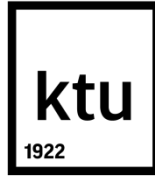


Baigiamųjų projektų rengimo,
gynimo ir saugojimo tvarkos aprašo
1 priedas



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Ugnė Samulevičiūtė

KOMPOZITAI BALDINĖSE KONSTRUKCIJOSE

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. Dr. Darius Albrektas

Konsultantas

Lekt. Darius Minelga

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

KOMPOZITAI BALDINĖSE KONSTRUKCIJOSE

Baigiamasis magistro projektas
Medienos inžinerija (kodas 621J53001)

Vadovas

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

Recenzentas

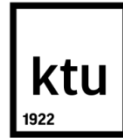
(parašas) Lekt. Gintaras Keturakis
(data)

Projektą atliko

(parašas) Ugnė Samulevičiūtė
(data)

KAUNAS, 2017

Baigiamųjų projektų rengimo,
gynimo ir saugojimo tvarkos aprašo
4 priedas



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Ugnė Samulevičiūtė

(Studento vardas, pavardė)

Medienos inžinerija (621J53001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Kompozitai baldinėse konstrukcijose“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

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

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Samulevičiūtė, Ugnė. Kompozitai baldinėse konstrukcijose. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Darius Albrektas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Medienos dirbinių technologijos

Reikšminiai žodžiai: *medienos lukštas, anglies pluoštas, stiklo pluoštas, klijai, kompozitas, baldinės konstrukcijos.*

Kaunas, 2017. 60 p.

SANTRAUKA

Mokslinio darbo tikslas - sukurti modernų svetainės baldų komplektą jo konstrukcijai panaudojant plonas lakštines medžiagas. Tuo pačiu mažinant medienos sąnaudas gauti ploną ir tvirtą fanerą. Uždaviniai: kompozicinio elemento stiprio priklausomybę nuo medienos rūšies, klijų tipo, kompozicinių elementų sluoksnių skaičiaus ir stiprinančių medžiagų.

Tiriamasis objektas – drožtinio riešutmedžio, buko, pušies medienos lukštas klijuotas naudojant poliuretaninius klijus, polivinilacetatinės dispersijos klijus ir epoksidinę dervą. Papildomos stiprinančios medžiagos: stiklo pluošto, anglies pluošto audinys.

Eksperimentui atlikti pagaminta 300 vnt. bandinių. Medienos lukštas formuojamas naudojant formą. Bandinių matmenys – 70 x 80 x 60 mm. Visi lukšto lakštai dedami ta pačia kryptimi pluošto atžvilgiu. Bandiniai buvo gniuždomi išilgai pluošto ir statiškai lenkiami. Pagal formules apskaičiuotas atsparumo gniuždymui. Statiškai lenkiant pagal formules apskaičiuotas išorinio sluoksnio, vidinio sluoksnio ir centrinės ašies įtempiai.

Gauti rezultatai rodo, kad stiklo pluošto audinys kaip armuojanti medžiaga yra labai silpna, bandinių stiprumas padidėja vos 10 – 20%. Papildomas medienos lukšto sluoksnis patvarumą padidina apie 20%. Geriausiais patvarumo savybes turėjo bandiniai klijuoti su epoksidine derva ir anglies pluošto audiniu. Stiprumas išauga 50%.

Galima prieit išvadas, kad medienos rūšis neturėjo didelės įtakos kompozicinių elementų patvarumui. Papildomas medienos lukšto sluoksnis bandinį sutvirtina iki 20%. Patvariausias kompozitas gaunamas su epoksidine derva ir anglies pluošto audiniu.

Samulevičiūtė, Ugnė. *Composites in Furniture: Master's (choose one) thesis in Wood Engineering / supervisor assoc. doc. dr. Darius Albrektas. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.*

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

Key words: *veneer, carbon fiber, glass fiber, adhesive, composite, furniture construction.*

Kaunas, 2017. 60 p.

SUMMARY

The point of the study was to create a modern set of living room furniture, using thin layered materials and get slender, yet strong plywood, while cutting down costs. Tasks: research the dependency of the composite element's strength on the type of wood, adhesive, the number of layers and reinforcing materials.

Object of the study - walnut, beech and pine veneer, glued together using polyurethane adhesive, dispersed polyvinyl acetate adhesive and epoxy resin. Reinforcing materials: carbon and glass fiber.

The experiment was carried out by making 300 samples. The plywood was shaped using a mould. Sample size - 70 x 80 x 60 mm. All the layer's fibers were in the same direction. The samples were crushed and stationarily bent along the fibers according to the specially calculated formulas. The tension of the outer layer, inner layer and central axis were calculated using formulas for bending.

The results show that glass fiber is very weak when used as a reinforcing material - the sample strength only grew by 10-20%. An extra layer of wood adds about 20% strength. The samples with carbon fiber with epoxy resin gave the best results - the strength grows about 50%.

In conclusion, the type of the wood didn't make much difference to the strength of the composite material. An extra layer of wood adds 20% strength. Epoxy resin and carbon fiber make the strongest composite material.

TURINYS

SANTRAUKA.....	5
SUMMARY.....	6
TURINYS.....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	11
ĮVADAS.....	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	13
1.1. Lukšto klijavimas.....	13
1.1.1. Klijai ir jais formuotos sanklijos stipris.....	13
1.1.2. Klijų kiekis.....	14
1.1.3. Klijavimo tipai.....	14
1.1.4. Sujungimai.....	15
1.1.5. Papildomos sustiprinimo medžiagos.....	16
1.1.6. Lukšto charakteristikų priklausomybė nuo apkrovos.....	17
1.2. Lukšto lenkimas ir formavimas.....	19
1.2.1. Lukšto atsparumas lenkimui.....	19
1.2.2. Lukšto patvarumo ir stiprio priklausomybė nuo formos.....	22
1.3. Klijuoto lukšto stiprumo tyrimai.....	23
1.3.1. Tiesios formos lukšto gniuždymas.....	23
1.3.2. Lenktos formos lukšto gniuždymas.....	24
1.3.3. Lukšto su stiprinančiomis medžiagomis gniuždymas.....	26
1.4. Analogų analizė.....	31
1.4.1. Medinė supamoji kėdė.....	31
1.4.2. Kėdė „Saji“	32
1.4.3. Supamoji kėdė „Gala“	33
1.4.4. Stalas „Kaari“	34
1.4.5. Stalas „Entre Les Lignes“	35
1.4.6. Kėdė „Carnaval“	36
1.4.7. Suoliukas „Belt“.....	37
1.5. Kuriamo baldo dizainas ir konstrukcija.....	37
2. MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODIKA.....	39

2.1. Naudotos medžiagos.....	39
2.1.1. Polivinilacetatinės dispersijos klijai.....	39
2.1.2. Poliuretaniniai klijai.....	39
2.1.3. Epoksidinė derva.....	40
2.1.4. Stiklo pluoštas.....	41
2.1.5. Anglies pluoštas.....	41
2.2. Medienos bandinių paruošimas.....	41
2.3. Bandinių metodika.....	43
2.4. Klijuotos faneros stiprio skaičiavimai.....	45
3. TYRIMO REZULTATAI.....	48
4. IŠVADOS.....	58
5. LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	59
6. PRIEDAI.....	61

PAVIEKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Sujungimų variantai.....	16
2 pav. Sujungimo kampai: 1) 30°, 2) 45°, 3) 60°	17
3 pav. TS 2474 standartas.....	17
4 pav. Klijuotos faneros grupių schema.....	18
5 pav. Gniuždymo kryptis.....	18
6 pav. Įtempių priklausomybė nuo deformacijos.....	19
7 pav. Klevo medienos lukšto tangentinis pjūvis.....	20
8 pav. Buko medienos lukšto tangentinis pjūvis.....	20
9 pav. Riešutmedžio medienos lukšto tangentinis pjūvis.....	21
10 pav. Bandinių lenkimo schema.....	22
11 pav. Atsparumo lenkimui priklausomybė nuo tankio.....	22
12 pav. Atsparumo lenkimui priklausomybė nuo tamprumo modulio.....	22
13 pav. Tankio priklausomybė nuo tamprumo modulio.....	23
14 pav. a) trisluoksnė fanera, b) kiaurymių geometriniai parametrai.....	23
15 pav. Kairėje pusėje susidarę įtempiai aplink išmuštą skylę. Dešinėje pusėje eksponentiškai mažėjantys įtempiai lygiagrečiai pluoštui $\phi=40^\circ$	24
16 pav. RS metodas naudojamas ant lenktos, klijuotos lukšto plokštės.....	25
17 pav. Testavimo metodai: a) tempimas; b) lenkimas; c) gniuždymas.....	26
18 pav. Apkrovos ir trukmės santykis, lenkiant klijuotą lukštą deformuojamą trimis būdais.....	26
19 pav. Bandinių schemos: a) S 40, b) S 20, c) S15, d) S10.....	27
20 pav. Bandinių testavimo schema.....	28
21 pav. Įtempių ir deformacijos priklausomybė.....	28
22 pav. Stiprio ir poslinkio priklausomybė.....	29
23 pav. Įtempių ir deformacijos priklausomybė.....	29
24 pav. Įtempių ir deformacijos priklausomybė.....	30
25 pav. Bandinių ir testavimo schema. A) klijuotas lukštas; B) klijuotas lukštas ir įterptas stiklo pluošto audinys; C ir D gniuždymo kryptys; E) šlyties bandymas; F) atsparumas skilimui.....	31
26 pav. a) šlyties testavimo metodas, b) lenkimo metodas, c) mėginys, skirtas fizikinėms savybėms tirti.....	31

27 pav. Medinė supamoji kėdė.....	32
28 pav. „Saji“ kėdė.....	33
29 pav. „Gala“ supamoji kėdė.....	34
30 pav. „Kaari“ stalias.....	35
31 pav. „Entre Les Lignes“ stalias.....	36
32 pav. „Carnaval“ kėdė.....	37
33 pav. „Belt“ suoliukas.....	38
34 pav. Kėdės eskizai.....	39
35 pav. Stalo eskizai.....	39
36 pav. Vieno lukšto sluoksnio bandiniai.....	42
37 pav. Trijų lukšto sluoksnių bandiniai, klijuoti PUR klėjais.....	43
38 pav. Trijų lukšto sluoksnių bandiniai, klijuoti PUR klėjais ir įterptas stiklo pluoštas.....	43
39 pav. Bandinių lenkimo forma.....	44
40 pav. Apkrovos kryptis: C) lenkimas, S) gniuždymas.....	45
41 pav. Lenkimo bandymo metodo schema, kur A – išorinis sluoksnis, B – vidinis sluoksnis, P – maksimali apkrova, R – išlinkio spindulys, h – bandinio storis, H – atstumas nuo įgaubto paviršiaus iki apkrovos atramos linijos, L – atstumas tarp atramos taškų.....	47
42 pav. Centrinės ašies įtempių charakteristikos schema.....	48
43 pav. Atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus ir klijų tipo.....	51
44 pav. Atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, klijų ir stiprinančių medžiagų...52	52
45 pav. Atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų.....	53
46 pav. Išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus ir klijų.....	54
47 pav. Išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų.....	55

48 pav. Išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų.....	56
49 pav. Vidinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų.....	57
50 pav. Centrinės ašies įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų.....	58

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. PVA klijų charakteristikos.....	40
2 lentelė. Poriuretaninių klijų charakteristikos.....	41
3 lentelė. Epoksidinės dervos charakteristikos.....	41
4 lentelė. Eksperimente naudotos medžiagos.....	42
5 lentelė. Bandinių žymėjimas.....	45
6 lentelė. Tyrimo rezultatai.....	49

ĮVADAS

Medienos lukštas – tai itin universali ir santykinai pigi medžiaga, turinti plačias panaudojimo galimybes. Šią medžiagą galima naudoti ne tik sienų, durų ar lubų dangoms, bet ir baldų gamybai. Suklijavus keletą medienos lukšto sluoksnių gaunama gan tvirta fanera. Faneros patvarumas gali priklausyti nuo klijų, taip pat ir nuo įterptų papildomų armuojančių medžiagų (pvz., stiklo pluošto, anglies pluošto audinio), sudarančių dar tvirtesnę kompozicinę medžiagą.

Projektuojant baldus iš faneros, būtinai reikia atkreipti dėmesį į detalių formavimą ir gaminio apkrovos kryptį. Nuo šių kriterijų priklauso lukšto sluoksnių skaičius, klijai ir armuojančios medžiagos. Kuriant baldo dizainą jos formos išryškinimui siekiama išlaikyti plonesnę konstrukciją.

- Darbo tikslas – 1) sukurti modernų baldų komplektą, kurį sudarytų plona ir pakankamo tvirtumo daugiasluoksni medžiaga – kompozitas. 2) ištirti šio kompozito stiprumines savybes.
- Uždaviniai:
 - Ištirti kompozitinio elemento stiprio priklausomybes nuo:
 - Medienos rūšies;
 - Klijų;
 - Kompozitinių elementų sluoksnių skaičius;
 - Papildomų stiprinančių medžiagų.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. LUKŠTO KLIJAVIMAS

1.1.1. KLIJAI IR JŲ STIPRIS

Mokslininkai Sebastian Clau [1], Matus Joscak [1], Peter Niemz [1], naudodami šlyties bandymą tyrė klijuotos medienos sujungimų adheziją. Šiam tyrimui jie naudojo buko medieną ir septynis skirtingus klijus (karbamido formaldehido (UF), melamino formaldehido (MF), melamino karbamido formaldehid (MUF), fenolio rezorcinolio formaldehido dervas (PRF), polivinilacetatinė disercija (PVAc), poliizocianato emulsiją (EKI) bei vieno komponento poliuretano klijus (PUR1C). Bandymai buvo atliekami pagal EN 302 – 1. Iš skirtingų grupių buvo paimta po 25 mėginius ir jie buvo džiovinami vieną valandą 50, 70, 110, 150, 200 arba 220°C temperatūroje.

20°C temperatūroje visų bandinių sukibimas buvo geras. Padidinus temperatūrą, PVAc klijai klijavo silpniausiai. Pasiekus 50°C klijai visiškai prarado sukibimą, 35% atsparumą pasiekė tik klijavimas su buko mediena. Iki 150°C temperatūros MF, PRF, PUR2, PUR3 ir UF pasiekė 80% kontrolinės vertės.

