1.4. Mechaninių savybių įvertinimo būdai

Mediena ir jos kompozitinės medžiagos turi atitikti joms keliamus reikalavimus. Įvertinus produkto atitikimo laipsnį jam keliamiems reikalavimas jis yra priskiriamas tam tikrai klasei. Pvz. atlikus standartizuotus tyrimus (EN 312:2003) skiriami 7 plokščiojo presavimo medienos drožlių plokščių tipai [11]:

- P1 – bendrosios paskirties – sausai aplinkai;
- P2 – bendrosios paskirties – vidinei įrangai (baldams) sausoje aplinkoje;
- P3 – apkrovų neveikiami – drėgnai aplinkai;
- P4 – apkrovų veikiami – sausai aplinkai;
- P5 – apkrovų veikiami – drėgnai aplinkai;
- P6 – didelių apkrovų veikiami – sausai aplinkai;
- P7 – didelių apkrovų veikiami – drėgnai aplinkai.

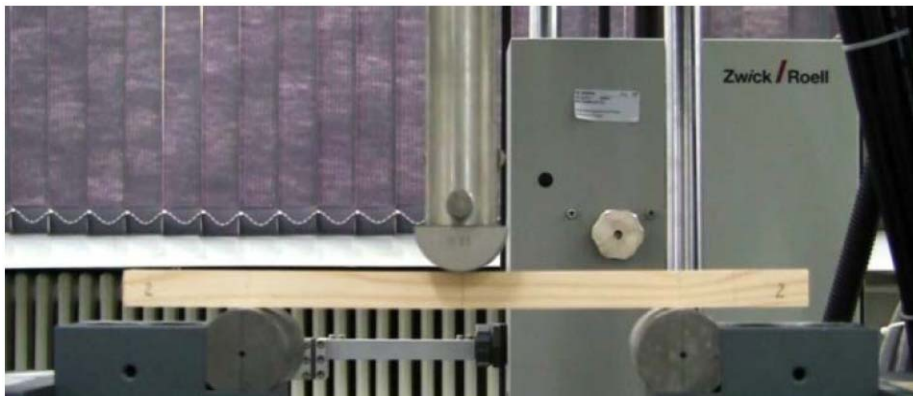
Tyrimų metu yra įvertinamos medžiagos mechaninės ir fizikinės savybės. Kadangi šiame moksliniame darbe tiriamos MDP mechaninės savybės plačiau analizuojami mechaninių savybių nustatymo metodai.

Vienas iš svarbiausių parametrų, apibūdinančių medžiagos mechanines savybes, yra tampros modulis, kuris koreliuoja su stiprumu. Tampros modulis yra įvertinamas statiniais ir dinaminiais tyrimo metodais.

1.4.1. Statiniai mechaninių savybių įvertinimo metodai

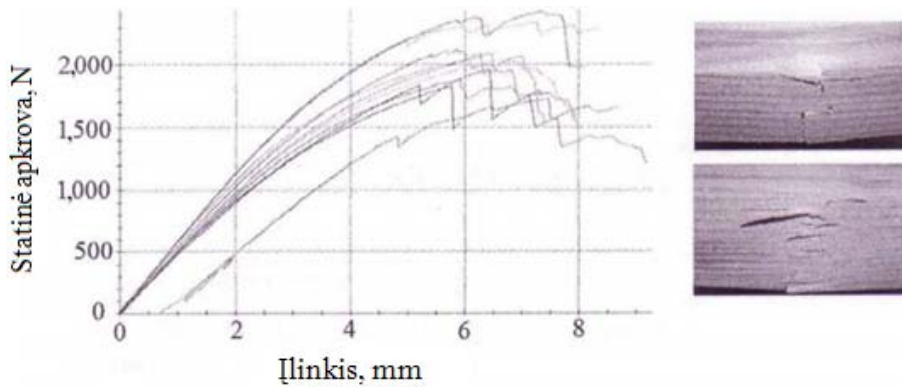
Statinių tyrimų metu bandiniai apkraunami statinėmis jėgomis imituojant konstrukcijose susidarancias apkrovas. Dažniausiai taikomi statiniai tyrimo metodai yra trijų ir keturių taškų atsparumo lenkimui tyrimo metodai, kurių metu bandiniai sulaužomi.

Atliekant trijų taškų lenkiamąjį bandymą, bandinys yra dedamas ant dviejų atramų ir per vidurį veikiamas atitinkama statine jėga (1.9 pav.). Bandymai atliekami pagal standartizuotą metodiką, kurioje reglamentuojami atstumai tarp atramų, bandinio matmenys, apkrovos greitis ir dydis.



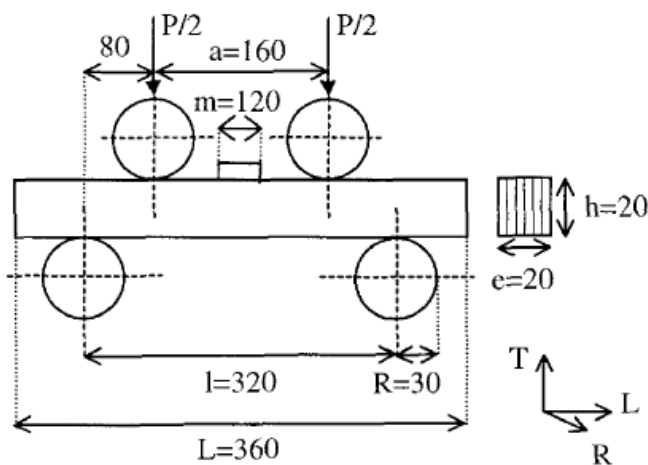
1.9 pav. Trijų taškų eglės medienos statinio lenkimo testas

Standartizuotame tyrime (SRISO3133: 2008 ir ASTM 04.10 Wood D143-09) įvertintos medienos mechaninės savybės, kurio metu naudota 10 eglės medienos bandinių kurių, skerspjūvio matmenys buvo 20×20 mm, o ilgis 380 mm [8]. Bandiniai dedami ant atramų, tarp kurių yra 240 mm atstumas (L). Apkrova sudaroma atstumo L viduryje. Tyrimo metu bandinys veikiamas nepertraukiamai didėjančia apkrova 0,85 MPa/s greičiu, kol yra sulaužomas (1.10 pav.). Nustačius apkrovos dydį, kuriam esant bandinys suiro, nustatomi atitinkami bandinio savybes apibūdinantys parametrai (tampros modulis).



1.10 pav. Medienos įlinkio priklausomybė nuo sudaromos apkrovos statinio bandymo metu

Keturių taškų statinio bandymo metu bandinys dedamas ant dviejų atramų, o apkrova perduodama per du elementus (1.11 pav.). Kitų mokslininkų teigimu, rezultatai, nustatyti, naudojant trijų taškų metodą negali būti tiesiogiai lyginami su rezultatais, kurie gauti keturių taškų statiniu metodu [4]. Naudojant keturių taškų lenkimo bandymą nustatomas tikslesnis tampros modulis, nei naudojant trijų taškų lenkimo bandymą.



1.11 pav. Keturių taškų statinis lenkimo bandymas pagal prancūzų standartą (NF B 51-008 and NF B 51-016) (1987).

Dar vienas parametras, apibudinantis smulkinių plokštės mechanines savybes, yra vidinių sluoksnių sanklijos stiprumas [7]. Sanklijos stiprumo nustatymas atliekamas siekiant įvertinti plokštės vidinių sluoksnių sanklijos kokybę (1.12 pav.). Tyrimo metodika yra standartizuota. Pagal EN-DIN 68754 standartą, 50×50 mm bandinys yra priklijuojamas prie bandymo įrangoje sumontuotų metalinių plokštelių.

Bandymo metu plokštelės plečiasi. Statmenai bandinio paviršiui sudaroma tempiamoji jėga iki to momento, kol jis suyra. Nustačius apkrovos dydį, kuriai esant suardomas plokštės vientisumas, taikant atitinkamą formulę, apskaičiuojama vidinės sanklijos vertė:

$$VSS = P_s / S \quad (1.4)$$

čia VSS - vidinės sanklijos stiprumas, P_s – apkrova, kuriai esant bandinys suyra, S – bandinio paviršiaus plotas.



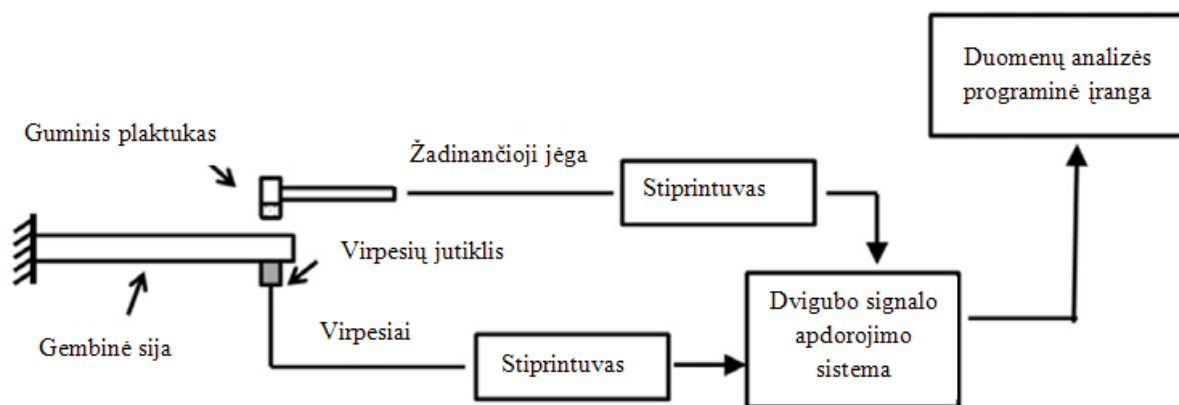
1.12 pav. Smulkinių plokštės sanklijos stiprumo nustatymas

1.4.2. Dinaminiai tyrimo metodai

Dinaminiai tyrimo metodai, kaip ir statiniai, naudojami mechaninių ir fizikinių savybių nustatymui. Šių tyrimų metu bandiniai yra priverčiami virpėti, o analizuojant jų virpesius įvertinamos mechaninės savybės. Reikiamų parametrų įvertinimui tiriami laisvieji arba priverstiniai bandinio virpesiai.

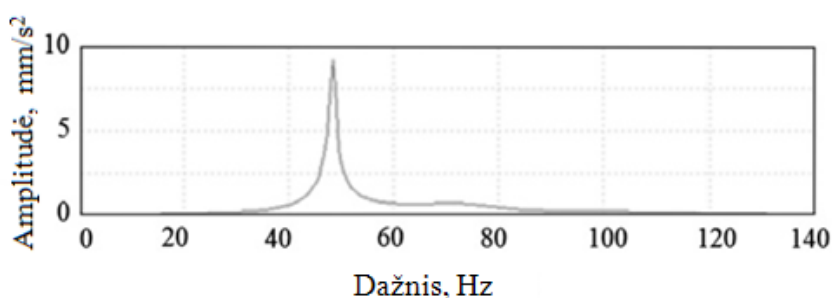
Dinaminiai tyrimo metodai pasižymi šiais privalumais, lyginant su statiniais tyrimo metodais – nesulaužomi bandiniai, greičiau atliekami ir pigesni, nereikia specialios formos ir atitinkamo matmens bandinių, galima nustatyti didesnę kiekį defektų [17]. Virpesių tyrimo metodai taikomi medienos medžiagų rūšiavime ir jų kokybės kontrolei.