Tyrėjai Jegatheswaran Ratnasingam [2] ir Florin Ioras [2] nagrinėjo klijų stiprumo priklausomybę nuo klijų tipo ir klijų kiekio baldų sujungimuose. Sujungimai buvo gaminami iš kaučiukmedžio ir klijuoti naudojant PVAc ir UF su 40% kietųjų medžiagų. 0,1, 0,05 ir 0,01 mm klijų siūlės storis buvo naudojamas šiame tyrime. Tyrime buvo naudojama mėginių sankilijai atskirti INSTRON universali testavimo mašina.

Testo rezultatai neparodė labai skirtingų rezultatų. Nors UF klijai suklijavo prasčiausiai, manoma, kad tai atsitiko dėl to, kad jie yra mažiausiai plastiški. Tyrimo rezultatai rodo, kad UF klijų naudojimas baldų sujungimams yra tinkamesnis, jei baldas yra standus ir stabilus.

Kita vertus, sujungimai, suklijuoti su PVA c klijais, yra daug tvirtesni, negu su UF, priklausomai nuo užnešto klijų storio. Kadangi PVA c klijai yra labiau plastiški, tai apkrovos metu sujungimas gali vaikščioti, kraipytis. Šio tyrimo rezultatai parodė, kad PVA c klijai gali atlaikyti 30% apkrovos iki sujungimo sanklijai nutrūkstant, o UF 25%.

1.1.2. KLIJŲ KIEKIS

Tyrėjai (P. Bekhta, R. Marutzky) [3] analizavo klijų kiekio sumažinimą pirminio presavimo faneros gamyboje. Tyrimams jie naudojo buko medienos lukštą, kurio matmenys buvo 500 x 500 x 1,8 mm. Tyrimas buvo atliekamas keliais etapais: 1 etapas – lukštas buvo presuojamas kelias skirtingai slėgiais: 5, 10 ir 15 N/mm², 200°C temperatūroje. 2 etapas – supresuotos plokštės buvo suklijuotos naudojant PF klijus 150 g/m², penkių sluoksnių fanera buvo presuota 1,4 ir 1,8 N/mm². Šiurkštumui nustatyti buvo naudotas „Hommel T20 – DC“ testavimo prietaisas. Klijų sanklijos palyginimui tarp presuotos ir nepresuotos faneros buvo pagamintos plokštės kurių klijavimo slėgis buvo 1,8 N/mm², o klijų kiekis 200 g/m².

Bandymas parodė, kad plokščių tankis padidėjo nuo 793 iki 807 – 1005 kg/m³. Pastebima, kad bandiniams, kuriuose buvo naudotas pirminis presavimas, reikėjo mažesnio klijų kiekio ir jie taip pat buvo tvirtesni.

1.1.3. KLIJAVIMO TIPAI

Mokslininkai (Pavlo Bekhta, Peter Niemz, Jan Sedliacik) [4] tyrė klijuotos faneros slėgio įtakos efektyvumą ir jo savybes. Šiems tyrimams tyrėjai naudojo lukštento beržo lukštą, kurio matmenys buvo 300 x 300 x 1,5 mm. Mėginai buvo suskirstyti į 48 grupes. Visos plokštės buvo presuotos naudojant karštą presą bei 3, 5, 7 arba 9 MPa slėgį, o temperatūra buvo 100, 150 arba 200 °C. Presavimo laikas buvo 0,5 min, 1,0 min, 1,5 min ir 2,0 min. Pirminiam presavimui buvo naudota trijų sluoksnių fanera, klijuota su fenolio formaldehido derva. Ji buvo tepama ant vienos lukšto pusės 90 g/m² arba 150 g/m². Karšto preso temperatūra buvo 130°C, slėgis 1,8 MPa. Šis bandymo etapas parodė, kad išankstinis presavimas pagerina faneros kokybę ir sumažina klijų kiekį.

Kuo aukštesnė presavimo temperatūra, tuo didesnis suspaudimo laipsnis. Didžiausias suspaudimo laipsnis naudojant išankstinį presavimą įvyksta per pirmąsias 30 sekundžių.

Apžvelgus visus rezultatus, pirminis presavimas sumažina paviršiaus šiurkštumą, klijų kiekis sumažėja nuo 150 g/m² iki 90 g/m². Presavimo slėgis sumažinamas nuo 1,8 MPa iki 1,0 MPa. Sumažinus klijų kiekį ir presavimo slėgį, mechaninės savybės suprastėjo maždaug 40 – 45 %.

Mokslininkai (S. R. Shukla, D. Pascal Kamdem) [5] tyrė mažo medienos tankio klijuotos faneros fizikinių savybių priklausomybę nuo presavimo laiko. Tyrimuose buvo naudojami klevo, tuopos ir drebulės faneros bandiniai, kurių matmenys buvo 610 mm ilgis, 510 mm plotis ir nuo 3,0 iki 3,5 mm storis. Buvo pagamintos trijų sluoksnių klijuotos faneros plokštės. Šiam tyrimui buvo naudojami PVA c

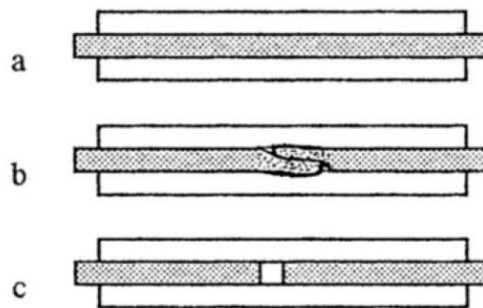
klijai. Klijai buvo tepami ant vienos plokštės pusės. Klijų kiekis - 200 – 220 g/m². Klijuotos faneros presavimo slėgis buvo 1,38 MPa, presavimo laikais - 2, 5, 15 ir 30 minučių, buvo naudojamas karštas presas. Klijuoto klevo faneros paviršiaus kietumas buvo daug didesnis negu kitų medienos rūšių.

Suklijuoto klevo fanera parodė tvirčiausią sukibimą, presuojant 5 minutes ir naudojant 2,95 MPa ir 3,16 MPa slėgį. Tuopos ir drebulės fanerų plokščių sukibimas buvo 40% prastesnis, negu klevo medienos lukšto.

Šis tyrimas parodo, kad trijų sluoksnių klevo faneros plokštės, presuotos 38°C temperatūroje 5 minutes naudojant PVA c kljus, lyginant su kitomis sąlygomis ir su kitais bandiniais, pagerino savo stiprumą ir paviršiaus kietumą.

1.1.4. SUJUNGIMAI

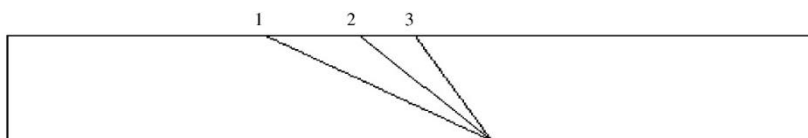
Mokslininkas V. Vassiliou [6] tyrė trijų sluoksnių klijuotos faneros vidinio sluoksnio sujungimo tipo atsparumą lenkimui. Pirmasis sujungimas - tai vientisa plokštė (a), antras - užleistinis (b) ir trečiame yra paliekamas tarpas (c) (1 pav.). Bandinių dydis lenkimui, tai pat buvo dydis 200 x 50 3,5.



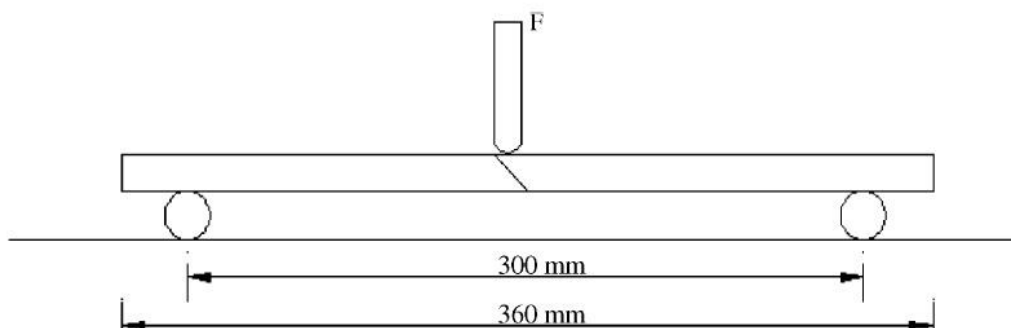
1 pav. Sujungimų variantai [6]

Pastebima, kad bandiniuose, kuriuose vidinis sujungimas buvo užleistas 20,3% sumažėjo atsparumas lenkimui, bet bandiniai su tarpu buvo 52,3% silpnesni už bandinį su vientisa vidine plokšte.

Mokslininkas Ayhan Ozcifci [7] tyrė klijuotos faneros sujungimų atsparumą lenkimui. Tyrime buvo naudota guobos ir pušies mediena, klijuota su PF ir MF kljais, kurių panaudotas kiekis buvo 180 g/m². Plokštės buvo 20 mm pločio, 360 mm ilgio ir 4, 5 ir 6,7 mm storio. Sujungimo kampai buvo 30°, 45° ir 60° (2 pav.). Lenkimo bandymai atlikti pagal TS 2474 standartą (3 pav.).



2 pav. Sujungimo kampai: 1) 30°, 2) 45°, 3) 60° [7]



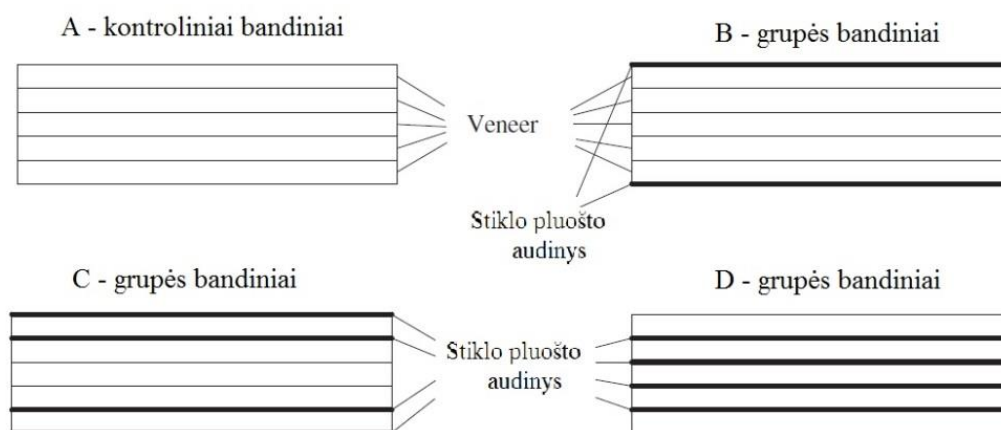
3 pav. TS 2474 standartas [7]

Pastebėta, kad didžiausią atsparumą lenkimui turi trisluoksnė guobos medienos fanera, klijuota MF klėjais, prasčiausią atsparumą turėjo penkių sluoksnių pušies medienos lukštas, klijuotas su PF klėjais 60° sujungimo kampu.

Apžvelgus rezultatus matoma, kad mažinant sujungimo kampą nuo 60° iki 30° ir žemiau, lenkimo atsparumas didėja. 30° sujungimo kampas parodė geriausią sukibimą, nes jis turi didžiausią klijuojama plotą, taip pat MF klėjai demonstruoja geresnį sukibimą.

1.1.5. PAPILDOMOS STIPRINIMO MEDŽIAGOS

Mokslininkai (Bekir Cihad Bal, Ibrahim Bektas, Fatih Mengelöglu, Kadir Karakus, H. Ökkes Demir) [8] tyrė klijuotos faneros technologines savybes, stiprinant ją stiklo pluoštu. Šiam bandymui jie naudojo 600 mm x 600 mm x 2,7 mm dydžio tuopos lukštą, klijuotą su PF klėjais, kurių kiekis buvo 220 g/m², taip pat buvo įterptas stiklo pluoštas. Bandiniai buvo suskirstyti į 4 grupes: A) kontroliniai bandiniai, B) bandiniai su išoriniu stiklo pluoštu audinio sluoksniu, C) bandiniai su pirmais dviem stiklo pluošto sluoksniais, D) bandiniai su įterptu stiklo pluošto audiniu (4 pav.).



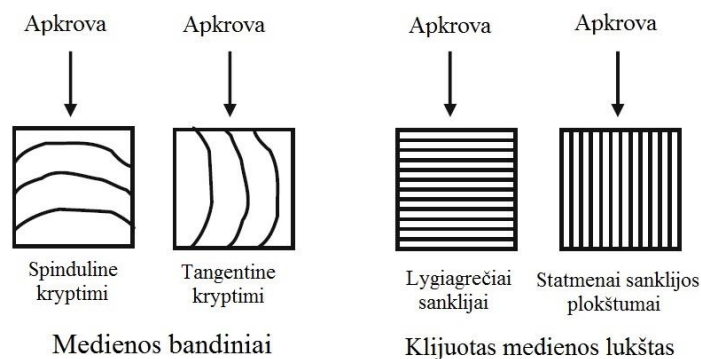
4 pav. Klijuotos faneros grupių schema [8]

Palyginus A grupės bandinius (5758 N/mm^2) su C grupės bandiniais (6537 N/mm^2) patvarumas padidėjo 20%. Pastebėta, kad elastingumo modulis (MOE) ir atsparumas lenkimui (MOR) buvo didesnės, negu klijuojant statmenai bandinio. Iš šių domenų galima spręsti, kad stiklo pluošto audinys padidina patvarumą. C grupės bandiniai turėjo geriausias mechanines savybes.

1.1.6. LUKŠTO CHARAKTERISTIKOS, PRIKLAUSOMAI NUO APKROVOS

Mokslininkai (Hirofumi Ido, Hirofumi Nagao, Hideo Katob, Atsushi Miyatake, Yasushi Hiramatsu) [9] tyrė klijuoto lukšto stiprumo savybes statmenai pluošto. Šiems bandymams atlikti buvo naudotos penkios medienos rūšys: japonų kedras, pušis, japonų maumedis, japonų raudonoji pušis ir maumedis. Faneros gamybai buvo naudojama fenolio – formaldehido derva.

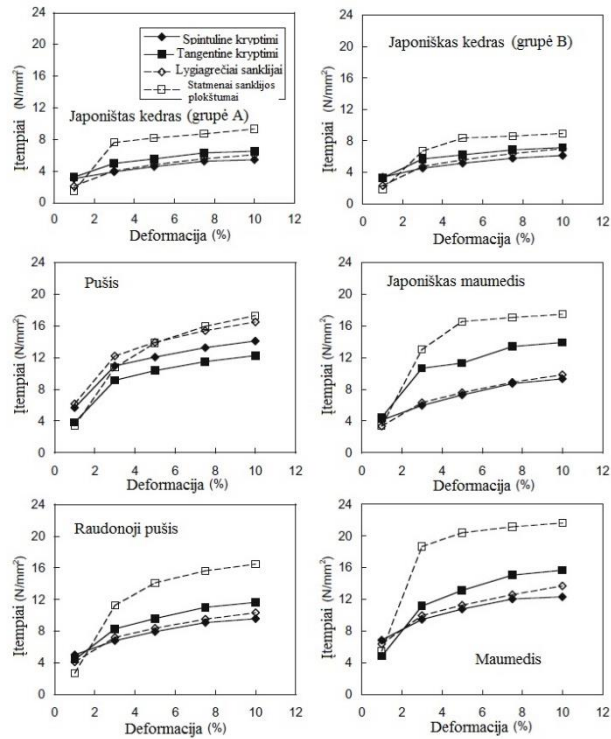
Faneros ir medienos mėginių dydis - 40 mm aukščio, 40 mm pločio, 120 mm ilgio. Testai buvo atliekami gniuždant statmenai pluošto pagal JIS 2101 reikalavimus. Apkrovos kryptys parodytos 5 paveiksle.



5 pav. Gniuždymo kryptis [9]

Lyginant medieną spinduline ir tangentine kryptimi, gniuždant 1% apkrova, nebuvo aiškaus skirtumo, bet padidinus apkrovą iki 3%, japoniško maumedžio, raudonosios pušies ir paprasto

maumedžio bandiniai palaipsniui pradėjo deformuotis (6 pav.). Fanera, gniuždoma statmenai sanklijos plokštumai iki 1% apkrovų, nerodė jokių pokyčių, kaip ir masyvios medienos bandiniai, bet nuo 3% ji pradėjo deformuotis.



6 pav. Įtempių priklausomybė nuo deformacijos [9]

Gniuždant klijuoto lukšto bandinius statmenai sanklijos plokštumai didžiausias apkrovas atlaikė: kedras - iki 8 N/mm^2 , pušis - iki 18 N/mm^2 , japoniškas maumedis - iki 19 N/mm^2 , raudonoji pušis - iki 17 N/mm^2 ir maumedis - virš 20 N/mm^2 . Atsižvelgus į rezultatus, galima teigti, kad pluošto kryptis turi didelę įtaką medienai ir medienos lukšto plokščių patvarumui. Geriausiai apkrovas atlaikė statmenai suklijuoti maumedžio medienos lukšto bandiniai.

Mokslininkai (Istie Rahayu, Louis Denaud, Remy Marchal, Wayan Darmawan) [10] tyrė lukšto charakteristikos priklausomybę nuo medienos dalies (balana, branduolys). Šiam bandymui atlikti tyrėjai naudojo 3 mm storio tuopos medienos lukštą ir 5,25 mm balaną ir branduolį. Mechaninės faneros savybės buvo nustatomos pagal (EN 789) reikalavimus.

Gautuose rezultatuose 3 mm faneros tankis buvo didesnis negu 5,25 mm faneros. Balanos faneros tankis buvo didesnis negu branduolio. Fanera, pagaminta iš balandos, turėjo nuo 13% iki 20% geresnes mechanines savybes. Medienos branduolio MOE, MOR tankis yra mažesnis negu balanos.

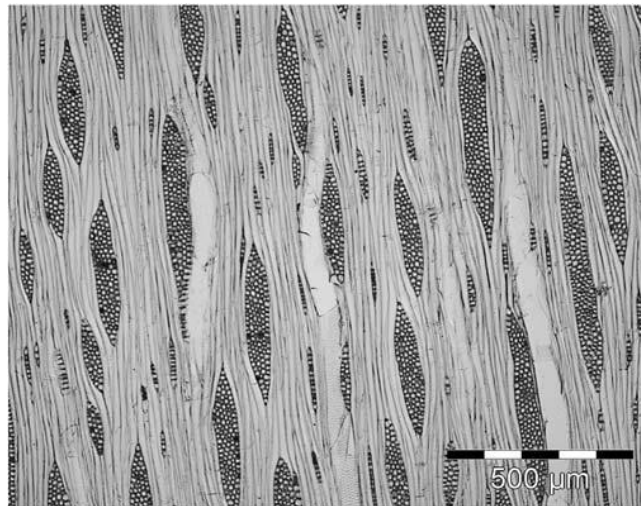
Apžvelgus visus rezultatus, galima daryti išvadą, kad mechaninės savybės pagerėja naudojant balanos medienos klijuotą lukštą.

1.2. LUKŠTO LENKIMAS, FORMAVIMAS

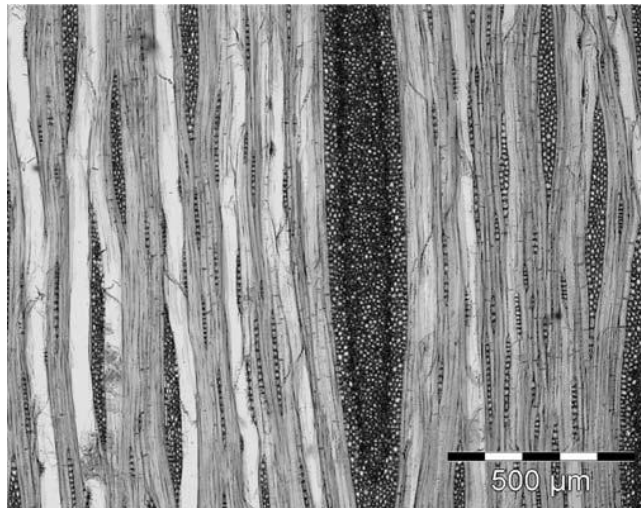
1.2.1. LUKŠTO ATSPARUMAS LENKIMUI

Mokslininkai (A.Wagenfuhr, B. Buchelt, A. Pfriem) [11] tyrė lukšto struktūros pokyčius ją lankstant. Buvo naudojama lenkiama lygiagrečiai ir statmenai pluošto klevo, buko ir riešutmedžio mediena. Lukšto storis buvo 0,2mm ir 0,9mm, bandymas buvo atliekamas pagal DIN 50101 reikalavimus.

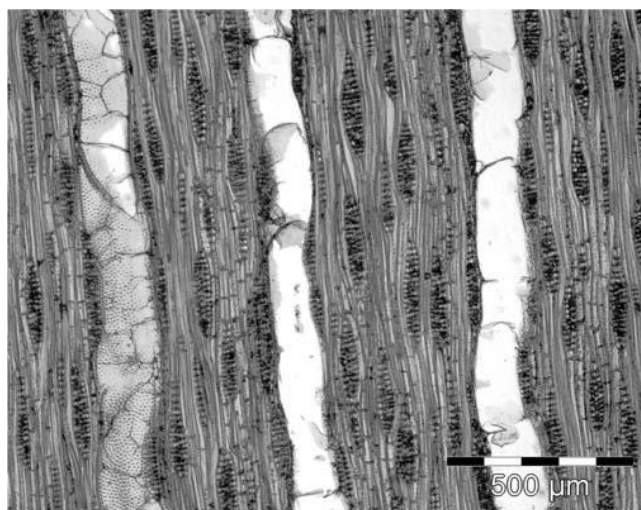
Kadangi buvo naudotas plonas lukštas, po lenkimų yra pateiktos nuotraukos, darytos su mikroskopu, (7, 8, 9 pav.). Nuotraukose galima pamatyti, kad atsirado įtrūkimai.



7 pav. Klevo medienos lukšto tangentinis pjūvis [11]



8 pav. Buko medienos lukšto tangentinis pjūvis [11]



9 pav. Riešutmedžio medienos lukšto tangentinis pjūvis [11]

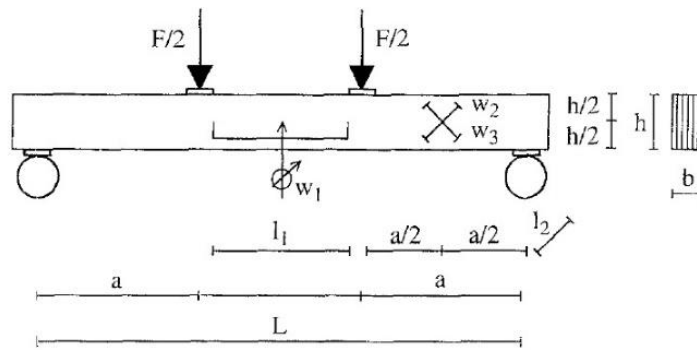
Geriausius rezultatai buvo pastebėti naudojant klevo medieną, kurios struktūra mažiausiai pasikeitė. Prastesnės savybės buvo buko, nors jis pakankamai gerai išsilaikė po bandymų. Riešutmedis atsilaikė prasčiausiai, po lankstymų atsirado gilūs ir dideli įtrūkimai. Ši mediena turi ilgas, plonas sienes ir dideles ertmes, per kurias ir atsiranda įtrūkimai.

Mokslininkai (Gaetano Castro , Stefano Berti, Massimo Pisano) [12] tyrė drožtinio tuopos medienos lukšto atsparumą lenkimui. Bandinių matmenys buvo 20mm pločio, 80mm ilgio ir 1,7mm storio.

Apkrova buvo taikoma pastoviu judėjimo greičiu 0,5 cm/min, tol kol bandiniai lūždavo 90 ir 210 sekundžių intervale. Pastebėta, kad mechaninėms savybės didelę įtaką turi metinės rievės. Ankstyvosios medienos mechaninės savybės yra prastesnės negu vėlyvosios. Panašūs rezultatai buvo gauti ir su likusiais bandiniais.

Apžvelgiant visus rezultatus galima teigti, kad lukšto mechaninėms savybėms turi įtakos medienos metinės rievės. Vėlyvoji mediena yra tankesnė ir stipresnė negu ankstyvoji.

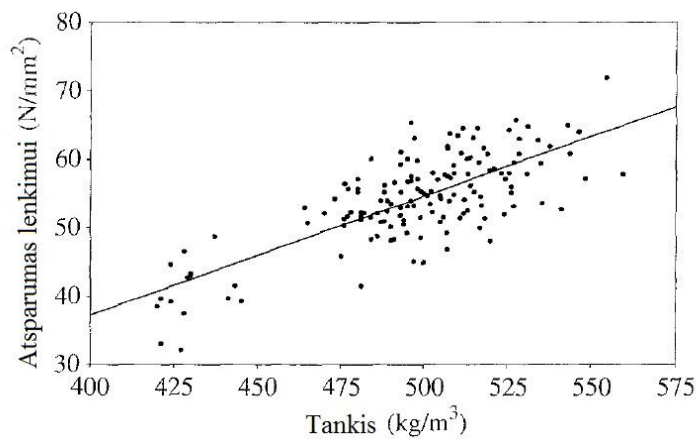
Mokslininkas M. Fonselius [13] tyrė klijuoto lukšto dydžio efektyvumą jį lenkiant. Šiam tyrimui atlikti jis naudojo eglės ir pušies lukštus. Bandinių plotis ir aukštis (h) buvo nuo 45 mm iki 600 mm, ilgis (L) nuo 810 mm iki 10800 mm, storis (b) nuo 39 mm iki 75 mm. Bandymas buvo atliktas pagal EN 408 standartą (10 pav.).



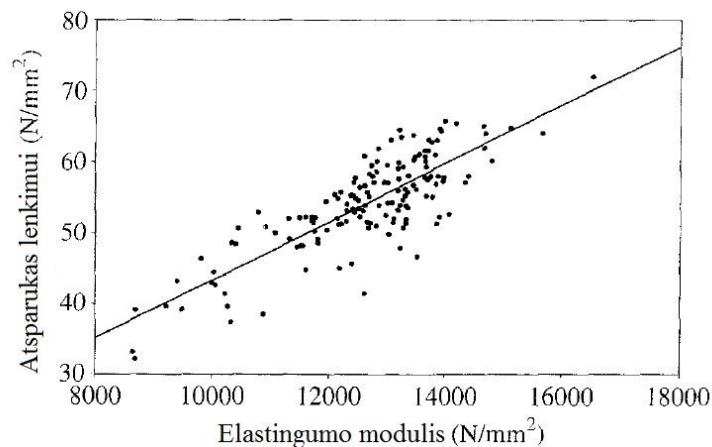
10 pav. Bandinių lenkimo schema [13]

Priklausomybė nuo atsparumo lenkimui, tamprumo ir tankio yra pateikti 11, 12, 13 paveiksluose. Santykis buvo išmatuotas naudojant tiesinę regresijos analizę. Šių priklausomybių santykių koeficientas yra 0,754, 0,823, 0,838.

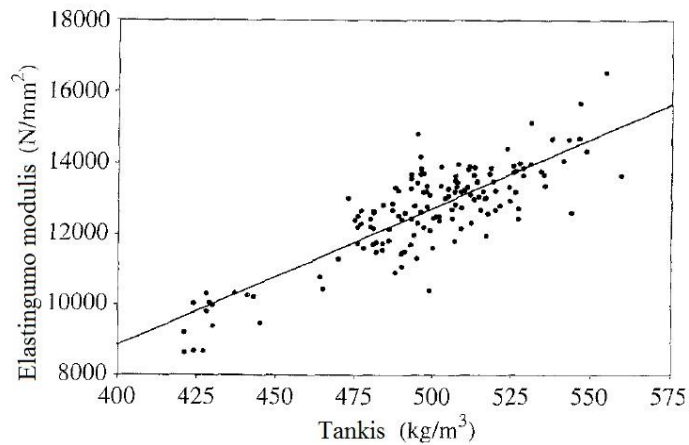
Apžvelgus rezultatus galima teigti, kad bandinių dydis neturi jokio efektyvumo lankstumui.