Wang Z., Li L. ir kt. atliko tyrimą, kurio metu, dinaminio tyrimo metodu, nustatinėjo kompozitinių medžiagų tampros modulį ir slopinimo koeficientą [19]. Bandymams naudota įranga suprojektuota taip, kad tyrimo metu bandinys vienu galu būtų įtvirtintas, o antrasis laisvas (1.13 pav.).



1.13 pav. Dinaminio geminės sijos tyrimo metodo schema

Virpesiai bandinyje sužadinami guminiu plaktuku smūgiuojant per laisvąjį galą. Pastarieji užfiksuojami bandinio laisvojo galo apačioje sumontuotu lazeriniu jutikliu, kuris virpesius paverčia į elektrinį signalą. Signalai siunčiami į kompiuterį, kuriame yra apdorojami ir ekrane matome tiriamuosius parametrus - virpesių dažnį ir amplitudę (1.14 pav.).



1.14 pav. Pirmojo rezoansinio dažnio grafikas tiriant OSB bandinius

Nustačius reikalingus parametrus, skaičiuojamas dinaminis tampros modulis (E_d), slopinimo koeficientas (ζ) ir statinis tampros modulis (E_s)

E_d skaičiuojamas pagal tokią formulę [19]:

$$E_d = 16\pi^2 [M + (33/140)m] l^3 f_1^2 / bh^3 \quad (1.1)$$

Čia M – masė (g), l – bandinio ilgis (mm), f_1 – pirmasis rezonansinis dažnis iš viso nustatytojo spektro (Hz) 1.14 pav., b – bandinio plotis (mm), h – bandinio aukštis (mm).

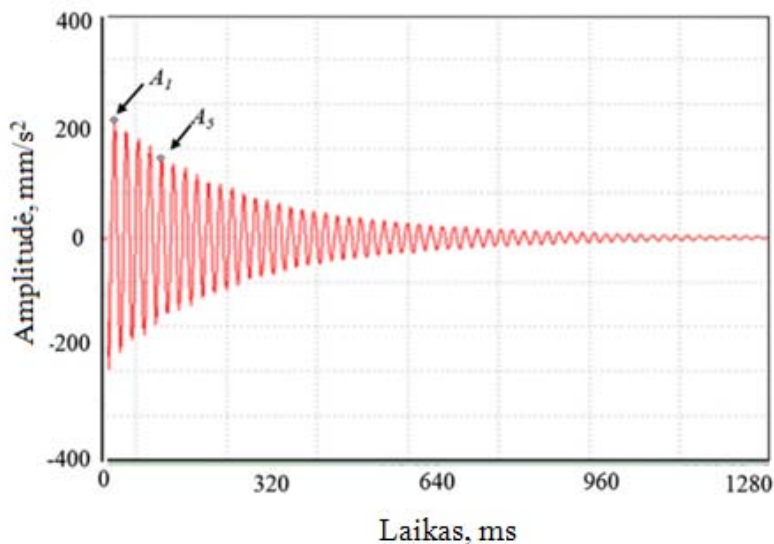
ζ nustatomas taikant logaritminio parametų mažėjimo analizės metodą. Taikant šią formulę šlyties ir sukamojo judesio jėgos neįvertinamos :

$$\zeta = \ln(A_1 / A_5) / 10\pi \quad (1.2)$$

čia A_1 ir A_5 – pirmoji ir penktoji virpesių amplitudės vertė (mm/s^2), (1.15 pav.), E_s – statinis tampros modulis (MPa). E_s nustatomas taikant kitus tyrimo metodus, kurie aprašyti anksčiau.

$$E_s = (\Delta P / \Delta \delta) \times (4l^3 / bh^3) \quad (1.3)$$

čia $\Delta P / \Delta \delta$ – santykis tarp statinės apkrovos poveikyje susidarančio įlinkio ir tampriųjų savybių, atitinkamoje zonoje, kuris nustatomas pagal tiesinės regresijos metodą.

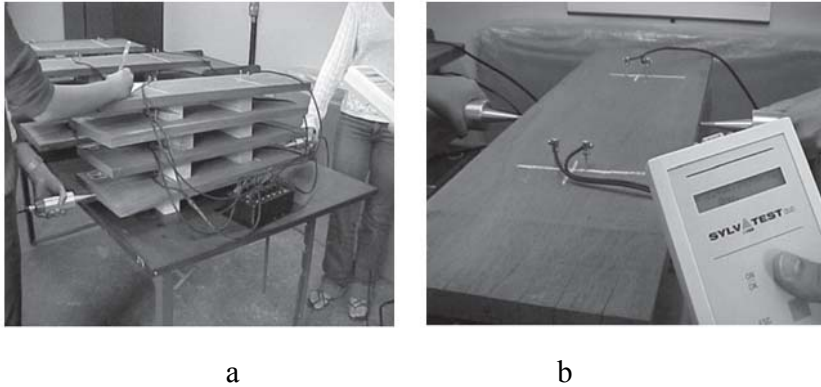


1.15 pav. Virpesių amplitudės mažėjimas (slopinimas) tiriant OSB bandinį dinaminio tyrimo metodu

Mechaninės medžiagų savybės gali būti nustatomos nedestrukciniu – ultragarso bangų tyrimo metodu. Ultragarso bangos jautriai reaguoja į medžiagos struktūrinius pokyčius ir ši savybė yra panaudojama kaip medžiagos savybių ir kokybės nustatymo rodiklis.

Straipsnyje [13] teigiama, kad ultragarso bangų sklidimas medienoje labiausiai priklauso nuo mechaninių ląstelės sienelių savybių. Ląstelių sienelių tankis yra gana pastovus dydis, o tampros modulis kinta dėl ląstelių sienelių struktūros kaitos. Tampros modulis priklauso nuo bandinių veikiančių bangų rūšies ir jų ilgio, bei tiriamo objekto skerspjūvio ploto.

Tyrimo metu sudaromas garso impulsas. Virpesių sklidimo greitis nustatomas matuojant bandinio ilgį ir ultragarso bangos sklidimo laiką, matuojama statmenai ir išilgai pluoštui (1.16 pav.). Išilginių ultragarso bangų impulsai sukuriama naudojant Sylvatest (Concept Bois) ultragarso įrangą, kuri veikia ne mažesniu kaip 22 kHz dažniu.



1.16pav. Ultragarso bangų matavimai bandinyje: a - lygiagrečiai pluoštui, b - statmenai pluoštui

Ultragarsiniu tyrimo metodu ištyrus Brazilijos kietmedžio medieną nustatyta, kad esant tam pačiam drėgniui, išilgai pluošto vidutinis ultragarso bangų sklidimo greitis yra 4637 m/s, o statmenai pluoštui 1183 m/s. Esant didesniai bangų sklidimo greičiui, atitinkamai nustatomas didesnis tampros modulis. Medienos drėgniui ir temperatūrai didėjant, garso sklidimo greitis mažėja, lygiai taip pat įtakojamas ir tampros modulis.

Atlikus informacijos šaltinių apžvalgą išsiaiškinta, kad MDP plokštės dažniausiai naudojamos karkasinėse konstrukcijose ir baldų gamyboje, kur yra veikiamos statinių, dinaminių apkrovų ir drėgmės. Dėl šių priežasčių reikalinga nuodugniai ištirti mechanines plokščių savybes, kad būtų tinkamai išnaudojamos konstrukcijose.

Išanalizavus MDP gamybos technologiją ir įvairių veiksnių įtaką jos savybėms nustatyta, kad šio produkto tampros modulis priklauso nuo tankio ir naudojamų klijų rūšies, bei vidinės sanklijos stiprumo. Išvardintus parametrus įtakoja smulkinių geometrija, plokštės kilimo formavimo principas, presavimo proceso parametrai, aplinkos parametrai ir gamybai naudojamos medienos rūšis.

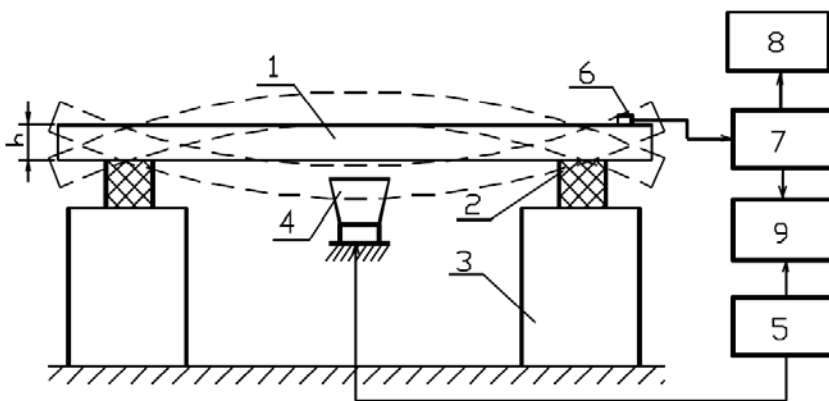
MDP vienas iš svarbiausių trūkumų, tai hidrofiliškumas. Drėgmės poveikyje ji keičia savo matmenis, dėl ko neigiamai įtakojamos konstrukcijos ir produktų kokybė. Medienos kompozitinių medžiagų mechaninės savybės yra įvertinamos statiniais ir dinaminiais tyrimo metodais. Dėl praktiškai įrodytų privalumų MDP savybių įvertinimui labiausiai tinka dinaminis, rezonansinių virpesių tyrimo metodas [17].

2. MEDIENOS DROŽLIŲ PLOKŠTĖS SAVYBIŲ ĮVERTINIMO ĮRANGA IR METODIKA

Palengvintos MDP mechaninės savybės tirtos dinaminio nedestrukcinio rezonansiniu skersinių virpesių tyrimo metodu, taikant originalią metodiką ir įrangą [1]. Tyrimo metu naudojamas specialus stendas. Neapdailintos ir apdailintos MDP mechaninės savybės įvertintos pagal tampros modulį - E ir slopinimo koeficientą - $tg\delta$.

2.1. Tyrimams naudojama įranga

Naudojamos įrangos principinė schema pateikta paveiksle 2.1. MDP bandinys 1 dedamas ant keturių elastingų elementų (porolono) 2. Elastingi elementai pritvirtinti prie masyvių atramų 3. Bandinio apačioje, tarp atramų sumontuotas akustinis vibratorius 4, kuris skleidžia bangas ir virpina plokštę. Garsiakalbis sujungtas su elektrinių signalų generatoriumi 5, kurį reguliuojant, garsiakalbis skleidžia skirtingo dažnio virpesius (20-2000 Hz) ir sužadina bandinio rezonansinius virpesius. Virpesius fiksuoja ant bandinio 1 pritvirtintas jutiklis 6, kuris užfiksuotą signalą siunčia į virpesių amplitudės dydžio nustatymo prietaisą 7 ir oscilografą 8, kuriame matome virpesių formos padidėjimą ir sumažėjimą. Bandinio išlinkimo kryptis nustatoma fazometru 9, matuojant virpesių fazę. Fazometrui 9 signalai siunčiami iš amplitudės dydžio matavimo prietaiso 7 ir generatoriaus 5.



2.1 pav. MDP tyrimo įrangos principinė schema: 1 – bandinys, 2 – tamprieji elementai, 3 – masyvios kolonos, 4 – akustinis vibratorius, 5 – signalų generatorius, 6 – jutiklis, 7 – amplitudės dydžio matavimo prietaisas, 8 – oscilografas, 9 – fazometras.