11 pav. Atsparumo lenkimui priklausomybė nuo tankio [13]



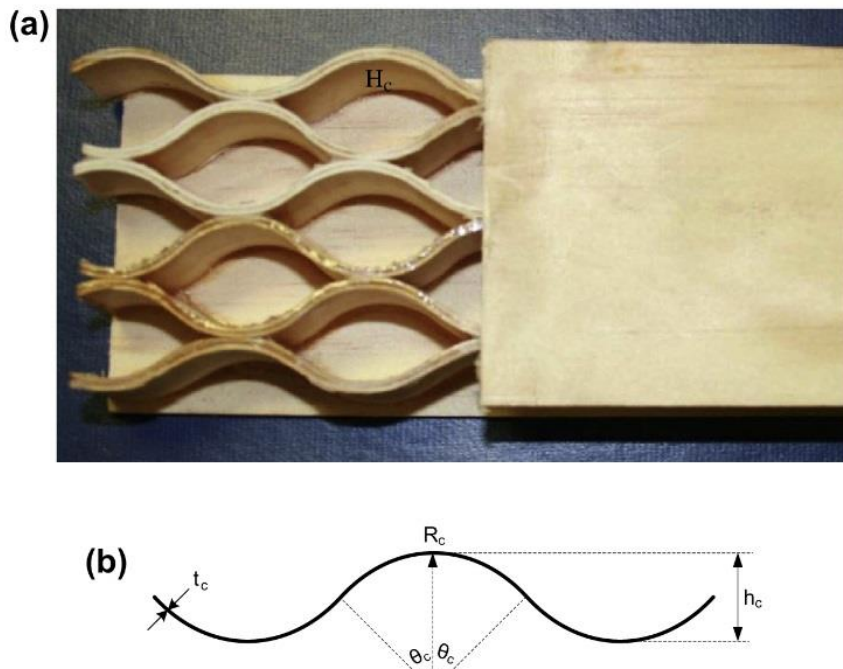
12 pav. Atsparumo lenkimui priklausomybė nuo tamprumo modulio [13]



13 pav. Tankio priklausomybė nuo tamprumo modulio [13]

1.2.2. LUKŠTO PATVARUMO IR STIPRIO PRIKLAUSOMYBĖ NUO FORMOS.

Mokslininkai (S. Banerje [14], D. Bhattacharya) [14] tyrė optimalaus dizaino sprendimus sluoksniuotos faneros formavimui. Plona fanera yra pakankamai lanksti. Norint išvengti įtrūkimų, lukštas yra klijuojamas plastiškais klijais. Tyrimo metu buvo naudotas 3 sluoksnių pušies medienos lukštas, kurio forma yra pateikta 14 paveiksle.



14 pav. a) trisluoksniė fanera, b) kiaurymių geometriniai parametrai [14]

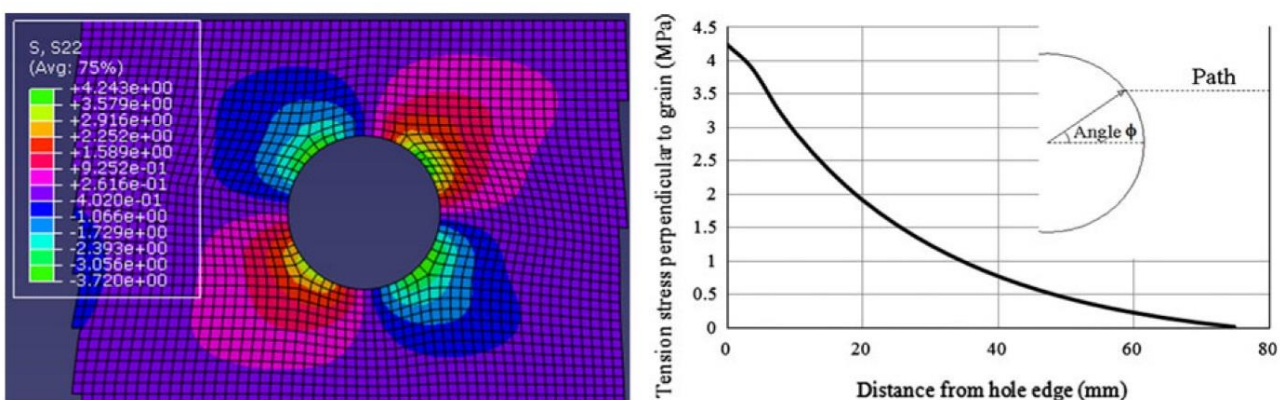
Pagrindinė šio tyrimo prielaida yra daugiasluoksnės struktūros analizė pagal lenkimo apkrovą. Visus pagrindinius lenkimo įtempius atlaiko visos plokštumos. Trijų sluoksnių fanera yra suklijuota statmenai pluošto krypties atžvilgiu. Kiekvieno lukšto sluoksnio storis buvo 1,8mm.

Šis tyrimas nepavyko dėl blogai parinktų kriterijų. Remiantis nepavykusiais rezultatais, lenktų trijų sluoksnių klijuotų plokščių bandinių mechaninės savybės buvo nustatytos, naudojant slėgį. Suklijuotos lenktos plokštės atlaikė tik minimalų svorį ir minimalią lenkimo apkrovą.

1.3. KLIJUOTO LUKŠTO STIPRUMO TYRIMAI

1.3.1. TIESIOS FORMOS LUKŠTO GNIUŽDYMAS

Mokslininkai (Manoochehr Ardalany, Massimo Fragiaco, Peter Moss, Bruce Deam) [15] analizavo dizaino modelius su armatūros skylė ant klijuotos faneros sijų. Vienos faneros plokštės storis buvo 3mm. Skylės išmušimas žymiai paveikė angos krašto įtempimus, kurie parodyti pastebėti 15 paveiksle.

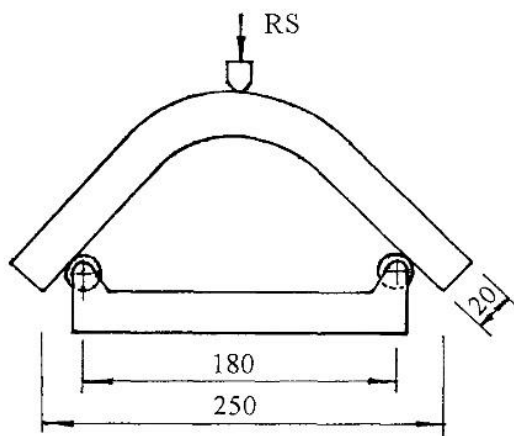


15 pav. Kairėje pusėje susidarę įtempiai aplink išmuštą skylę. Dešinėje pusėje eksponentiškai mažėjantys įtempiai lygiagrečiai pluoštui $\phi=40^\circ$ [15]

Bandiniai lenkiami pagal DIN 1052 standartus ir skaičiuojam pagal formules. Taip pat varžtai susukami netoli skylės ir jas lenkiant stebima jų įtaka klijuotos medienos plokštėms. Rezultatai rodo, kad klijuotos faneros plokštėms varžto jėga neturi įtakos.

1.3.2. LENKTOS FORMOS LUKŠTO GNIUŽDYMAS

Mokslininkai (Zhi-Hui Wu, Takeshi Furuno, Bin-Yuan Zhang) [16] radijo dažnio bangomis (RS) tyrė lenktos, klijuotos faneros savybes. Šiam bandymui tyrėjai naudojo 1250 mm ilgio, 150mm pločio ir 1,0mm arba 1,2mm storio pušies ir tuopos medienos bandinius bei UF klijus su 61-62% sausųjų dalelių. Ant vienos plokštės pusės buvo panaudotas 200g/m² klijų kiekis. Lenkta forma vaizdavo kėdės atlošą, buvo suklijuoti 20 arba 24 lukšto sluoksniai. Bendras storis 20mm. 51 paveiksle parodytas tyrimo metodas (RS).

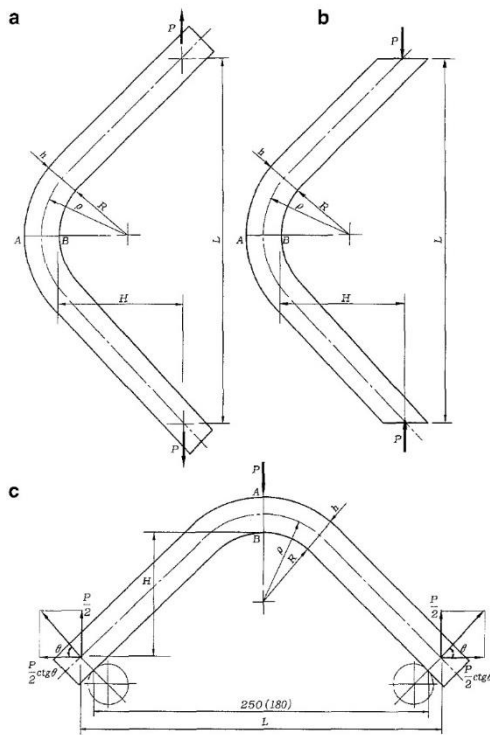


16 pav. RS metodas naudojamas ant lenktos, klijuotos lukšto plokštės [16]

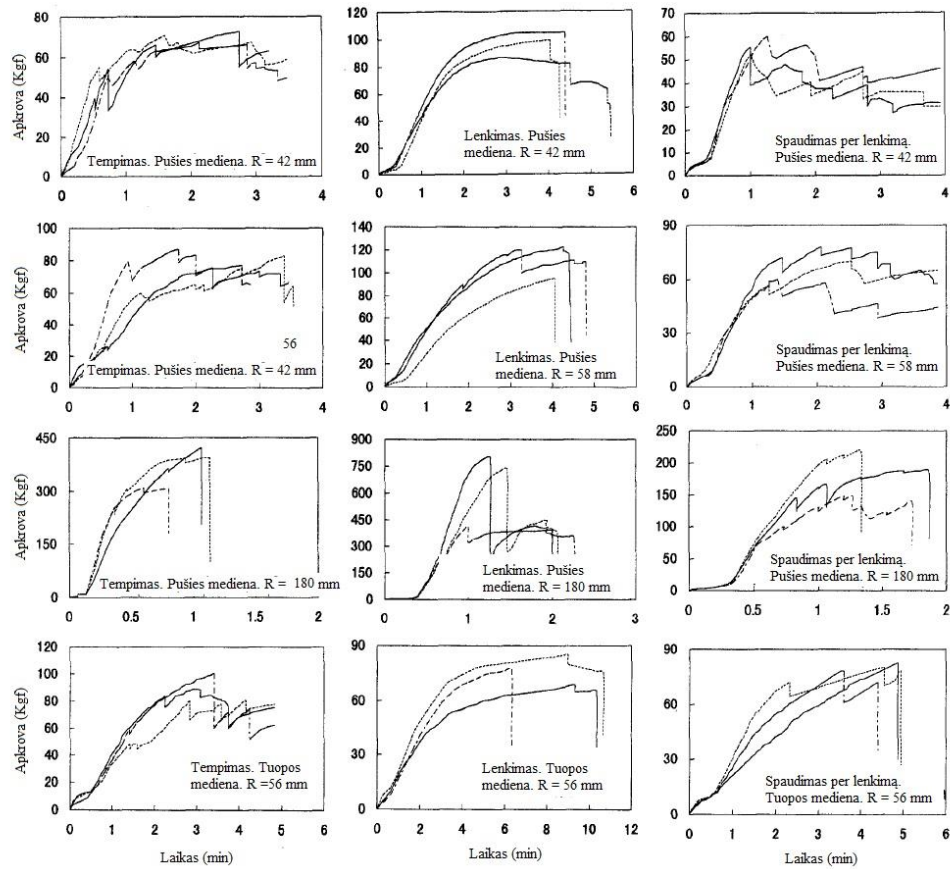
Pastebima, kad lenktos klijuotos faneros plokščių mechaninės ir fizikinės savybės yra geros. Bandinių savybių rezultatai parodo optimalias technologines savybes su lenkta ir klijuota fanera. RS testas pušies medienai buvo taikomas 7 minutes ir jos drėgnis buvo 6 – 10%. Tuopos medienai RS testas buvo taikomas 5 min ir jos drėgnis buvo 10 – 14%. Abiem medienos rūšims buvo taikomas 13,56MHz ir 4000V radijo dažnis.

Tyrimas parodė, kad lenktos ir klijuotos plokštės iš pušies ir tuopos medienos gali būti naudojamos baldų gamyboje. Bandymas parodė gautas geras mechanines savybes atliekant optimaliomis technologinėmis sąlygomis. Dažnis, elektros įtampa, radijo dažnis, spaudimo laikas ir drėgmės kiekis įtakojo mechanines savybes lenkiant. Medienos lukšto tankis turėjo didžiausią įtaką mechaninėms savybėms.

Mokslininkai (Zhi-Hui Wu, Takeshi Furuno) [17] tyrė įtempių pasiskirstymą ir lūžimo tipus lenktose, klijuotose faneros plokštėse. Bandymui buvo naudojamas pušies ir tuopos medienos lukštas. Testavimo metodai ir apkrovos kryptys parodytos 17 paveiksle. Buvo skaičiuojami išorinio sluoksnio (σ_A), vidinio sluoksnio (σ_B) ir centrinės ašies įtempiai (σ_R).



17 pav. Testavimo metodai: a) tempimas; b) lenkimas; c) gniuždymas [17]

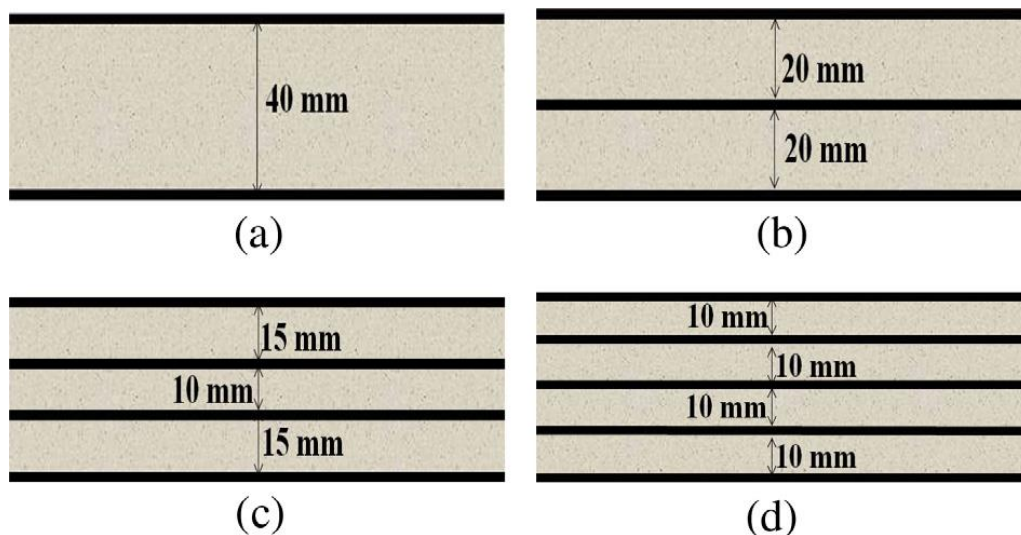


18 pav. Apkrovos ir trukmės santykis, lenkiant klijuotą lukštą deformuojamą trimis būdais [17]

Išorinio sluoksnio įtempiai (σ_A) buvo mažesni už vidinio sluoksnio įtempius (σ_B). 18 paveiksle yra pateiktos apkrovos ir trumės priklausomybės nuo medienos rūšies ir storio. Pušies medienos bandiniai apkrovos metu greit lūždavo, o tuopos bandiniai apkrovą atlaikydavo ilgesnį laiką. Apžvelgiant visus rezultatus galima teigti, kad tuopos medienos lukštas yra lankstesnė už pušies medienos lukštą. Pušies medienos lukštas mažiau deformavosi ir griečiau sulūžo, negu bandiniai pagaminti iš tuopos medienos.

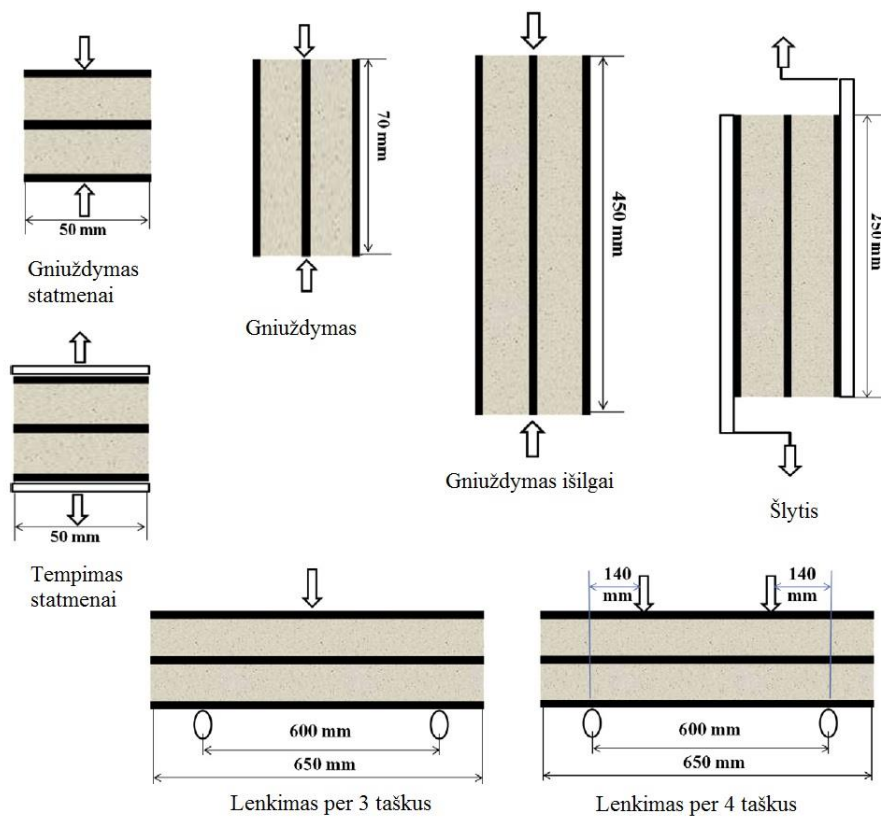
1.3.3. LUKŠTO SU PAPILDOMOMIS MEDŽIAGOMIS GNIUŽDYMAS

Mokslininkai (Nadia Lakreb, Boudjema Bezzazi, Helena Pereira) [18] tyrė sluoksnuoto lukšto ir kamštinės medienos plokščių mechanines savybes. Šiam bandymui atlikti jie naudojo 10mm, 15mm, 20mm, 40mm storio kamščio plokštes. Pušies medienos lukšto storis buvo 1,5mm. Buvo pagamintos keturių tipų S40, S20, S15, S10 daugiasluoksnės plokštės (19 pav.).



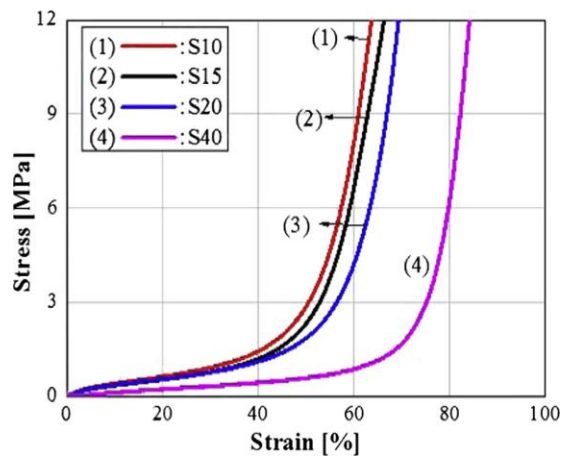
19 pav. Bandinių schemas: a) S 40, b) S 20, c) S15, d) S10 [18]

Plokštėms suklijuoti buvo naudotas karštas hidraulinis presas, kuriame temperatūra buvo 80°C, slėgis 40 bar ir presavimo laikas 10min. Plokštėms suklijuoti buvo naudojami karbamido – formaldehido klijai.



20 pav. Bandinių testavimo schema [18]

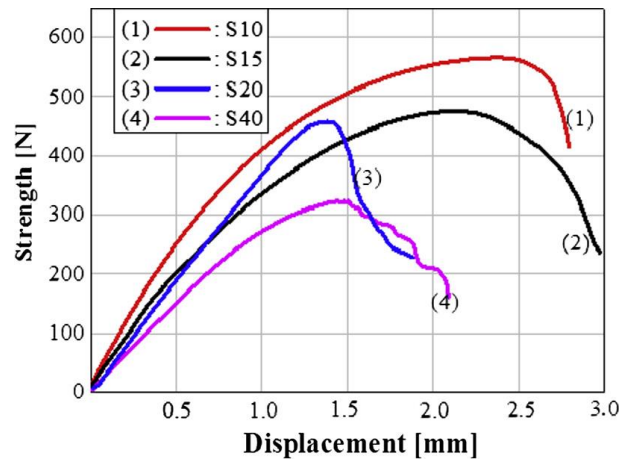
Tyrimo metu buvo gniuždomi 50mm pločio ir 50mm ilgio bandiniai. Po presavimo bandiniai laboratorijoje buvo laikomi 14 dienų, po to buvo išmatuotas jų aukštis. Tempiant statmenai mėginių matmenys buvo 50mm pločio ir 50mm ilgio. Gniuždant išilgai mėginių matmenys buvo 50mm pločio, 50mm ilgio ir aukštis nuo 70mm iki 450mm. Lenkiant per 3 ir 4 taškus mėginių matmenys buvo 650mm ilgio, 85mm pločio. Šlyties bandymui mėginių matmenys 250mm x 50mm x 45mm. Mėginių spaudimo statmena kryptimi rezultatai yra parodyti 21 paveiksle.



21 pav. Įtempių ir deformacijos priklausomybė, kur Stress – apkrova; Strain – įtempiai [18]

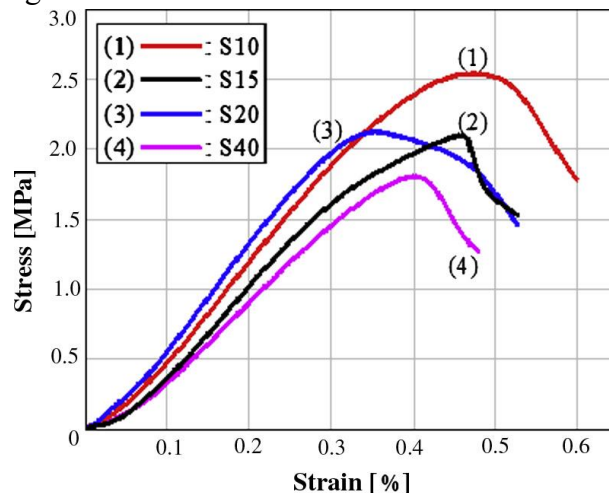
Spaudžiant statmenai didžiausią apkrovą atlaikė S10 bandiniai, nes jie buvo pagaminti iš 40mm storio kamščio plokštės, apklijuotos lukštu. Mažiausią apkrovą atlaikė bandinys S40, nes jis buvo sudėtas iš 4 kamščio plokščių apklijuotų lukštu, kurių storis 10mm.

Po gniuždymo visi bandiniai buvo palikti 14 dienų, kad sumažėtų įtempiai. S10 ir S15 grupės bandinių įtempiai po gniuždymo sumažėjo atitinkamai tik 66,6% ir 50%, o S20 ir S40 iki 95,4% ir iki 98,4%. Kuo didesnis kamščio plokštės storis, tuo mažiau lieka įtempiai. 22 paveikslas rodo stiprio ir deformacijos priklausomybę, tempimo apkrovą taikant statmena kryptimi. Mažiausiai jėgos reikėjo S40, o daugiausiai S10.

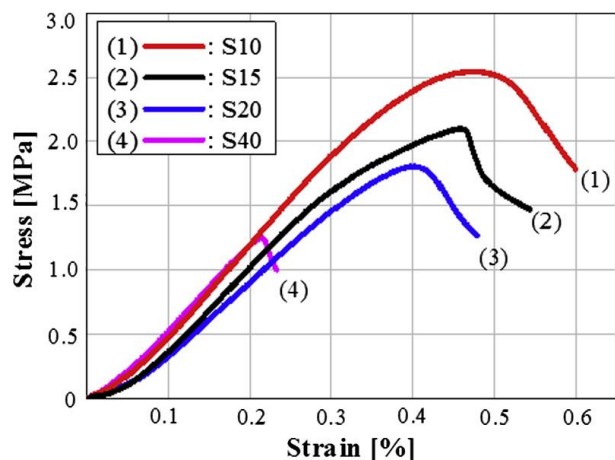


22 pav. Stiprio ir poslinkio priklausomybę kur: Stength – stipris; Displacement – deformacija [18]

23 ir 24 paveiksiai parodo gautus gniuždymo išilgine kryptimi rezultatus. Pirmoje fazėje padidėjo linijinė apkrova, atitinkamai atsirado mažos deformacijos. Gniuždant išilgine kryptimi visiems bandiniams apkrova padidėjo. Daugiausiai apkrovos atlaikė S10 grupės bandiniai, o mažiausiai - S40, nes jos greičiausiai sulūždavo.



23 pav. Įtempių ir deformacijos priklausomybę, kur Stress – apkrova; Strain – įtempiai [18]

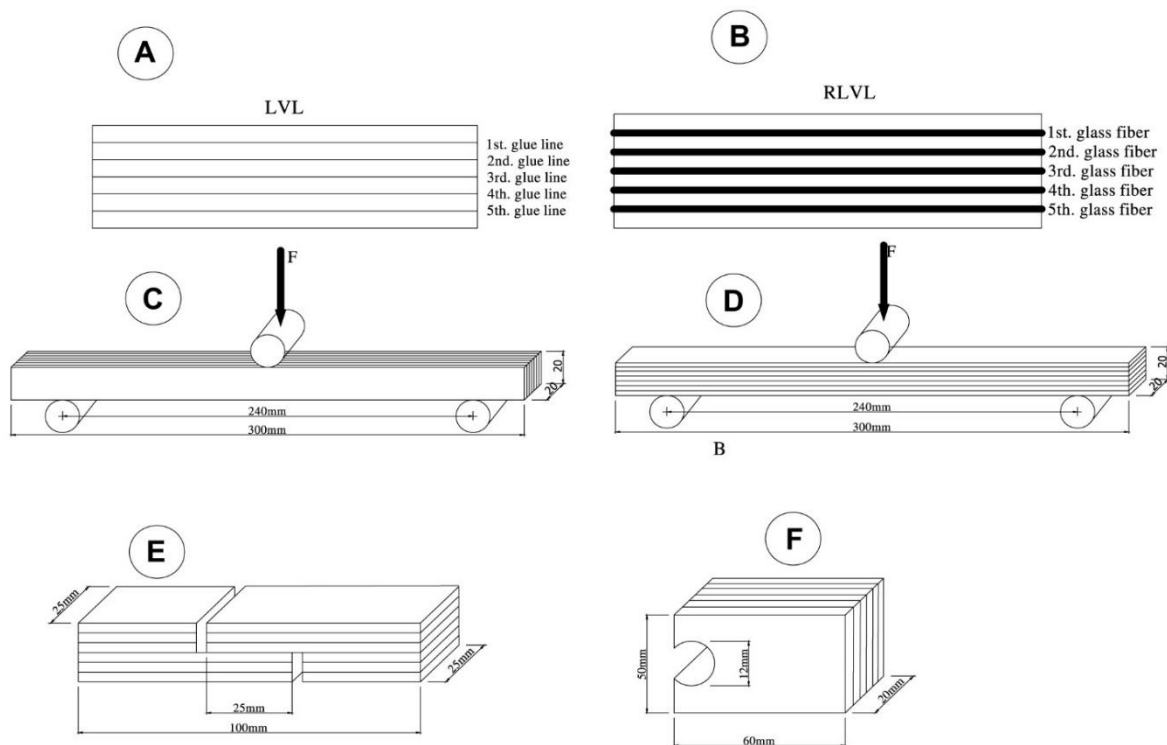


24 pav. Įtempių ir deformacijos priklausomybė, kur Stress – apkrova; Strain – įtempiai [18]

Apžvelgus visus rezultatus, galima teigti, kad lukšto ir kamštinės medienos sukibimas yra geras. Gniuždant statmenai kamštis susispaudė ir lukštas liko nepažeistas, apkrovą sugėrė kamštinės medienos plokštės. Papildomų sudėtinių medžiagų kiekis pagerino daugiasluoksnių bandinių mechanines savybes. Didinant lukšto ir kamščio sluoksnius, plokštės buvo tvirtesnės. Tempiant bandinius, pirmiausia jie įtrūkdavo per kamščio plokštės vidurį. Šios plokštės yra ekologiškos ir gali būti naudojamos kaip statybinė medžiaga dailylenčių gamybai arba gali būti naudojamos interjere.