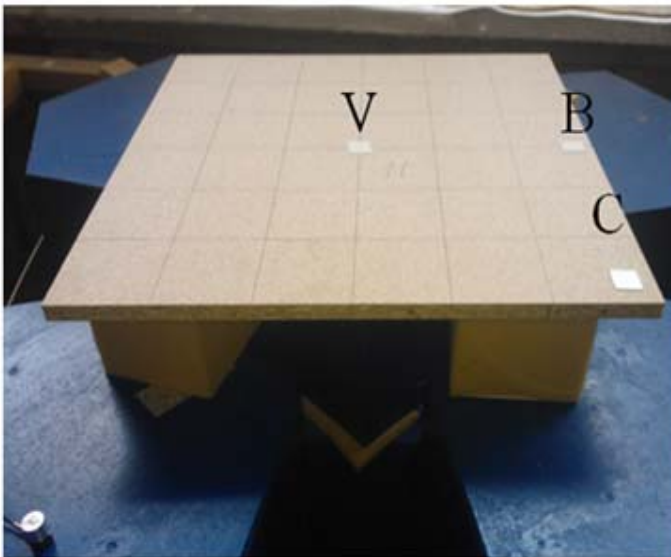
2.2. Medienos drožlių plokštės tyrimo metodika

Tyrimams naudojama palengvinta E1/3 A klasės MDP, kuri dėl savo savybių tinkama vidaus paskirties darbams (įskaitant baldų gamybą). Pagal EN 323 standartą šios plokštės tankis yra 580 kg/m^3 . Buvo išpajautas 21 bandinys, kurių matmenys $500 \times 500 \times 15 \text{ mm}$. Prieš tyrimus bandiniai tris savaites išlaikyti laboratorijos sąlygomis esant vidutinei 18° C temperatūrai ir 60 % santykiniam oro drėgnumui.

2.2.1. Rezonansinių dažnių nustatymas

Tyrimo metu bandinys dedamas ant keturių tampriųjų elementų, todėl galima sakyti, kad jis yra nagrinėjamas kaip laisvas, neįtvirtintas kūnas [16].

Trijuose bandinio taškuose V, B, C (2.2 pav.) tvirtinamas jutiklis, o generatoriumi, keičiant dažnį nuo 20 Hz iki 2000 Hz, nustatyti rezonansiniai dažniai ir virpesių amplitudės.



2.2 pav. Charakteringi plokštės taškai V, B, C, kuriuose nustatinėjami rezonansiniai dažniai ir virpesių amplitudės

MDP pasižymi tam tikru savųjų dažnių skaičiumi, kada, garsiakalbio skleidžiamas, žadinančiosios jėgos dažnis sutampa su šiuo dažniu įvyksta rezonansas. Tada fiksuojamas rezonansinis dažnis ir virpesių amplitudė. Įvykus rezonansui padidėja virpesių amplitudė, o bandinys išlinksta tam tikra forma.

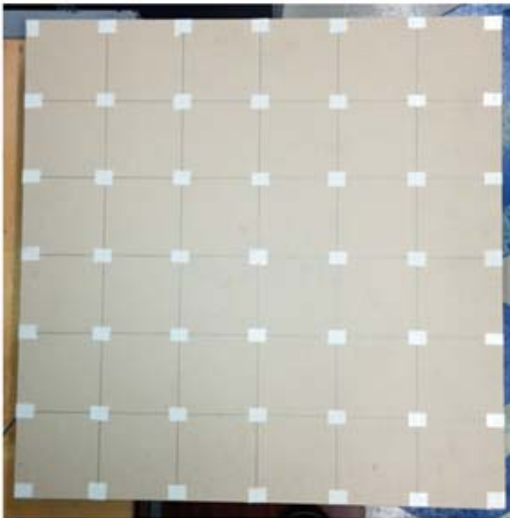
2.2.2. Amplitudinės dažninės charakteristikos nustatymas

Pagal nustatytųjų rezonansinių dažnių ir virpesių amplitudžių vertes sudaromi amplitudinių- dažniųjų charakteristikų grafikai. Tam, kad būtų galima įvertinti MDP amplitudines - dažnines charakteristikas, kiekviename bandinyje nustatomas egzistuojančių rezonansinių dažnių skaičius ir vidutinės amplitudės dydis 200 Hz diapazone.

Dėl medienos drožlių plokštės anizotropijos, trijuose taškuose V, B, C nustatytosios rezonansinių dažnių vertės skiriasi. Dėl šios priežasties apskaičiuojama vidutinė jų vertė, kuri naudojama modų nustatymui.

2.2.3. Bandinių modų nustatymas

Nustačius MDP bandinių amplitudines – dažnines charakteristikas, sekančiai nustatinėjamos bandinių linkimo formos – modos. Visų pirma bandiniai atitinkamais atstumais pažymėti, taip juos suskirstant į 49 zonas (2.3 pav.) Tokiu atveju plokštės nagrinėjamos, kaip virpanti sistema su paskirstytais parametrais, o kiekvienoje zonoje nustatomos skirtingos tampriai plastiškosios savybės [1].



2.3 pav. Charakteringi plokštės taškai, kuriuose nustatinėjama virpesių amplitudė - A , m/s^2

Modų nustatymo atveju įranga sureguliuojama taip, kad bandinys būtų virpinamas pastoviu dažniu, o charakteringuose bandinio taškuose (2.3 pav.), perkeltant jutiklį, išmatuojamos virpesių amplitudės vertės. Pagal užfiksuotas amplitudžių vertes braižomi modų grafikai.

Virpėdami bandiniai išlinksta įvairiomis modomis. Daugelis jų yra sudėtingos, tačiau užfiksuotos ir tokios modos, kurios yra artimos teorinio izotropinio strypo modoms. Užfiksuotus pastarųjų dažnius galima, taikant teorinio izotropinio strypo teoriją, apskaičiuoti plokštės tampros modulį.

2.2.4. Tampros modulio ir slopinimo koeficiento skaičiavimas

Nustačius modas, kurios yra artimos teorinio izotropinio strypo modai ir išreikštos dviem, viena kitai statmenomis kryptimis ir žinant pastarųjų dažnius, bei plokštės geometrinius parametrus, apskaičiuojami plokštės mechanines savybes apibūdinantys parametrai [5]:

$$E_1 = \frac{4f_{str}^2 \pi^2 l^4 \rho s}{A^2 I} ; \quad (2.1)$$

$$E_2 = \frac{4f_{str}^2 \pi^2 l^4 \rho s}{A^2 I} ; \quad (2.2)$$

čia E_1 – tampros modulius, nustatomas skersine plokštės kilimo formavimo kryptimi, E_2 – tampros modulius, nustatomas išilgine plokštės kilimo formavimo kryptimi, f – rezonansinis dažnis, l – bandinio ilgis, ρ – medžiagos tankis, s – bandinio skerspjūvio plotas, A – koeficientas, priklausantis nuo bandinio tvirtinimo būdo ir išlinkimo formos, I – skerspjūvio inercijos momentas.

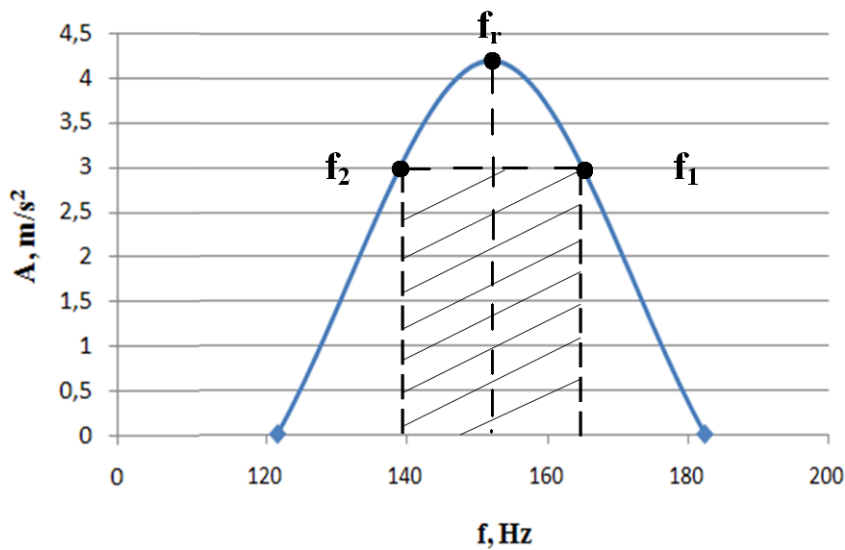
Slopinimo koeficiento skaičiavimui naudojami tie patys rezonansiniai dažniai. Slopinimo koeficientas nustatytas trijuose charakteringuose bandinio taškuose V, B, C.

Visų pirma, užfiksuojamas rezonansinis dažnis f_r ir šio dažnio virpesių amplitudė A . Derinant genertorių nustatomi du dažniai f_1 ir f_2 , kurių amplitudė sumažėja $\sqrt{2}$ karto (2.4 pav.).

Nustačius f_1 ir f_2 , slopinimo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę [1]:

$$\operatorname{tg} \delta \approx \eta = \frac{f_2 - f_1}{f_r} ; \quad (2.3)$$

čia $\operatorname{tg} \delta$ – nuostolių kampo tangentas, η – slopinimo koeficientas, f_r – rezonansinis dažnis, f_2 ir f_1 – nustatytieji dažniai.



2.4 pav. Amplitudinė – dažninė charakteristika, nustatinėjant slopinimo koeficientą : f_r – rezonansinis dažnis, f_1 ir f_2 – dažniai, kuriais virpant rezonansinė amplitudė sumažėja $\sqrt{2}$ karto

Visų pirma, E ir $\text{tg}\delta$ nustatomi visuose neapdailintuose bandiniuose. Po apdailinimo E ir $\text{tg}\delta$ apskaičiuojami analogiška tvarka. Tokiu būdu įvertinama faneravimo įtaka MDP mechaninėms savybėms.

Kitų autorių darbe nustatyta, kad neapdailintos, 16 mm storio MDP tampros modulis yra apie 2700 - 3500 MPa. Po apdailinimo, įvertinus E vertes priimta, kad bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti lukštu nustatomas 3230 – 5510 MPa tampros modulis, o bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti melamino popieriumi, E nustatomas 3540 – 4755 MPa ribose [17]. Nustačius palengvintos MDP tampros modulio vertes atsižvelgta į šio darbo rezultatus.

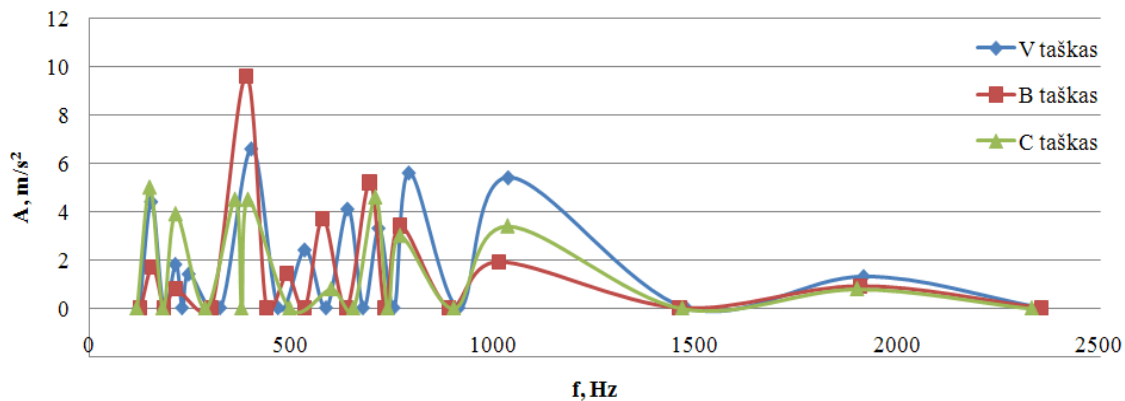
Bandiniai bus apdailinami ąžuolo medienos lukštu ir kompensaciniu popieriumi. Priklausomai nuo apdailinimo būdo bandiniai suskirstyti į tipus : S – neapdailinti bandiniai, N – iš abiejų pusių kompensaciniu popieriumi apdailinti bandiniai, L – iš vienos pusės lukštu ir iš antrosios kompensaciniu popieriumi apdailinti bandiniai, M – iš abiejų pusių lukštu apdailinti bandiniai.