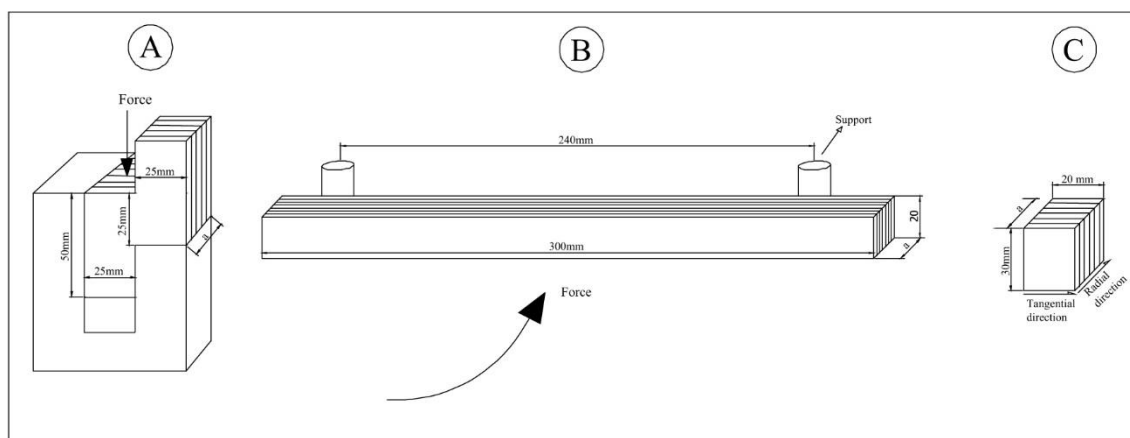
Mokslininkas Bekir Cihad Bal [19] tyrė klijuoto lukšto lankstumo savybes su stiklo pluošto audiniu. Lukštas ir stiklo audinys buvo klijuoti naudojant fenolio – forlamdehido klijus. Naudojamo tuopos medienos lukšto ilgis buvo 600 mm, plotis 600 mm ir 3 mm storio. Pagamintos dvejų grupių plokštės, 1 grupė – klijuotas lukštas, 2 grupė – klijuotas lukštas su stiklo pluoštu. 25 paveiksle yra pateiktos testavimo schemas.

Klijuotos faneros su stiklo pluoštu tankis padidėjo apie 56%, nes buvo naudota daugiau klijų. Klijuotas lukštas su stiklo pluoštu buvo 10 kartų atsparesnis šlyties bandymui (E). Apžvelgus visus rezultatus galima teigti, kad naudojant stiklo pluoštą atsparumas skilimui padidėjo 10 kartų. Mechaninės savybės tapo daug geresnės su stiklo pluoštu, taip pat padidėjo tankis.



25 pav. Bandinių ir testavimo schema. A) klijuotas lukštas; B) klijuotas lukštas ir įterptas stiklo pluošto audinys; C ir D gniuždymo kryptys; E) šlyties bandymas; F) atsparumas skilimui [19]

Tas pats mokslininkas taip pat tyrė fizikines ir mechanines klijuoto lukšto su stiklo pluoštu savybes. Jis naudojo tuopos lukštą ir fenolio – forlamdehido klijus. Mechaninėms savybėms nustatyti tyrimai buvo atlikti pagal (TS 3459 ir TS 2477) standartus, kurių schemas pateiktos 26 paveiksle. Fizikinės savybės buvo nustatytos pagal TS 2422, TS 4084 ir TS 4086 reikalavimus.



26 pav. a) šlyties testavimo metodas, b) lenkimo metodas, c) mėginys, skirtas fizikinėms savybėms tirti [20]

Buvo pastebėtas skirtumas tarp statmenai ir išilgai pluošto bandymo. Didesnį atsparumą turėjo lenkti išilgai pluošto bandiniai. Apžvelgus rezultatus galima daryti išvadas, kad klijuoto lukšto

su stiklo pluoštu atsparumas lenkimui yra didesnis, negu be jo. Fizikinės klijuotos medienos su stiklo pluoštu yra savybės geresnės, negu be pluošto.

1.4. ANALOGŲ ANALIZĖ

Kadangi yra planuojama gaminti savo baldų liniją, buvo peržiūrėtos jau esamos konstrukcijos ir dizainas. Tuo remiantis buvo sukurti planuojamo baldo eskizai.

1.4.1. MEDINĖ SUPAMOJI KĖDĖ

Dizaineris: Jolyan Yates

Ši kėdė pavadinimu „Breeze“, taip pat žinoma kaip „Savannah Rocher MK III“, yra patogi, supamoji, modernaus dizaino medinė kėdė, išraižyta iš klijuotos beržo faneros ir apdailinta specialiu PU satino laku. Šis elegantiškas vientisas baldas yra kruopščiai sukurtas, siekiant suderinti komfortą vartotojui ir malonumą žiūrovams. Šis gaminys yra 1000 mm aukščio, 520 mm pločio, 1000 mm ilgio.



27 pav. Medinė supamoji kėdė [21]

1.4.2. KĖDĖ „SAJI“

Dizaineris: Kishimoto

Šios kėdės kūrimas prasidėjo asmeniniu iššūkiu, dizaineriui kuriant trimatę formą iš vienos dvimatės formos. Jis naudojo klijuotas medienos faneros lengvai besilenkiančias juostas, besiformuojančias į norimą formą. Bendras kėdės dizainas suformavo judėjimo jausmą ir bendrą kompoziciją.



28 pav. „Saji“ kėdė [22]

1.4.3. SUPAMOJI KĖDĖ „GALA“

Dizaineris: Miri Mizrahi, Tel Aviv, Israel

Šios kėdės dizainas yra įkvėptas transformuojant dvimatę ir trimatę formas su mažai arba be jungiamųjų detalių. Sėdynės ir porankių juostos yra išlenktos taip, kad atitiktų ergonominius standartus ir būtų komfortiškos.



29 pav. „Gala“ supamoji kėdė [23]

1.4.4. STALAS „KAARI“

Dizaineris: Juhani Horelli

Suomių kalboje „kaari“ reiškia lanką, ir tai puikiai apibūdina šį stalą. Dizainerį iš pradžių įkvėpė tiltai. Baldo forma atskleidė tradicines Suomijos ir Skandinavijos presuotos faneros panaudojimą dizaine. Horellis naudojo tradicinį modernizuotą būdą kuriant šį naujos formos stalą šiuolaikiškam gyvenimui. Stalas yra pagamintas nupoliruotos ir apdailintos laku riešutmedžio, vengės ir beržo faneros.



30 pav. „Kaari“ stalas [24]

1.4.5. STALAS „ENTRE LES LIGNES“

Dizaineris: Keyne Dupont

Prancūzų dizaineris sukūrė labai įdomaus dizaino stalą, pagamintą iš trijų sluoksnių lenktų faneros plokščių, įstatomų į kojose esančius griovelius ir užtvirtinamų metaliniu kaiščiu.



31 pav. „Entre Les Lignes“ stalas [25]

1.4.6. KĖDĖ „CARNAVAL“

Dizaineris: Guido Lanari, Jesica Vicente

Tai puikaus dizaino elegantiška kėdė, pagaminta naudojant vientisą faneros juostą, kurią lenkiant, suformuota uždara kilpa, su kiaurymėmis per kurias praverta elastinga virvė.



32pav. „Carnaval“ kėdė [26]

1.4.7. SUOLIUKAS „BELT“

Dizaineris: Tarcisio Colzani

Šis suoliukas yra pagamintas iš supintos riešutmedžio faneros juostų primenančių stačiakampio formos audinį.

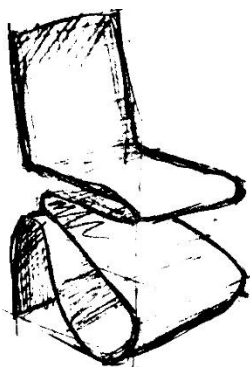


33 pav. „Belt“ suoliukas [27]

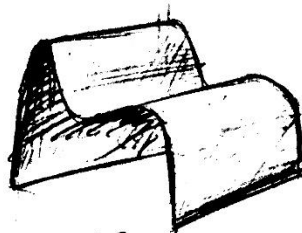
Išanalizavus visus šiuos gaminius buvo pastebėta, kad visi gaminiai yra stori ir jų gamyboje yra naudojamas storas medienos lukštas. Lukštas yra šutinamas ir dedamas į formą su klėjais, po to jis džiovinamas. Taip pat gamyboje naudojamos įvairios tvirtinančios ir stiprinančios medžiagos.

1.5. KURIAMO BALDO DIZAINAS IR KONSTRUKCIJA

Remiantis straipsnių analize, sukurti baldų eskizai (34 ir 35 pav.). 34 paveiksle yra pateikti kėdžių eskizai, 35 paveiksle - stalų eskizai. Numatomų baldų konstrukcija yra iš plonos faneros plokštės su kompozitinių medžiagų intarpais. Baldų akcentu siūloma spalvota klijų linija – į kljus įmaišomas pigmentas.



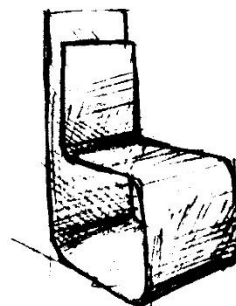
KĖDĖ



SUOLIUOKAS



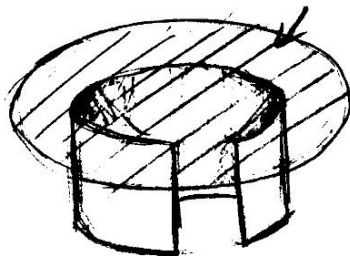
KĖDĖ



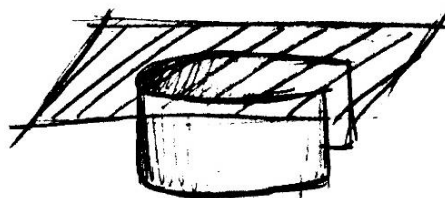
KĖDĖ

34 pav. Kėdės eskizai

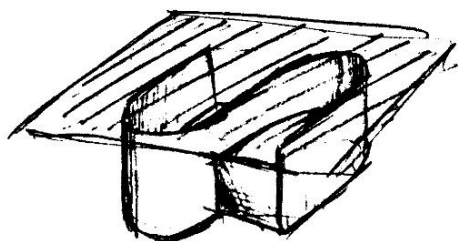
stiklas



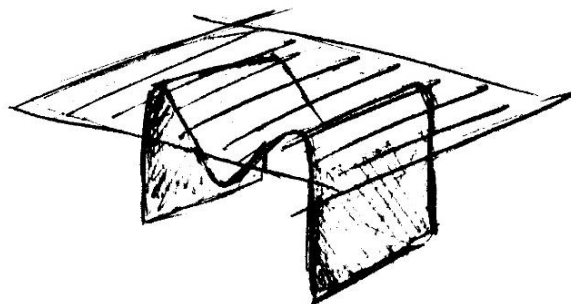
STALAS



STALAS



STALAS



STALAS

35 pav. Stalo eskizai

2. MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODIKA

2.1.NAUDOTOS MEDŽIAGOS

Tyrimams buvo naudojamas 0,5 – 0,6mm storio pušies, riešutmedžio ir buko lukštas. Darbe buvo naudojami „KLEIBERIT 501 PUR“ (PUR) poliuretaniniai klijai, „BRIKO PVA D2“ (PVA) polivinilo acetato dispersija, „PENOSIL Premium Epoxy Fix & Coat 507“ (EPD) dviejų komponentų epoksidiniai klijai. Taip pat buvo naudojamos papildomos stiklo pluošto ir anglies pluošto audinį stiprinančios medžiagos.

2.1.1. POLIVINILACETATINĖS DISPERSIJOS KLIJAI

Šiam tyrimui buvo naudoti polivinilacetato dispersijos „BRIKO PVA D2“ universalūs klijai (Estija).

1 lentelė. PVA klijų charakteristikos

Nr.	Charakteristika	Reikšmė
1.	Spalva	Klampus baltos spalvos skystis
2.	Sausųjų medžiagų masės dalis, nemažesnė nei	60%
3.	pH	6,0 – 7,0
4.	Klampa	400 – 600 mPas
5.	Santykinis tankis	1,0 – 1,1 g/cm ³
6.	Presavimo temperatūra	20 – 70°C
7.	Presavimo trukmė	5 – 30 min.
8.	Presavimo slėgis	0,3 – 1,0 MPa
9.	Atviro išlaikymo trukmė	~ 8 min.
10.	Uždaro išlaikymo trukmė	~ 12 min.
11.	Optimalus medienos drėgnis	5 – 15 %
12.	Klijų sąnaudos	120 – 200 g/m ²

2.1.2. POLIURETANINIAI KLIJAI

Šiame tyrime naudojami ypač atsparūs drėgmei ir temperatūros poveikiui, kietėjantys nuo aplinkos drėgmės, universalūs poliuretaniniai „PUR 501“ (*Kleiberit*, Vokietija) klijai.

2 lentelė. Poriuretaninių klijų charakteristikos

Nr.	Charakteristika	Reikšmė
1.	Bazė	Poliuretanai
2.	Kietėjimas	nuo drėgmės poveikio, besiplečiantys
3.	Atviro išlaikymo trukmė	~30 min.
4.	Santykinis tankis	1,13 g/cm ³
5.	Optimaliausias medienos drėgnis	Medienos vidinės dalies 8 – 10 % Medienos išorės dalies 10 – 14 %
6.	Klijų sąnaudos	100 – 200 g/m ²
7.	Minimalus slėgis klijuojant fanerą	0,5 MPa

2.1.3. EPOKSIDINĖ DERVA

„PENOSIL Premium Epoxy Fix & Coat 507“ - tai dviejų komponentų epoksidinė derva.

3 lentelė. Epoksidinės dervos charakteristikos

Nr.	Charakteristika	Reikšmė
1.	Spalva	Komponentas A – bespalvis Komponentas B - gelsvas
2.	Maišymo santykis	2:1
3.	Klampa	Komponentas A – 950 mPas Komponentas B – 750 mPas
4.	Santykinis tankis	Komponentas A – 1,16 g/m ³ Komponentas B – 0,97 g/m ³
5.	Džiūvimo laikas	72 val.
6.	Klijų sąnaudos	250 – 850 g/m ²

2.1.4. STIKLO PLUOŠTAS

Šiam tyrimui naudota stiklo audinio juosta „Knauf“, kapoto stiklo pluošto klijuotas audinys. Pluoštą sudaro įvairiomis kryptimis orientuoti, įvairaus ilgio klijuoti stiklo pluošto siūlo plaušai. Audinio tankis yra 180 g/m^2 . Audinio savybės visomis kryptimis yra vienodos.

2.1.5. ANGLIES PLUOŠTAS

Anglies pluošto siūlai audinyje yra orientuoti 45° kampu išilgai audinio pluošto atžvilgiu. Tarpusavyje pluoštai yra supintas eglute ir suklijuoti. Tokia kryptini orientuotas pluoštas yra tvirtas visomis kryptimis, ir atlaiko dideles apkrovas. Anglies pluošto audinio tankis yra 200 g/m^2 .

2.2. MEDIENOS BANDINIŲ PARUOŠIMAS

Naudojamas pušies, buko ir riešutmedžio lukštas. Iš viso pagaminta 300 vnt. bandinių. Kiekvienos medienos rūšies po 100 vnt. bandinių, kurie buvo klijuoti įvairias kljais su įterpta stiprinančia medžiaga. 4 lentelėje yra pateiktos eksperimente naudotos medžiagos. Medienos lukštas buvo formuojamas naudojant formą, kuri pateikta 36 paveiksle. Bandinių matmenys – $70 \times 80 \times 60 \text{ mm}$. Visi lukšto lakštai dedami ta pačia kryptimi pluošto atžvilgiu.

4 lentelė. Eksperimente naudotos medžiagos

Medienos rūšis	Sluoksnių skaičius	Klijai	Stiprinančios medžiagos
Riešutmedis	1	PUR	Stiklo pluošto audinys
Bukas	2	PVA	Anglies pluošto audinys
Pušis	3	EPD	



36 pav. Vieno lukšto sluoksnio bandiniai



37 pav. Trijų lukšto sluoksnių bandiniai, klijuoti PUR klėjais



38 pav. Trijų lukšto sluoksnių bandiniai, klijuoti PUR klėjais ir įterptas stiklo pluoštas

Bandiniai gaminami iš riešutmedžio medienos lukšto (210 x 60 x 0,55 mm), buko (210 x 60 x 0,45 mm ir pušies (210 x 60 x 0,7 mm), lenkiami naudojant formą. Vieno lukšto sluoksnio bandinių galai, reikiamos formos išlaikymui buvo suklijuoti su lipnia juosta, užleista po 1 cm. Klijuojant 2, 3 sluoksnių fanerą, klėjams išsklaidyti buvo naudojama mentelė. Bandiniams sutvirtinti naudojamas stiklo pluošto ir anglies pluošto audinys įterpiamas tarp lukšto. Visi bandiniai lenkiami ant formos ir, priklausomai nuo naudojamų klijų, paliekami džiuoti nuo 3 iki 72 valandų.

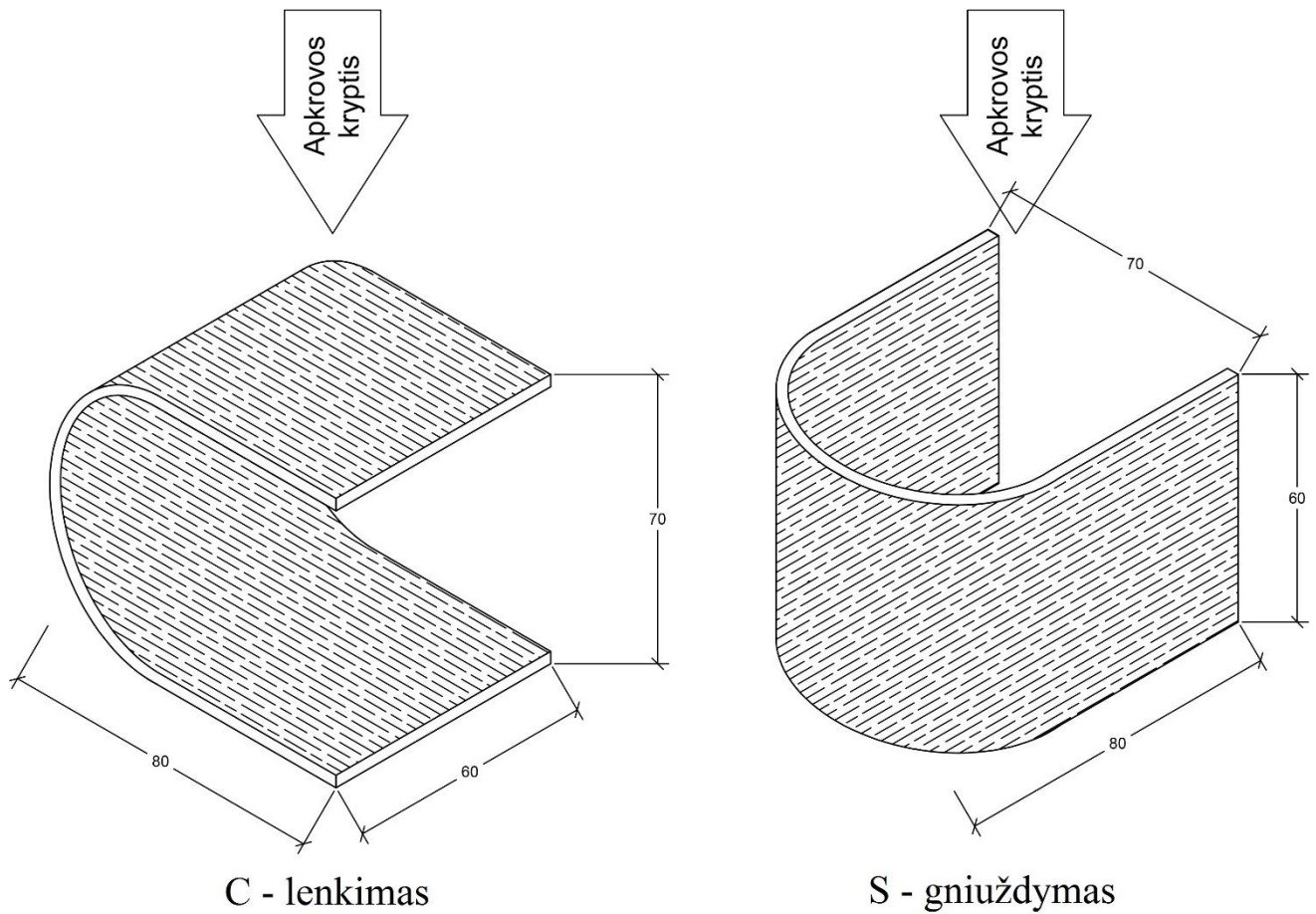


39 pav. Bandinių lenkimo forma

2.3. BANDINIŲ METODIKA

Bandinių patvarumui nustatyti naudota universali bandymo mašina „P – 0,5“, kurios maksimali jėga yra 500 kg ir „P – 5“ - kurios maksimali jėga yra 5000 kg. Naudojami „Revers“ griebtai.

Bandiniai buvo gniuždomi išilgai pluošto ir statiškai lenkiami. 40 paveiksle yra pateiktos apkrovos kryptys. Atliekant patvarumo bandymą, ruošiniai yra apkraunami iki suirimo ir nustatoma didžiausia F_{max} jėga, reikalinga ruošiniui suardyti. Gniuždant bandinius naudojamas 10 mm/min greitis.



40 pav. Apkrovo kryptis: C) lenkimas, S) gniuždymas

Tolimesniuose tyrimų aprašymo rezultatuose naudoti trumpinimai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Bandinių žymėjimas

Eil. Nr.	Reikšmė	Simbolis
1.	Gniuždymo būdas	S – gniuždymas C – lenkimas
2.	Lukšto sluoksnių kiekis	1, 2, 3
3.	Medienos rūšis	R – riešutmedis B – bukas P – pušis

4.	Klijai	PVA – „BRIKO PVA D2“ universalūs klijai PUR – Kleiberit 501 PUR klijai ED – „PENOSIL Premium Epoxy Fix & Coat 507“ dviejų komponentų epoksidinė derva
5.	Papildomos stiprinančios medžiagos	SP – stiklo pluoštas AP – anglies pluoštas

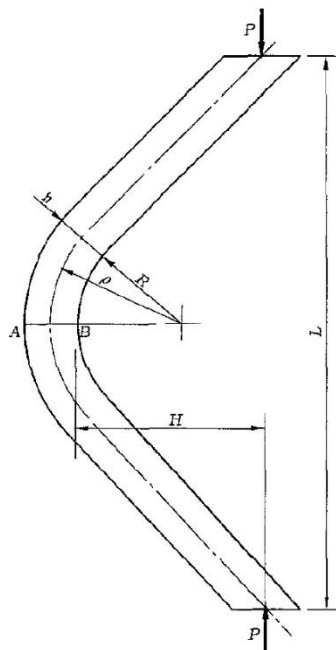
2.4.KLIJUOTOS FANEROS STIPRIO SKAIČIAVIMAI

Klijuotos faneros patvarumo bandymai atlikti naudojant universalią bandymo mašiną „P – 0,5“ ir „P – 5“ su „Revers“ griebtuvais. Nustatyta maksimali P_{max} jėga, reikalinga bandinio sulaužymui. Bandinių storis išmatuotas slankmačiu $\pm 0,1$ mm tikslumu. Skaičiavimai atlikti remiantis (Zhi-Hui W., Furuno T.) [17] mokslininku atliktais tyrimais ir skaičiavimais. Atsparumas gniuždymui (σ_0) apskaičiuotas pagal formulę (1):

$$\sigma_0 = \frac{P}{bh}, \quad (1)$$

kur P yra maksimali apkrova (N), b yra bandinio ilgis (mm), h yra bandinio storis (mm).

Lenkimo bandymo metodo schema yra pateikta 41 paveiksle. Šiais bandymais galima nustatyti išorinio sluoksnio (σ_A), vidinio sluoksnio (σ_B) ir centrinės ašies įtempius (σ_R).



41 pav. Lenkimo bandymo metodo schema, kur A – išorinis sluoksnis, B – vidinis sluoksnis, P – maksimali apkrova, R – išlinkio spindulys, h – bandinio storis, H – atstumas nuo įgaubto paviršiaus iki apkrovos atramos linijos, L – atstumas tarp atramos taškų [17]

Bandinių išorinio sluoksnio įtempiai (σ_A) apskaičiuoti pagal formulę (2):

$$\sigma_A = -\frac{P}{bh} + \frac{P\left(H + \frac{h}{2}\right)}{bh\left(R + \frac{h}{2}\right)} \left[1 + \frac{\frac{h}{2}}{k(R+h)}\right] \quad (2)$$

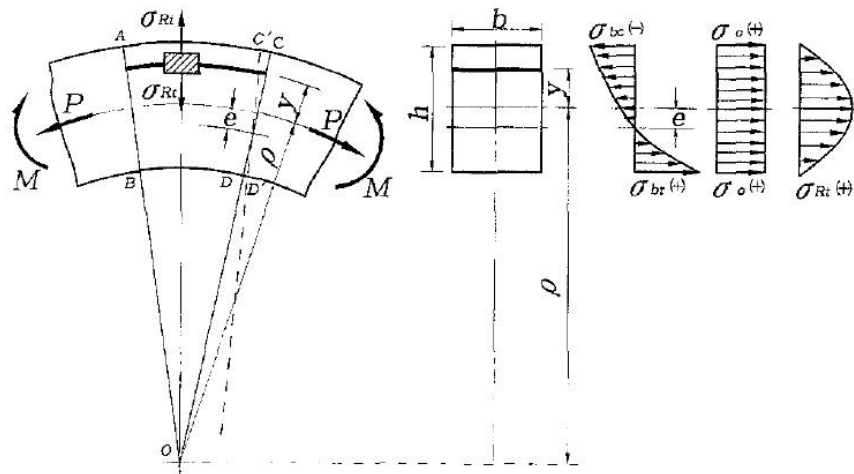
kur P – yra maksimali apkrova (N), R – išlinkio spindulys (mm), b – bandinio ilgis (mm), h – bandinio storis (mm), H – atstumas nuo įgaubto paviršiaus iki apkrovos atramos linijos (mm), L – atstumas tarp atramos taškų (mm), k – stačiakampio formos faktorius.

Bandinių vidinio sluoksnio įtempiai (σ_B) apskaičiuoti pagal formulę (3):

$$\sigma_B = -\frac{P}{bh} + \frac{P\left(H + \frac{h}{2}\right)}{bh\left(R + \frac{h}{2}\right)} \left[1 - \frac{\frac{h}{2}}{kR}\right] \quad (3)$$

kur P yra maksimali apkrova (N), R - išlinkio spindulys (mm), b - bandinio ilgis (mm), h - bandinio storis (mm), H - atstumas nuo įgaubto paviršiaus iki apkrovos atramos taško (mm), L - atstumas tarp atramos taškų (mm), k – stačiakampio formos faktorius.

Centrinės ašies įtempiai (σ_R) susidaro gniuždant lenktos klijuotos faneros medienos gaminius ir veikiant juos lenkimo momentu (M). 42 paveiksle yra pateiktas centrinės ašies įtempių charakteristikos. (σ_R) yra atsparumas lenkimui. Jis gaunamas neigiamas, nes lenkiamo bandinio kreivumo spindulys didėja. Jai lenktas bandinys būtų tempiamas, centrinės ašies įtempiai būtų teigiami.



42 pav. Centrinės ašies įtempių charakteristikos schema [17]

Bandinio centrinės ašies įtempiai (σ_R) apskaičiuoti pagal formulę (4):

$$\sigma_R = -\frac{3P(H+\frac{h}{2})}{2bh(R+\frac{h}{2})} \quad (4)$$

kur P – maksimali apkrova (N), R – išlinkio spindulys (mm), b – bandinio plotis (mm), h - bandinio storis (mm), H – atstumas nuo įgaubto paviršiaus iki apkrovos atramos taško (mm).

Lenkimo momentas (M) apskaičiuotas pagal formulę (5):

$$M = P(H + \frac{h}{2}) \quad (5)$$

kur P – maksimali apkrova (N), H – atstumas nuo įgaubto paviršiaus iki apkrovos atramos taško (mm), h – bandinio storis (mm).

Formos faktorius - tai dizaino išraiška apibrėžianti ir nustatanti formą, dydį ir kitas fizikines savybes. Stačiakampio formos faktorius apskaičiuotas pagal formulę (6):

$$k = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{S} = \frac{\frac{bh^2}{4}}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{6}{4} = 1,5 \quad (6)$$

3. TYRIMO REZULTATAI

Šiame skyriuje aptarti tyrimo metu gauti rezultatai ir pateikti jų grafikai. Riešutmedžio, buko ir pušies medienos lukšto, klijuoto PUR, PVA ir epoksidine derva su stiprinančiomis medžiagomis, gauti rezultatai yra pateikti 6 lentelėje, kurioje (P) – maksimali apkrova reikalinga bandinių sulaužymui, (σ_A) – bandinių išorinio sluoksnio įtempiai, (σ_B) – bandinių vidinio sluoksnio įtempiai, (σ_R) – bandinio centrinės ašies įtempiai, M – lenkimo momentas (Nm).