3. TYRIMŲ REZULTATAI

3.1. Neapdailintų bandinių tyrimas

3.1.1. Neapdailintų bandinių amplitudinės – dažninės charakteristikos

Nefaneruotų bandinių amplitudinės dažninės charakteristikos nustatytos 20-2000 Hz diapazone, trijuose charakteringuose taškuose V,B,C (3.1 pav.).



3.1 pav. Neapdailinto MDP bandinio amplitudinė – dažninė charakteristika 20-2000 Hz dažnių diapazone: V,B,C – virpesių matavimo taškai bandinyje

Ištyrus visus neapdailintus bandinius atlikta amplitudinės – dažninės charakteristikos analizė, kurios metu nustatytas kiekvieno bandinio rezonansinių dažnių skaičius ir vidutinės amplitudės dydis 200 Hz diapazone. Neapdailinto bandinio vidutinių rezonansinių dažnių vertės pateiktos 3.1 lentelėje. Visų neapdailintų bandinių vidutinių rezonansinių dažnių vertės pateiktos priede P.1.1.

3.1 lentelė. Neapdailinto bandinio vidutinių rezonansinių dažnių vertės

Dažniųskaičius	f , Hz V,B,C taškuose			f_{vid} , Hz
1	130	129	128	129
2	144	144		144
3	262	261	241	255
4	274			274
5	292	280	300	291
6	328	355	346	343
7	388	386	375	383
8	469			469
9	577			577
10	649	692		671
11	751	744	746	747
12	996	950	986	977

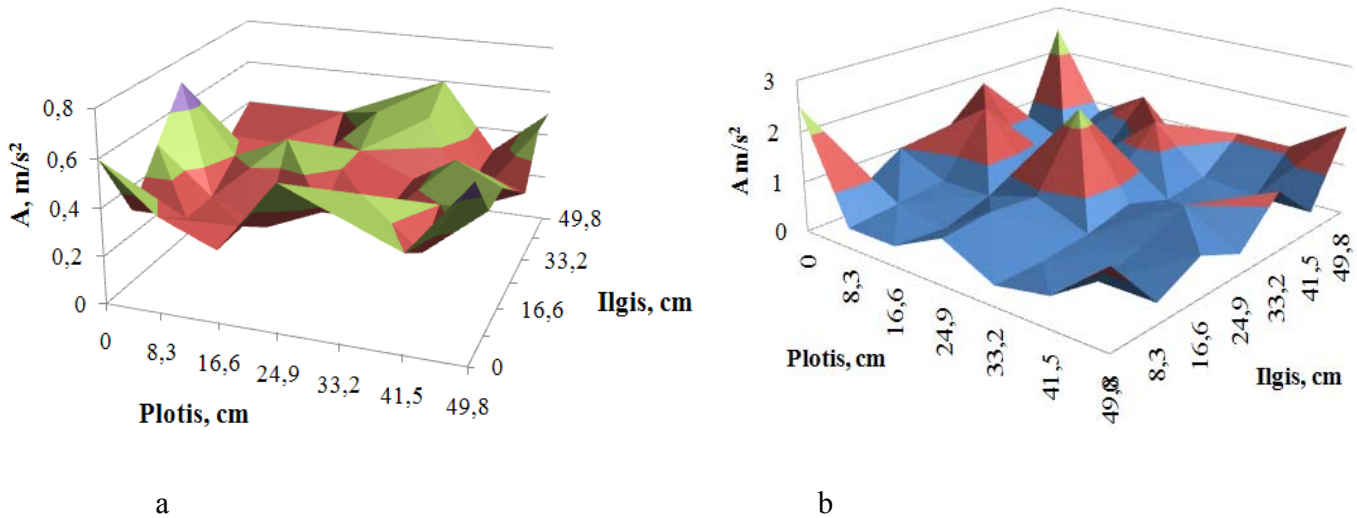
Išanalizavus tyrimo duomenis nustatyta, kad virpinant 20 – 2000 Hz diapazone neapdailintuose bandiniuose užfiksuojama 11 – 15 rezonansinių dažnių, prie kurių sortimentai išlinksta įvairiomis modomis.

Iš grafiko (3.1 pav.) matome, kad prie to paties dažnio, skirtingose zonose (V,B,C taškai), bandinys virpa nevienoda amplitude. Taip nutinka dėl to, kad skirtingose bandinio zonose pasireiškia skirtingos mechaninės savybės.

Nustačius vidutinės amplitudės dydį 200 Hz diapazone priimta, kad daugiausiai rezonansinių dažnių nustatoma iki 1200 Hz. Visų bandinių vidutinės amplitudės vertės 200 Hz diapazone pateiktos priede P.1.3.20 – 1200 Hz diapazone plokštės virpa didžiausia amplitude. Tai akivaizdžiai matosi aukščiau pateiktame grafike (3.1 pav.). Nustačius plokštės rezonansinius dažnius, toliau nustatinėjamos bandinių modos.

3.1.2. Neapdailintų bandinių modų nustatymas

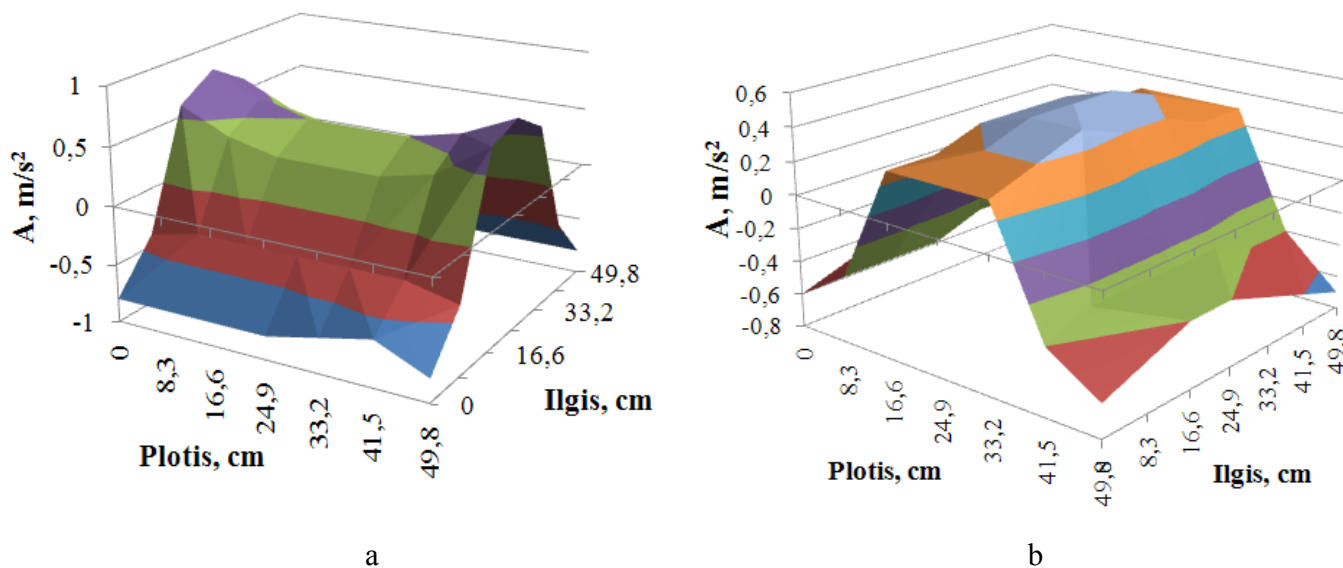
Bandinio 49 taškuose, matuojamas virpesių amplitudės dydis esant tam pačiam rezonansiniam dažniui. Pagal užfiksuotas amplitudžių vertes nubraižytos modos. Tyrimo metu dažniausiai nustatytos sudėtingos modos, jos pateiktos 3.2 paveiksle. Daugiau neapdailintų bandinių modų pateikta priede P.1.2.



3.2 pav. Neapdailintų bandinių sudėtingos modos: a – esant 384 Hz dažniui, b – esant 1037 Hz dažniui.

Kai kurios modos buvo artimos izotropinio teorinio strypo modoms (3.3 pav.), todėl tampro modulių skaičiavimui galima taikyti izotropinio strypo teoriją.

Įvertinus visų neapdailintų bandinių modas, apibendrintai galima pasakyti, kad pirmasis rezonansinis dažnis kito 127 - 135 Hz ribose. Esant šioms dažniams, bandiniai išlinksta pirmąja kryptimi. Antrasis rezonansinis dažnis kito 143 – 150 Hz ribose. Esant šioms dažniams, bandiniai išlinksta antrąja kryptimi. Pagal šiuos dažnius skaičiuojamas MDP tampros modulis.



3.3 pav. Neapdailinto bandinio modos: a – linksta pirmąja kryptimi, esant 129 Hz dažniui, b – linksta antrąja kryptimi, esant 144 Hz dažniui

3.1.3. Neapdailintų bandinių tampros modulio ir slopinimo koeficiento nustatymas

Pagal nefaneruotų bandinių modų dažnius, kuriems esant bandiniai išlinksta kaip strypo formos kūnas, skaičiuojamas palengvintos MDP tampros modulis ir nustatomas slopinimo koeficientas. Tampros modulis skaičiuojamas naudojant 2.1 formulę. 3.2 lentelėje pateikiami tampros modulio skaičiavimų rezultatai tų bandinių, kuriuose nustatytos modos yra artimiausios teorinio, izotropinio strypo modoms. Visų neapdailintų bandinių tampros modulio vertės pateiktos priede P.1.4.

Prieš tampros modulio skaičiavimus nustatomi bandinių geometriniai parametrai, apskaičiuojamas tankis ir skerspjūvio inercijos momentas. Bandinių matmenys išmatuojami 0,05 mm tikslumu naudojant slankmatį. Ilgis, plotis ir storis matuoti trijose bandinio vietose, skaičiavimuose naudojamos vidutinės matavimų reikšmės. Bandiniai pasverti laboratorijoje esančiomis svarstyklėmis, šimtosios kilogramo dalies tikslumu.

3.2 lentelė. Neapdailintos MDP tampros modulio vertės

Bandinio Nr.	Linkimo kryptis	f , Hz	E , MPa	E_{vid} , MPa
1	1	129	2416	2461
2		132	2529	
3		127	2393	
4		130	2506	
1	2	144	3011	3043
2		145	3051	
3		144	3076	
4		143	3032	

čia f – rezonansinis dažnis, E – tampros modulis, E_{vid} – vidutinis tampros modulis.

3.3 lentelėje pateikiamos slopinimo koeficiento vertės. Koeficientas nustatytas pagal 2.2.4 skyriuje aprašytą metodiką. Visų neapdailintų bandinių $tg\delta$ vertės pateiktos priede P.1.5.

3.3 lentelė. Neapdailintos MDP slopinimo koeficiento vertės

Bandinio Nr.	Linkimo kryptis	Taškas	f , Hz	$tg\delta$, r.u.	$tg\delta_{vid}$, r.u.
1	1	V	130	0,1000	0,1009
1		B	129	0,0698	
1		C	128	0,1328	
1	2	V	144	0,0903	0,0868
1		B	-	-	
1		C	144	0,0833	
2	1	V	136	0,1176	0,0881
2		B	127	0,0551	
2		C	131	0,0916	
2	2	V	147	0,1020	0,0930
2		B	-	-	
2		C	143	0,0839	
3	1	V	126	0,0952	0,0867
3		B	126	0,0556	
3		C	128	0,1094	
3	2	V	146	0,0959	0,1344
3		B	144	0,2292	
3		C	141	0,0780	
4	1	V	131	0,0992	0,0965
4		B	126	0,1032	
4		C	134	0,0871	
4	2	V	145	0,0828	0,1047
4		B	141	0,1206	
4		C	144	0,1107	

čia V, B, C - charakteringi matavimo taškai, f – rezonansinis dažnis, $tg\delta$ – slopinimo koeficientas, $tg\delta_{vid}$ – vidutinė slopinimo koeficiento vertė.

3.2. Apdailintų bandinių tyrimas

3.2.1. Apdailintų bandinių amplitudinės – dažninės charakteristikos

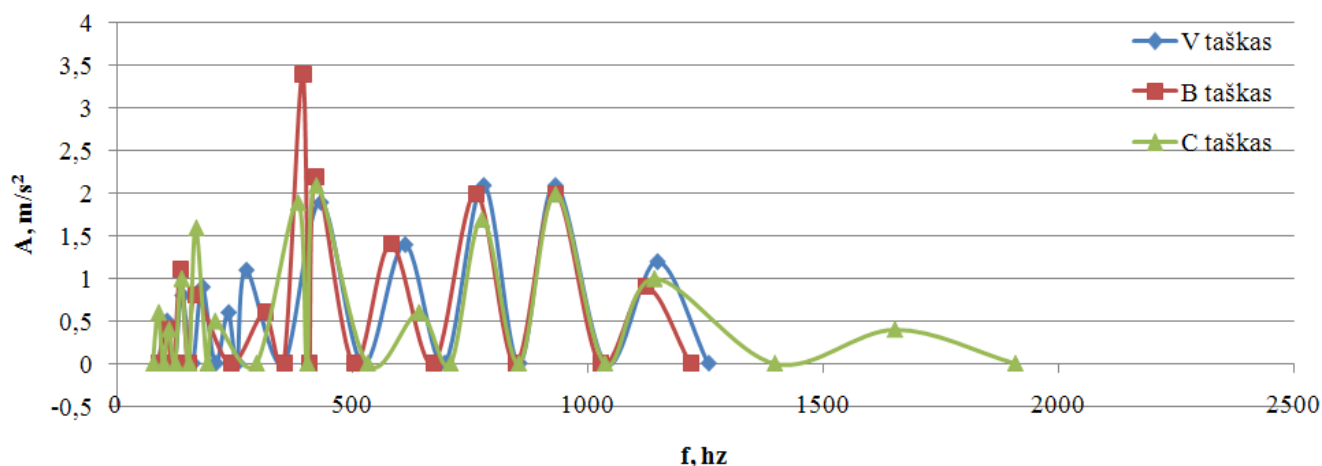
Apdailintų bandinių amplitudinės - dažninės charakteristikos tyrimas atliktas analogiška tvarka kaip ir neapdailintuose bandiniuose. Virpesiai matuojami tuose pačiuose taškuose V,B,C , esant tiems patiems įrangos parametrams (3.4 pav).

Atlikus amplitudinės – dažninės charakteristikos analizę nustatyta, kad 20 – 2000 Hz diapazone apdailintuose bandiniuose užfiksuojama 11 – 17 rezonansinių dažnių (3.4 lent.). Visų apdailintų bandinių vidutiniai rezonansiniai dažniai ir vidutinės amplitudės vertės pateikti prieduose P.2.1. ir P.2.3.

3.4 lentelė. Apdailinto bandinio vidutinių rezonansinių dažnių vertės

Dažniųskaičius	f , Hz V,B,C taškuose			f_{vid} , Hz
1	90			90
2	105	108	105	106
3	134	131	132	132
4	169	167	161	166
5	184			184
6	235			235
7	300	317		309
8	377	371		374
9	426	420	414	420
10	525			525
11	608	639		624
12	690			690
13	769	725	758	751
14	913	895	892	900
15	1030	1037		1034
16	1141	1129		1135
17	1683			1683

Įvertinus amplitudės dydį 200 Hz diapazone pastebimas ryškus virpesių amplitudės sumažėjimas po bandinių apdailinimo. Daugiausiai rezonansinių dažnių nustatoma iki 1200 Hz.

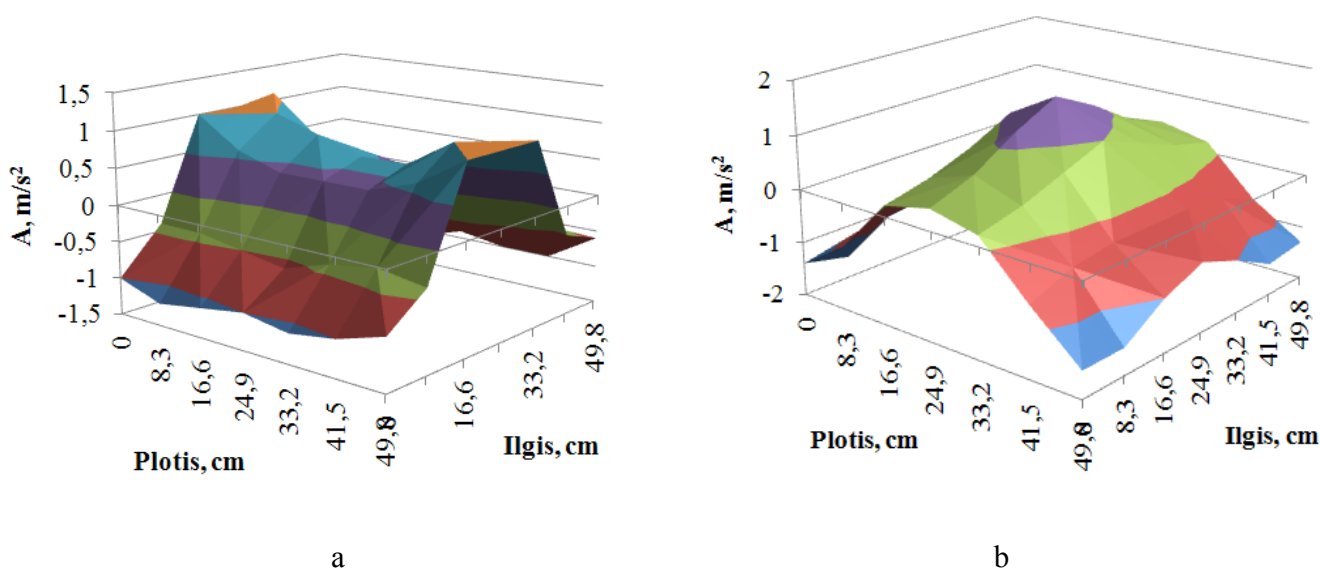


3.4 pav. Apdailinto MDP bandinio amplitudinė – dažninė charakteristika 20-2000 Hz dažnių diapazone: V,B,C – virpesių matavimo taškai bandinyje

3.2.2. Apdailintų bandinių modų nustatymas

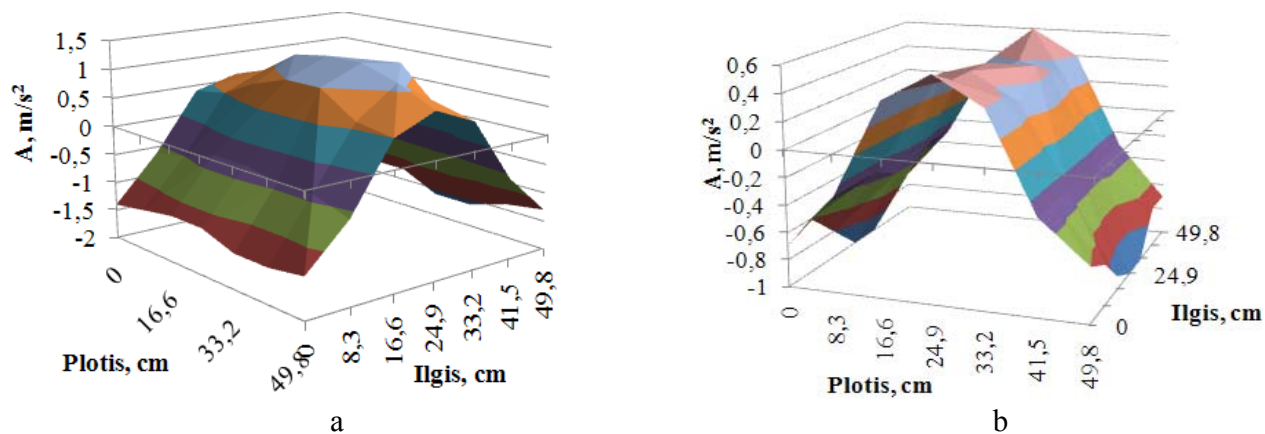
Apdailintuose bandiniuose, taip pat kaip ir neapdailintuose, dažniausiai nustatomos sudėtingos modos. Taip pat nustatytos modos artimos teorinio izotropinio strypo modoms. Žemiau pateikiamos atskirų tipų bandiniuose nustatytos modos, pagal kurių dažnius skaičiuojamas tampros modulis ir nustatinėjamas slopinimo koeficientas. Daugiau faneruoatų bandinių modų pateikta priede P.2.2.

N tipo bandiniai, kurie iš abiejų pusių apdailinti kompensaciniu popieriumi, kaip strypo formos kūnas, pirmąją kryptimi išlinksta esant 135 - 140 Hz dažniams, antrąją kryptimi išlinksta 157 - 162 Hz ribose (3.5 pav).



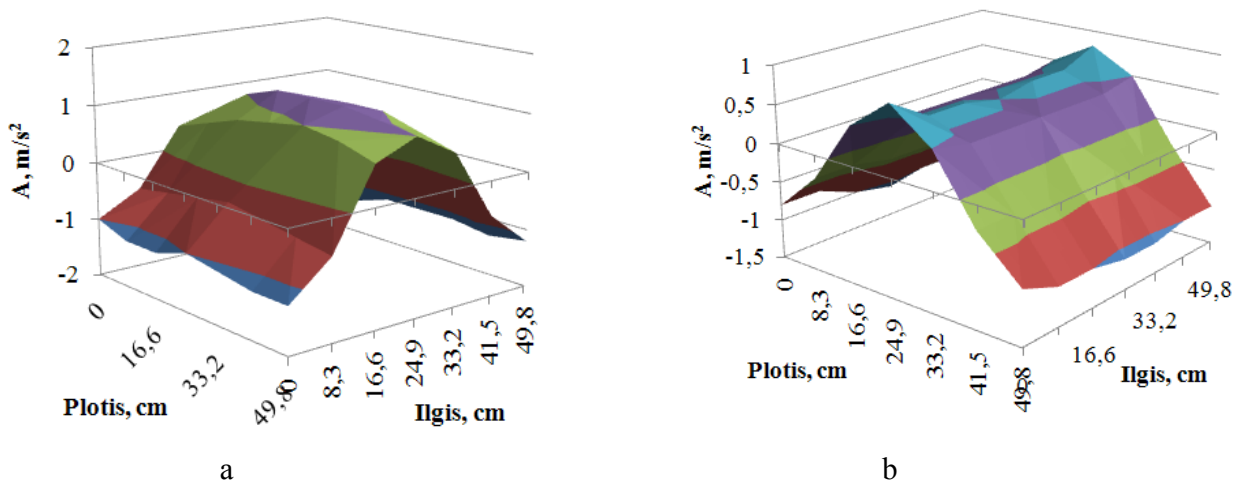
3.5 pav. Apdailinto N tipo bandinio modos: a – linksta pirmą kryptimi, b – linksta antrą kryptimi

L tipo bandiniai, kurie iš vienos pusės apdailinti lukštu ir iš antrosios kompensaciniu popieriumi, pirmąją kryptimi linksta esant 162 - 166 Hz dažniams. Antrąją kryptimi, kaip strypo formos kūnas, šio tipo bandiniai išlinksta 132 - 145 Hz ribose (3.6 pav.).



3.6 pav. Apdailinto L tipo bandinio modos: a – išlinksta pirma kryptimi, b – išlinksta antra kryptimi

M tipo bandiniai, kurie iš abiejų pusių apdailinti lukštu, pirmąją kryptimi išlinksta jį veikiant dažniais, kurie yra 172 – 189 Hz ribose, antrąją kryptimi - esant 137 - 146 Hz dažniams (3.7 pav.).



3.7 pav. Apadailinto M tipo bandinio modos: a – linksta pirma kryptimi, b – linksta antra kryptimi

Bandiniai apdailinti derinant lukšto pluošto kryptį su plokštės linkimo kryptimi. Bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti kompensacinius popieriumi, faneruojant į plokštės linkimo kryptį neatsižvelgta, nes kompensacinio popieriaus savybės visomis kryptimis vienodos.

Tyrimo rezultatai, kuriuose aprašyta, kaip lukšto pluošto krypties derinimas su MDP kilimo formavimo kryptimi įtakoja plokštės mechanines savybes pateikti 4 skyriuje.

3.2.3. Apdailintų bandinių tampros modulio ir slopinimo koeficiento nustatymas

Po apdailinimo bandiniai nebuvo kalibruojami, todėl jų plotis ir ilgis išliko nepakitę. Kompensacinio popieriaus ir lukšto užlaidos pašalintos peiliuku ir ambrazyviniu popieriumi.

Prieš tampros modulio skaičiavimus bandiniai pasverti ir išmatuotas jų storis, kuris pakito dėl apdailinimo medžiagų. Apdailinimui naudojamo lukšto storis 0,55 mm – 0,6 mm. Dėl kompensacinio popieriaus bandinio storis pakito nežymiai. Popieriaus storis – 0,15 mm. Tampros modulio ir slopinimo koeficiento skaičiavimai pateikti 3.5 lentelėje. Visų apdailintų bandinių E vertės pateiktos priede P.2.4.

3.5 lentelė. Apdailintos MDP tampros modulio vertės

Bandinio tipas	Bandinio Nr.	Linkimo kryptis	f , Hz	E , MPa	E_{vid} , MPa
N	1	1	140	2970	2786
	2		139	2806	
	3		138	2767	
	4		135	2599	
	1	2	159	3831	3661
	2		157	3580	
	3		159	3673	
	4		158	3560	
L	8	1	162	3622	3645
	9		166	3645	
	10		164	3635	
	11		165	3679	
	8	2	145	2902	2570
	9		132	2305	
	10		136	2500	
	11		138	2573	
M	15	1	189	4578	4185
	16		172	3867	
	17		176	4056	
	18		180	4237	
	15	2	143	2621	2654
	16		137	2453	
	17		146	2791	
	18		145	2749	

Apdailintų bandinių slopinimo koeficiento vertės pateiktos 3.6 lentelėje. Koeficientas, kaip ir neapdailintuose bandiniuose, nustatytas pagal trijuose taškuose V, B, C užfiksuotus rezonansinius dažnius, kuriems esant bandiniai išlinksta kaip strypo formos kūnas.

Lentelėje pateiktos vidutinės, trijuose taškuose nustatytos, kievišios rūšies bandinio slopinimo koeficiento vertės. Visų tipų bandinių slopinimo koeficiento vertės pateiktos prieduose - P.2.5, P.2.6 ir P.2.7.

3.6 lentelė. Apdailintų bandinių slopinimo koeficiento vertės

Bandinio tipas	Bandinio Nr.	Linkimo kryptis	f , Hz	$tg\delta$, r.u.	$tg\delta_{vid}$, r.u.
N	1	1	140	0,0405	0,0574
	2		139	0,0647	
	3		138	0,0652	
	4		135	0,0593	
	1	2	159	0,0814	0,0702
	2		157	0,0603	
	3		159	0,0662	
	4		158	0,0729	
L	8	1	162	0,1007	0,0781
	9		166	0,0719	
	10		164	0,0631	
	11		165	0,0765	
	8	2	145	0,0438	0,0497
	9		132	0,0553	
	10		136	0,0515	
	11		138	0,0483	
M	15	1	189	0,0561	0,0650
	16		172	0,0764	
	17		176	0,0589	
	18		180	0,0684	
	15	2	143	0,0443	0,0391
	16		137	0,0389	
	17		146	0,0365	
	18		145	0,0368	

Pagal metodiką ištyrus neapdailintus ir apdailintus MDP bandinius, 20 – 2000 Hz diapazone, nustatyti rezonansiniai dažniai. Nefaneuotuose bandiniuose užfiksuota iki 15, o apdailintuose iki 17 rezonansinių dažnių. Pagal užfiksuotuosius dažnius nustatytos modos. Tiek neapdailintuose, tiek ir apdailintuose bandiniuose dauguma modų yra sudėtingos, tačiau nustatytos ir tokios, kurios yra artimos teorinio izotropinio strypo modoms. Pagal pastarųjų modų dažnius apskaičiuotos visų tipų bandinių tampros modulio vertės ir nustatytas slopinimo koeficientas.

Tyrimų rezultatai įrodo, kad MDP apdailinimas atitinkamai įtakoja plokštės tampros modulį ir slopinimo koeficientą. Apdailinimo įtaka plokštės mechaninėms savybėms analizuojama sekančiame skyriuje.

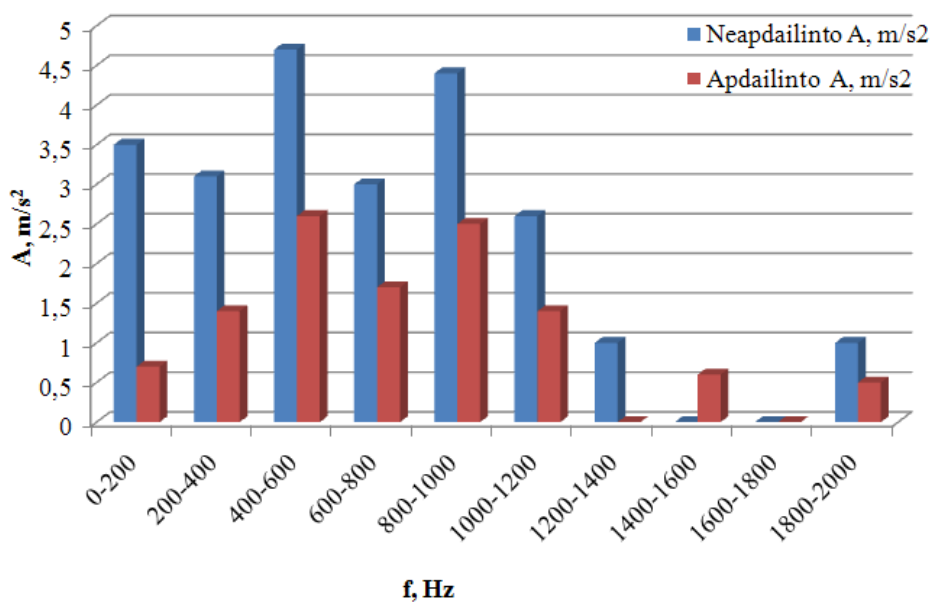
4. REZULTATŲ PALYGINIMAS

4.1. Apdailintų ir neapdailintų bandinių amplitudinės – dažninės charakteristikos

Atlikus neapdailintų ir apdailintų bandinių amplitudinės – dažninės charakteristikos analizę nustatyta, kad 20 – 2000 Hz diapazone, neapdailintuose bandiniuose užfiksuojama 11 – 15, o apdailintuose 11 – 17 rezonansinių dažnių. Taip tyrimo rezultatus gali įtakoti padidėjęs bandinių standumas po faneravimo. Nustatyta, kad tiek apdailintuose, tiek ir neapdailintuose bandiniuose daugiausiai rezonansinių dažnių nustatoma 20 – 1200 Hz diapazone.

Iš 3.1 ir 3.4 paveiksluose pateiktų grafikų matome, kad po apdailinimo skirtumas tarp amplitudžių verčių, esant tam pačiam rezonansiniam dažniui, taškuose V, B, C yra žymiai mažesnis, nei neapdailintuose bandiniuose. Po faneravimo plokštė tampa vienalytiškesne medžiaga, todėl, jos mechaninės savybės visame bandinio plote tampa tolygiau pasiskirsčiusios.

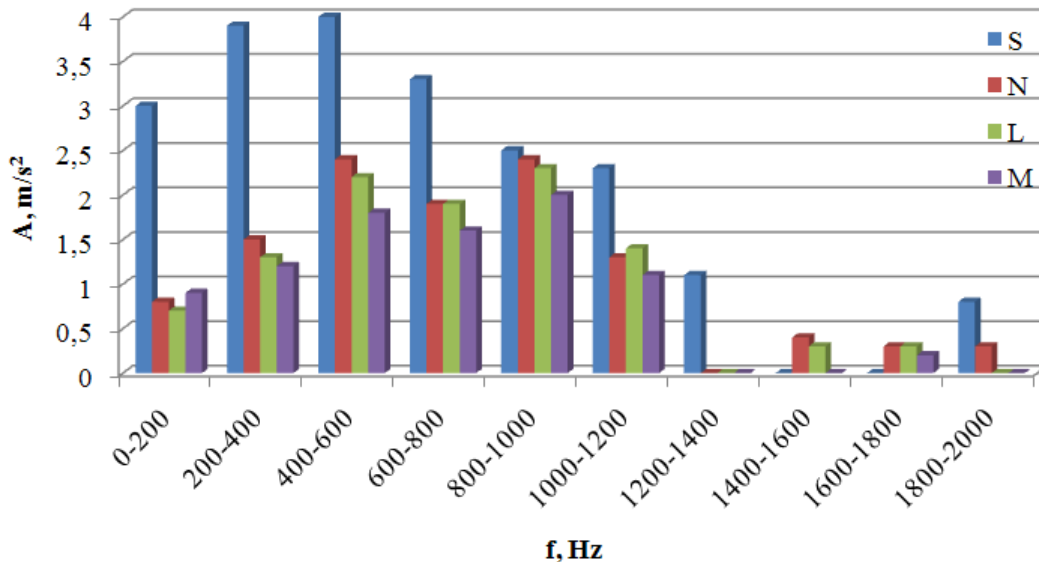
Palyginus neapdailintų bandinių vidutinės amplitudės vertes, kurios nustatytos 200 Hz diapazone, su vertėmis kurios nustatytos po jų apdailinimo, galima daryti išvadą, kad po apdailinimo žymiai sumažėja virpesių amplitudė. 4.1 paveiksle pateiktas grafikas atspindi šias tendencijas, kurios būdingos daugumai bandinių. Daugiau vidutinių amplitudžių verčių pateikta priede P.3.5.



4.1 pav. Pirmo bandinio amplitudės vertės 200 Hz diapazone prieš apdailinimą ir po apdailinimo

Virpesių amplitudė po apdailinimo sumažėja visuose bandiniuose. Galima daryti išvadą, kad po faneravimo, padidėja bandinių standumas.

Įvertinta ir apdailinimo pobūdžio įtaka virpesių amplitudės dydžiui. Vidutinės amplitudės dydis 200 Hz diapazone nustatytas pagal keturių, kiekvienos rūšies bandinių, amplitudžių vertes.



4.2 pav. Vidutinės amplitudės vertės: S – neapdailinti bandiniai, N – iš abiejų pusių kompensaciniu popieriumi apdailinti bandiniai, L – iš vienos pusės kompensaciniu popieriumi ir iš antrosios lukštu apdailinti bandiniai, M – iš abiejų pusių lukštu apdailinti bandiniai

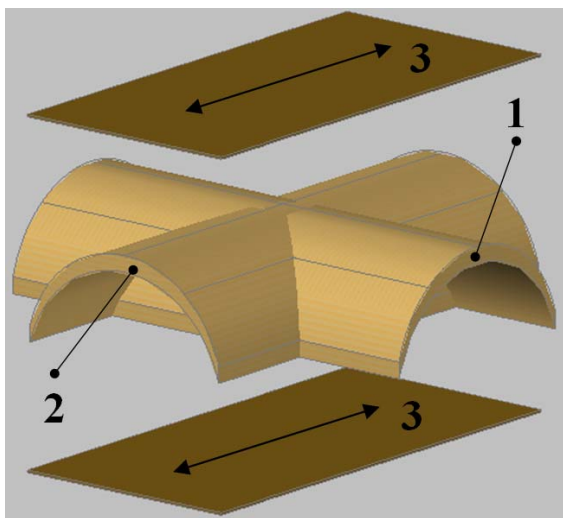
Grafike matome (4.2 pav.), kad dėl apdailinimo sumažėja bandinių virpesių amplitudė. Vertinant amplitudės dydį 400 – 600 Hz diapazone matome, kad mažiausia virpesių amplitudė nustatyta bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti lukštu, amplitudė dydis $1,6 \text{ m/s}^2$. Bandiniuose, kurie iš vienos pusės apdailinti kompensaciniu popieriumi, o iš antrosios lukštu $A= 2,1 \text{ m/s}^2$. Bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti kompensaciniu popieriumi $A= 2,3 \text{ m/s}^2$. Didžiausia virpesių amplitudė (4 m/s^2) fiksuojama neapdailintuose bandiniuose. Daroma išvada, kad bandinių standumas labiausiai padidėja tuo atveju, kada jie iš abiejų pusių apdailinami lukštu.

4.2. Apdailintų ir neapdailintų bandinių modų dažnių palyginimas

Nustatinėjant bandinių modas pastebėta, kad dauguma jų yra sudėtingos formos. Nustatytos ir tokios modos, kurios yra artimos teorinio izotropinio strypo modoms. Šios modos aktualios tuo, jog užfiksavus jos dažnį, galima apskaičiuoti MDP tampros modulį, taikant teorinio izotropinio strypo skaičiavimo metodiką.

Kitų autorių moksliniame darbe nustatyta, kad nefaneruotos MDP tampros modulis, išilgine kilimo formavimo kryptimi yra didesnis (30 – 40) %, nei statmena kilimo formavimo kryptimi [20]. Žinoma, kad medienos tampros modulis išilgai pluošto yra žymiai didesnis, nei skersai pluošto. Dėl išvardintų priežasčių faneruojant atsižvelgta į bandinio linkimo kryptį ir lukšto pluošto kryptį.

Pavyzdžiui, M tipo bandiniai apdailinti iš abiejų pusių lukštu taip, kad lukšo pluošto kryptis sutaptų su pirmąja bandinio linkimo kryptimi (4.3 pav.) Pirmąja kryptimi, neapdailinti bandiniai linksta 127 - 135 Hz ribose. Nustatyta, kad po apdailinimo, pagal nurodytą schemą, M tipo bandiniai ta pačia kryptimi išlinksta esant 172 - 189 Hz dažniams. Rezonansinis dažnis padidėja iki 45 Hz.



4.3 pav. Bandinių apdailinimo schema plokštės linkimo krypties atžvilgiu, čia: 1 – pirmoji MDP bandinio linkimo kryptis, 2 – antroji MDP bandinio linkimo kryptis, 3 – apdailinimui naudojamo lukšto pluošto kryptis

Antrąją kryptimi (4.3 pav.), M tipo bandiniai, prieš apdailinimą linksta esant 143 - 150 Hz dažniui, o po apdailinimo 137 - 146 Hz. Daugumoje bandinių rezonansinis dažnis sumažėja iki 7 Hz, arba išlieka beveik nepakitęs.

L tipo bandiniai, kurie iš vienos pusės apdailinti lukštu, o iš atrosios kompensaciniu popieriumi, faneruoti taip, kad lukšto pluošto kryptis sutaptų su pirmąja bandinio linkimo kryptimi (4.3 pav). Po apdailinimo, šio tipo bandiniai, ta pačia kryptimi linksta, esant 162 - 166 Hz dažniams. Lyginant su neapdailintais bandiniais, rezonansinis dažnis padidėja iki 34 Hz. Po apdailinimo antrąją kryptimi L tipo bandiniai, kaip strypo formos kūnas, linksta 132 - 145 Hz ribose. Lyginat su neapdailintais bandiniais, po apdailinimo antrąją kryptimi dažnis sumažėjo iki 13 Hz.

Kada lukšto pluošto kryptis sutampa su pirmąja MDP linkimo kryptimi rezonansinis dažnis padidėja, tačiau plokštė susilpninama antrąja kryptimi. Ši tendencija pasireiškia visuose bandiniuose, kurie apdailinti ąžuolo medienos lukštu.

Tokie tyrimo rezultatai gauti dėl to, kad lukšto pluošto kryptis atitinkamai įtakoja plokštės savybes tam tikra kryptimi. Žinoma, kad ąžuolo medienos tampros modulis išilgai pluošto 13000 MPa, skersai pluošto – 1000 MPa [21].

Lyginant su neapdailintų bandinių dažniais, po apdailinimo N tipo bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti kompensaciniu popieriumi, dažnis padidėjo abiejų krypčių atžvilgiu – pirmąja kryptimi iki 6 Hz, antrąja kryptimi iki 14 Hz.

4.3. Apdailintų ir neapdailintų bandinių tampriai plastiškųjų savybių palyginimas

Skaičiavimų rezultatai, apibūdinantys tampros modulį ir slopinimo koeficientą apdailintuose ir neapdailintuose bandiniuose, pateikti lentelėje Nr. 4.1.

4.1 lentelė. MDP bandinių tampros modulis ir slopinimo koeficientas

Tipas	MDP Nr.	f_1 , Hz	E_1 , MPa	E_{1vid} , MPa	$tg\delta_{1vid}$, r.u.	f_2 , Hz	E_2 , MPa	E_{2vid} , MPa	$tg\delta_{2vid}$, r.u.
S	1	129	2416	2461	0,0931	144	3011	3043	0,1047
	2	132	2529			145	3051		
	3	127	2393			144	3076		
	4	130	2506			143	3032		
N	1	140	2970	2786	0,0574	159	3831	3661	0,0702
	2	139	2806			157	3580		
	3	138	2767			159	3673		
	4	135	2599			158	3560		
L	8	162	3622	3645	0,0781	145	2902	2570	0,0497
	9	166	3645			132	2305		
	10	164	3635			136	2500		
	11	165	3679			138	2573		
M	15	189	4578	4185	0,0650	143	2621	2654	0,0391
	16	172	3867			137	2453		
	17	176	4056			146	2791		
	18	180	4237			145	2749		

čia E_1 – tampros modulis nustatytas pagal pirmosios modos dažnį, E_2 – tampros modulis nustatytas pagal antrosios modos dažnį, $tg\delta_{1vid}$ ir $tg\delta_{2vid}$ – slopinimo koeficiento vidutinės vertės, nustatytos pagal pirmosios ir antrosios modos dažnius.

Iš 4.1 lentelėje pateiktų rezultatų matome, kad tampros modulį įtakoja apdailinimo būdas. Vertinant pagal pirmąjį rezonansinį dažnį, kada bandiniai išlinksta pirmąja kryptimi, mažiausias tampros modulis nustatytas neapdailintuose bandiniuose – 2461 MPa.

Nežymiai tampros modulis padidinamas bandinius iš abiejų pusių apdailinant kompensaciniu popieriumi, $E = 2786$ MPa. Didžiausias tampros modulis nustatytas bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti lukštu, $E = 4185$ MPa. Bandiniuose, kurie iš vienos pusės apdailinti lukštu ir iš antrosios kompensaciniu popieriumi $E = 3645$ MPa.

Antrąją kryptimi, L (2570 MPa) ir M (2654 MPa) tipo bandiniuose nustatytas mažesnis tampros modulis, nei neapdailintuose bandiniuose, kada $E = 3043$ MPa.

Bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti kompensaciniu popieriumi, nustatytas didžiausias tampros modulis $E = 3661$ MPa. Visų bandinių E vertės, kurios nustatytos pagal dvi statmenas kryptis pateiktos prieduose P.3.1 ir P.3.2.

Daroma išvada, kad kada lukšto pluošto kryptis sutampa su bet kuria iš kilimo formavimo kryptių, tampros modulis padidėja, o tuo atveju, kada lukšto pluošto kryptis statmena plokštės pluošto kryptims, MDP tampros modulis sumažėja. N tipo bandiniuose tampros modulis padidėja pagal abi MDP kilimo formavimo kryptis, nes kompensacinio popieriaus savybės visomis kryptimis vienodos.

Neapdailintuose bandiniuose, pagal pirmąją linkimo kryptį nustatytas tampros modulis, atitinka skersai plokštės kilimo pluošto nustatomą tampros modulį ($E = 2461$ MPa). Pagal antrąją linkimo kryptį nustatomas tampros modulis, atitinka išilgine plokštės kilimo formavimo kryptimi nustatomą tampros modulį ($E = 3043$ MPa.).

Lyginant neapdailintus ir apdailintus bandinius matome (4.1 lent.), kad slopinimo koeficientas po apdailinimo sumažėja. Apdailinti bandiniai blogiau slopina rezonansinius virpesius, nes padidėja jų standumas.

Iš lentelėje pateiktų duomenų nustatyta, kad bandiniuose, kurie apdailinti kompensaciniu popieriumi (N tipas) slopinimo koeficientas pagal dvi statmenas plokštės pluošto kryptis skiriasi 1,2 karto. Bandiniuose, kurie iš vienos pusės apdailinti lukštu, o iš antrosios kompensaciniu popieriumi (L tipas), slopinimo koeficiento reikšmės skiriasi 1,6 karto. Bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti medienos lukštu (M tipas), slopinimo koeficiento vertės pagal dvi statmenas linkimo kryptis skiriasi 1,7 karto. Neapdailintuose bandiniuose (S tipas) vertės skiriasi 1,1 karto. Visų bandinių $tg\delta$ vertės, kurios nustatytos pagal dvi statmenas kryptis pateiktos prieduose P.3.3 ir P.3.4.

5. REZULTATŲ PATIKIMUMĄ ĮVERTINANTI STATISTINĖ ANALIZĖ

Atlikus tyrimą nustatytos tampros modulio ir slopinimo koeficiento skaitinės vertės, kurios yra statistiškai apdorojamos tam, kad įvertintume gautų rezultatų patikimumą. Svarbiausi statistinės analizės rodikliai, pagal kuriuos įvertintos tyrimo rezultatų vertės yra aritmetinis vidurkis, dispersija, vidutinis kvadratinis nuokrypis ir variacijos koeficientas [23]. Tampros modulio verčių statistiniai rodikliai pateikti 5.1 lentelėje.

5.1 lentelė. Svarbiausi įvairių tipų MDP tampros modulio statistiniai rodikliai

Tipas	Linkimo kryptis	<i>Vid.</i>	s^2	s	v
S	1	2461,0	4432,7	66,6	2,7
	2	3042,5	765,7	27,7	0,9
N	1	2785,5	23195,0	152,3	5,5
	2	3661,0	15268,7	123,6	3,4
L	1	3645,3	594,9	24,4	0,7
	2	2570,0	61786,0	248,6	9,7
M	1	4184,5	91639,0	302,7	7,2
	2	2653,5	23094,3	152,0	5,7

čia *vid.* – verčių aritmetinis vidurkis, s^2 – dispersija, s – vidutinis kvadratinis nuokrypis, v – variacijos koeficientas.

Įvertinus tampros modulio statistinius rodiklius galima teigti, kad verčių sklaida yra nedidelė, nes variacijos koeficientai – $v \leq 10$ %. Iš 5.1 lentelėje pateiktų duomenų matome, kad mažiausias tampros modulio variacijos koeficientas (0,7 %) nustatytas L tipo bandiniuose, skersine plokštės kilimo formavimo kryptimi (1 linkimo kryptis). Didžiausias variacijos koeficientas (9,7 %) nustatytas L tipo bandiniuose išilgine plokštės kilimo formavimo kryptimi (2 linkimo kryptis). Slopinimo koeficiento rezultatų statistiniai rodikliai pateikti 5.2 lentelėje.

5.2 lentelė. Svarbiausi įvairių tipų MDP slopinimo koeficiento statistiniai rodikliai

Tipas	Linkimo kryptis	<i>Vid.</i>	s^2	s	v
S	1	0,0931	0,0000461166667	0,006790925	7,30
	2	0,1047	0,0004464625000	0,021129659	20,18
N	1	0,0574	0,0001344491667	0,011595222	20,19
	2	0,0702	0,0000822466667	0,009068995	12,92
L	1	0,0781	0,0002589166667	0,016090888	20,62
	2	0,0497	0,0000237891667	0,004877414	9,81
M	1	0,0650	0,0000859766667	0,009272360	14,28
	2	0,0391	0,0000130425000	0,003611440	9,23

Įvertinus MDP bandinių slopinimo koeficiento statistinius rodiklius priimta, kad S tipo bandinių verčių sklaida pirma kryptimi yra nedidelė, nes variacijos koeficientas 7,3 %. Antaja kryptimi šio tipo bandinių variacijos koeficientas labia didelis, nes $v > 20$ %. N ir L tipobandiniuose, pirmąją kryptimi variacijos koeficientai labia dideli, jų vertės atitinkamai siekia 20,19 % ir 20,62 %. Antrąją kryptimi, N tipo bandinių slopinimo koeficiento sklaida didelė – 12,92 %, L tipo – nedidelė (9,81 %). M tipo bandiniuose, pirmąją kryptimi rezultatų sklaida didelė, nes $v = 14,28$ %, antrąją nedidelė, nes $v = 9,23$ %.

IŠVADOS

Neapdailintuose ir apdailintuose bandiniuose nustatyti rezonansiniai dažniai. Rezultatai įrodo, kad nefaneuotuose bandiniuose užfiksuota 11 – 15, o apdailintuose 11 - 17 rezonansinių dažnių, kuriems esant plokštė išlinksta įvairiomis modomis. Dauguma jų yra sudėtingos, tačiau užfiksuotos ir tokios modos, kurios yra artimos teorinio izotropinio strypo modoms. Užfiksavus pastarųjų dažnį ir taikant teorinio izotropinio strypo teoriją, apskaičiuotas plokštės tampros modulis. Pagal tuos pačius dažnius nustatytas slopinimo koeficientas.

Įvertinus apdailintų ir neapdailintų bandinių tyrimo rezultatus gauta, kad lukšto pluošto kryptis įtakoja MDP mechanines savybes. Kada lukšto pluošto kryptis sutampa su kilimo formavimo kryptimi nustatomas didžiausias tampros modulis. Kada plokštės kilimo formavimo kryptis statmena lukšto pluošto kryptčiai, plokštės tampros modulis susilpninamas.

1. Gauta, kad neapdailintos MDP tampros modulis dvejomis statmenomis kryptimis skiriasi (21 – 29) % ribose. Didesnis tampros modulis yra išilgine plokštės kilimo formavimo kryptimi.
2. Rezultatai įrodo, kad apdailinimo būdas įtakoja plokštės savybes:
 - 2.1. Bandiniuose, iš abiejų pusių apdailintuose kompensaciniu popieriumi, lyginant su neapdailintais, pirmąją kryptimi E padidėjo 13 %. Antrąją kryptimi - padidėja 20 %.
 - 2.2. Bandiniuose, kurie iš vienos pusės apdailinti lukštu ir iš antrosios popieriumi, lyginant su neapdailintais, pirmąją kryptimi E padidėja 48 %, antrąją kryptimi sumažėja 16 %.
 - 2.3. Bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti lukštu, lyginant su neapdailintais, pirmąją kryptimi E padidėja 70 %. Lyginant pagal antrąją kryptį, E sumažėja 13 %.
3. Nustatyta, kad po bandinių apdailinimo pagal bet kurią schemą, slopinimo koeficientas sumažėja. Pirmąją kryptimi labiausiai slopinimo koeficientas sumažėja bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti kompensaciniu popieriumi (1,6 karto). Antrąją kryptimi, $tg\delta$ sumažėja daugiausiai (2,7 karto) tuose bandiniuose, kurie iš abiejų pusių apdailinti lukštu.

Gaminant konstrukcijų, arba baldų ruošinius (pvz. lentynas) patartina atsižvelgti į plokštės izotropiją ir lukšto pluošto kryptį. Atitinkamai suderinus šias kryptis galima gauti stipresnėmis mechaninėmis savybėmis pasižymintį produktą. Įvertinus šią savybę ir susidarantių apkrovų kryptį galima naudoti mažesnių matmenų ruošinius.

LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Albrektas D., Creation and investigation of methodic for estimation of viscous elastic properties of wood. Summary of doctoral dissertation. Technological Sciences, Materials Engineering (08T). Kaunas (2006): p.5-35.
2. Arabi M., Faezipour M. et. al. Interaction analysis between slenderness ratio and resin content on mechanical properties of particle board. *Journal of Forestry Research-* (2011) 22(3): p. 461–464. DOI 10.1007/s11676-011-0188-2.
3. Ashori A., Nourbakhsh A.et. al. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particle board panels made from the underutilized low-quality raw materials. *Industrial crops and products* 28 (2008): p. 225-230.
4. Brancheriau L., Bailleres H. Comparison between modulus of elasticity values calculated using 3 and 4 point bending testson wooden samples.*Wood Science and Technology* 36 (2002): p. 367–383. DOI 10.1007/s00226-002-0147-3.
5. Broch J.T. *Mechanical Vibrations and Shock Measurements*. Grostrum. K. Larsen and Son, (1984): 370 p.
6. Cortez-Saravia A.M., Herva Met. al. Assessing environmental sustainability of particle board production process by ecological footprint. *Journal of Cleaner Production* 52 (2013): p. 301-308.
7. Hosseini S.M., Fadaei M. Properties of Particle board Made from UF with Low-formaldehyde / IJE. *International Journal of Engineering* No. 1, (2013). P. 45-49
8. Isopescu D., Stanila O. et. al. Analysis of wood bending properties on standardized samples and tructural size beams tests. *Technical University of Iași Faculty of Civil Engineering and Building Services*. (2012): p. 66-74.
9. Juliana A.H., Paridah M.T. et. al. Properties of particleboard made from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) as function of particle geometry. *Materials and Design* 34 (2012): p. 406–411.
10. Jamaludin K., Abd Jalil A. et. al. Properties of particle board manufactured from commonly utilized Malaysian bamboo (*Gigantochloa scortechinii*). *Pertanika J.Trop. Agric. Sci.* 24 (2) ISSN: 1511-3701.(2001) p: 151-157.
11. Morkevičius A., Papreckis B. *Mediena ir jos gaminiai*. Vadovėlis -Vilnius: Senoja, 2004. P. 142-143.

12. Medved S., Diporovič-Momčilovič M. et. al. Dimensional stability of particle board. University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology. (2010) p. 125-128
13. Oliveira F.G.R., Candian M. et. al. Moisture content Effect on ultrasonic velocity in *Goupia glabra*. *Materials research*, Vol.8, No.1 (2005): p. (11-14)
14. Ohse G. et. al. Extrusion molding of particle board having particular surface characteristic. United states patent. (1971)
15. Sari B., Ayırlmis N. et. al. Effects of chemical composition of wood and resin type on properties of particle board. *Properties of Particle board. Lignocellulose* 1(3), (2012): p. 174-184.
16. Timoshenko S., Young D.H. et. al. *Vibration problems in engineering*. Moscow. Mashinostroenie (1985): p.472.
17. Vobolis J., Albrektas D. Evaluating the Effect of Finishing Materials on Viscous Elastic Properties of Particle Boards. *Materials science - ISSN 1392–1320* Vol. 18, No. 3. (2012) p. 262-266.
18. Warner F., Althaus Jorg – H. Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. *Ecoinvent report No.9* (2007): p. 94-98.
19. Wang Z., Li L. et. al. Measurement of dynamic modulus of elasticity and damping ratio of wood-based composites using the cantilever beam vibration technique. *Construction and Building Materials* 28 (2012) 831- 834.
20. Zaleckis A., Vobolis J. Study of Isotropic Structure of Wood Particle Board Gaminių technologijos ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga ISSN 1822-492X Kaunas: Technologija, 2008: pp. 193 – 197. (in Lithuanian).
21. Ažuolo medienos mechaninės savybės, [žiūrėta 2015 05 18]. Prieiga per internetą <<http://www.schreiner-seiten.de/holzarten/eiche.php>>.
22. Siempelkamp – Particle board forming and presslines, [žiūrėta 2015 05 01]. Prieiga per internetą <<http://www.siempelkamp.com/index.php?id=754&L=0>>.
23. Liukaitis J., Kleveckas T. Mokomoji knyga: Medžiagų tyrimo pagrindai. 2013 [žiūrėta 2015 05 10]. Prieiga per internetą <<https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/1135/medziagu-tyrimo-pagrindai/>>.

PRIEDAI