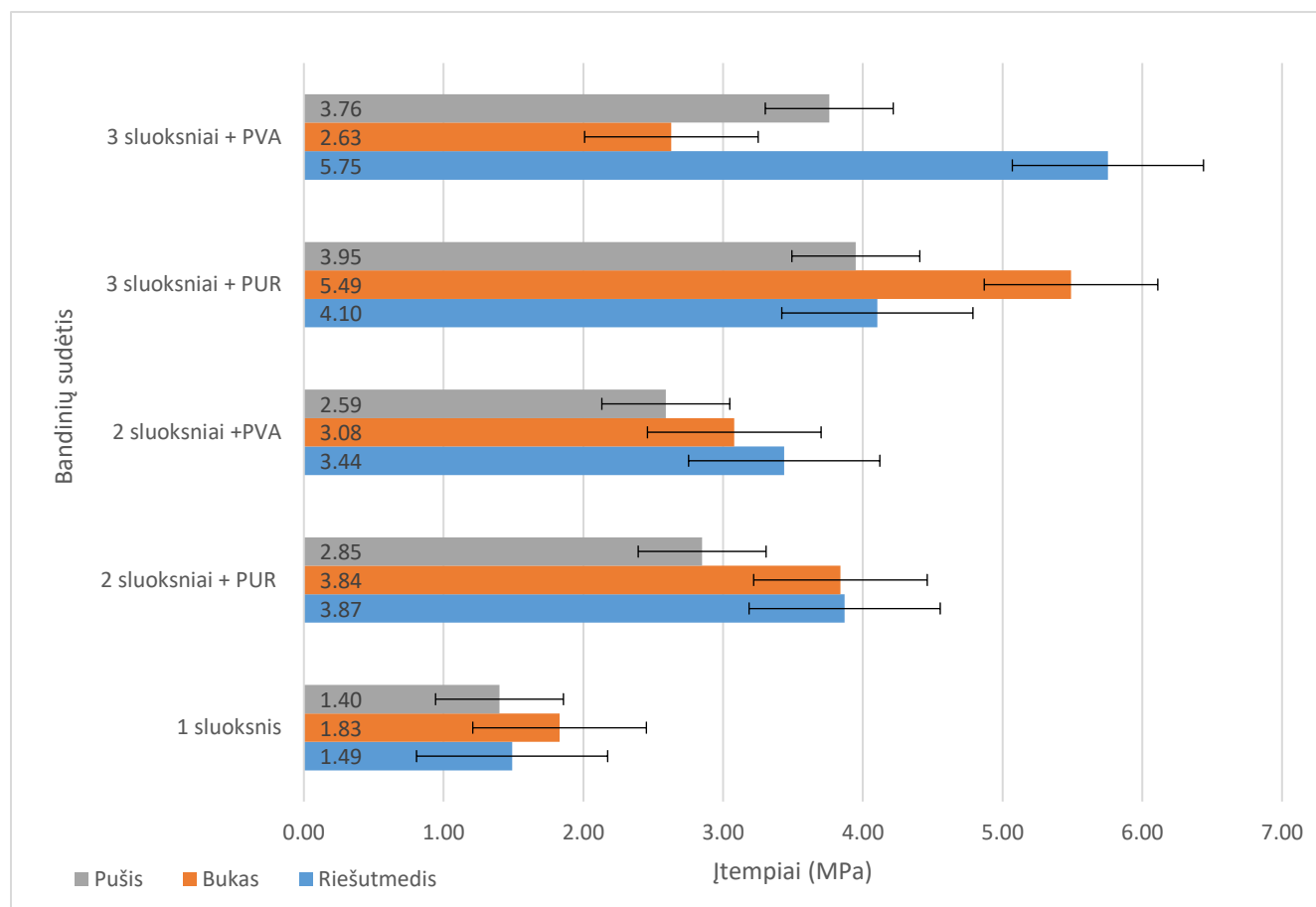
6 lentelė. Tyrimo rezultatai

Medienos rūšis	Sluoksnių skaičius	Apkrovos kryptis	Klijai	Stiprinančios medžiagos	P (N)	σ_0 (Mpa)	σ_A (Mpa)	σ_B (Mpa)	σ_R (Mpa)	M (Nm)
Riešutmedis	1	Gniuždymas	-	-	164	1.49				
		Lenkimas			11		0.54	0.53	-1.38	9.77
	2	Gniuždymas	PUR	-	972	3.87				
					Lenkimas	56		1.06	1.02	-2.67
		Gniuždymas	PVA	-	707	3.44				
					Lenkimas	68		1.47	1.53	-3.99
		Gniuždymas	PUR	Stiklo pluoštas	1328	4.74				
					Lenkimas	72		1.32	1.27	-3.33
		Gniuždymas	PVA	Stiklo pluoštas	897	3.14				
					Lenkimas	58		0.97	0.92	-2.44
		Gniuždymas	EPD	Anglies pluoštas	2485	9.12				
					Lenkimas	76		1.32	1.27	-3.34
	3	Gniuždymas	PUR	-	1799	4.10				
					Lenkimas	126		1.83	1.74	-4.61
		Gniuždymas	PVA	-	1839	5.75				
					Lenkimas	143		2.19	2.08	-5.51
		Gniuždymas	PUR	Stiklo pluoštas	2693	6.01				
					Lenkimas	150		1.74	1.64	-4.38
		Gniuždymas	PVA	Stiklo pluoštas	2084	5.02				
					Lenkimas	122		1.39	1.30	-3.49
Gniuždymas	EPD	Anglies pluoštas	8523	18.43						
			Lenkimas	263		2.61	2.43	-6.54	231.65	
Bukas	1	Gniuždymas	-	-	316	1.83				

		Lenkimas			14		0.84	0.83	-2.14	13.96
	2	Gniuždymas	PUR	-	598	3.84				
		Lenkimas			48		0.88	0.85	-2.23	41.78
		Gniuždymas	PVA	-	605	3.08				
		Lenkimas			53		1.00	0.96	-2.53	46.80
		Gniuždymas	PUR	Stiklo pluoštas	1178	3.86				
		Lenkimas			52		0.80	0.76	-2.02	45.64
		Gniuždymas	PVA	Stiklo pluoštas	1048	3.67				
		Lenkimas			74		1.29	1.24	-3.26	65.11
		Gniuždymas	EPD	Anglies pluoštas	2461	8.48				
		Lenkimas			123		2.00	1.91	-5.04	108.20
	3	Gniuždymas	PUR	-	2477	5.49				
		Lenkimas			95		0.85	0.79	-2.13	83.93
		Gniuždymas	PVA	-	1188	2.63				
		Lenkimas			165		1.78	1.67	-4.47	145.69
		Gniuždymas	PUR	Stiklo pluoštas	2774	5.56				
		Lenkimas			121		1.17	1.09	-2.94	106.93
		Gniuždymas	PVA	Stiklo pluoštas	1403	2.63				
		Lenkimas			252		2.24	2.06	-5.59	222.90
		Gniuždymas	EPD	Anglies pluoštas	5022	10.35				
		Lenkimas			285		2.76	2.56	-6.92	251.43
Pušis	1	Gniuždymas	-	-	196	1.40				
		Lenkimas			31		1.04	1.02	-2.64	26.90
	2	Gniuždymas	PUR	-	952	2.85				
		Lenkimas			56		0.77	0.73	-1.95	48.90
		Gniuždymas	PVA	-	822	2.59				
		Lenkimas			80		1.21	1.15	-3.06	70.58
		Gniuždymas	PUR	Stiklo pluoštas	1534	3.84				
		Lenkimas			78		0.93	0.87	-2.33	68.86
		Gniuždymas	PVA	Stiklo pluoštas	1201	3.18				
		Lenkimas			87		1.09	1.03	-2.75	76.81
		Gniuždymas	EPD	Anglies pluoštas	2862	8.06				
		Lenkimas			81		1.06	1.00	-2.67	70.61
	3	Gniuždymas	PUR	-	1981	3.95				
		Lenkimas			170		1.55	1.44	-3.89	149.74
		Gniuždymas	PVA	-	1911	3.76				
		Lenkimas			120		1.12	1.03	-2.79	106.23
		Gniuždymas	PUR	Stiklo pluoštas	3472	5.34				
		Lenkimas			225		1.64	1.48	-4.08	199.05
		Gniuždymas	PVA	Stiklo pluoštas	2060	4.06				
		Lenkimas			121		1.13	1.04	-2.82	106.81
Gniuždymas		EPD	Anglies pluoštas	8109	14.79					
Lenkimas				252		2.18	2.01	-5.45	222.98	

3.1. BANDINIŲ ATSPARUMO GNIUŽDANT IR LENKIANT REZULTATAI

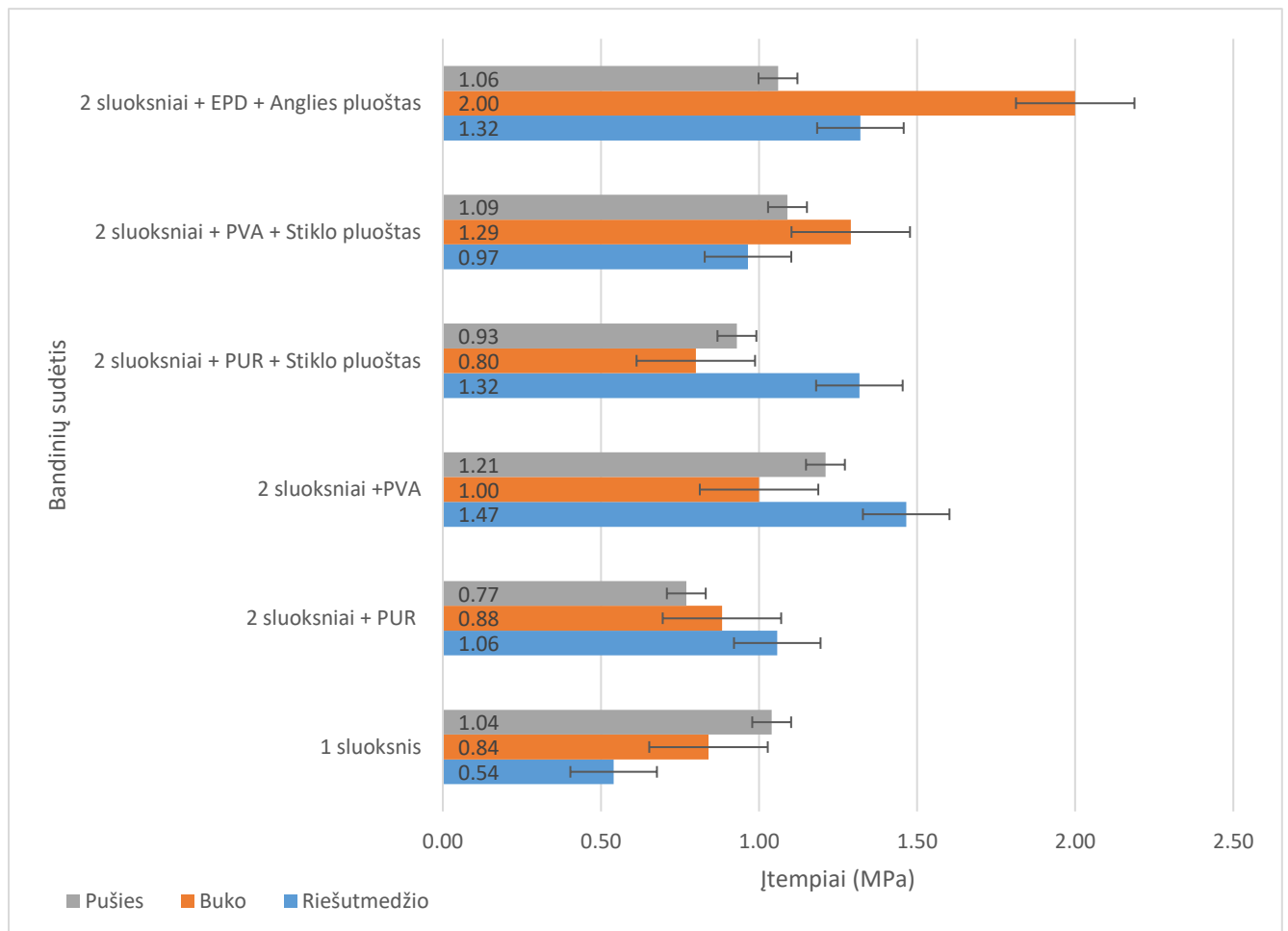
Bandiniai buvo klijuoti 1, 2 ir 3 sluoksniais su PUR, PVA D2 ir ED, taip pat buvo įterptos stiprinančios stiklo pluošto ir anglies pluošto audinio medžiagos. 43 paveiksle yra pateikta atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų. Didžiausią įtaką turi lukšto sluoksnių skaičius ir klijai. Dvejų sluoksnių bandiniai, klijuoti su PVA D2 ir PUR klijais, pasižymėjo panašiomis stiprumo savybėmis. Bandiniai iš pušies lukšto, klijuoti su PUR, turėjo 10% didesnę atsparumą negu klijuoti su PVA D2 klijais, bukas – 20%, riešutmedis – 12%. Lyginant 2 sluoksnių bandinius su 3 sluoksnių bandiniais, klijuotais su PUR klijais, pušies lukšto stiprumas padidėjo 28%, buko – 52%. Gniuždant bandinius didžiausią įtaką turi lukšto sluoksnių skaičius, kai kuriais atvejais stiprumas padvigubėja.



43 pav. Atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus ir klijų tipo

Buvo išanalizuoti bandiniai, pagaminti iš dviejų sluoksnių lukšto, klijuoto su PUR, PVA ir ED, taip pat įterptu stiklo pluošto ir anglies pluošto audiniu. 44 paveiksle pateikta atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų. Dvejų lukšto sluoksnių bandiniai, klijuoti su PUR, lyginat su bandiniais, į kuriuos yra įterptas stiklo pluoštas, galima konstatuoti, kad pušies

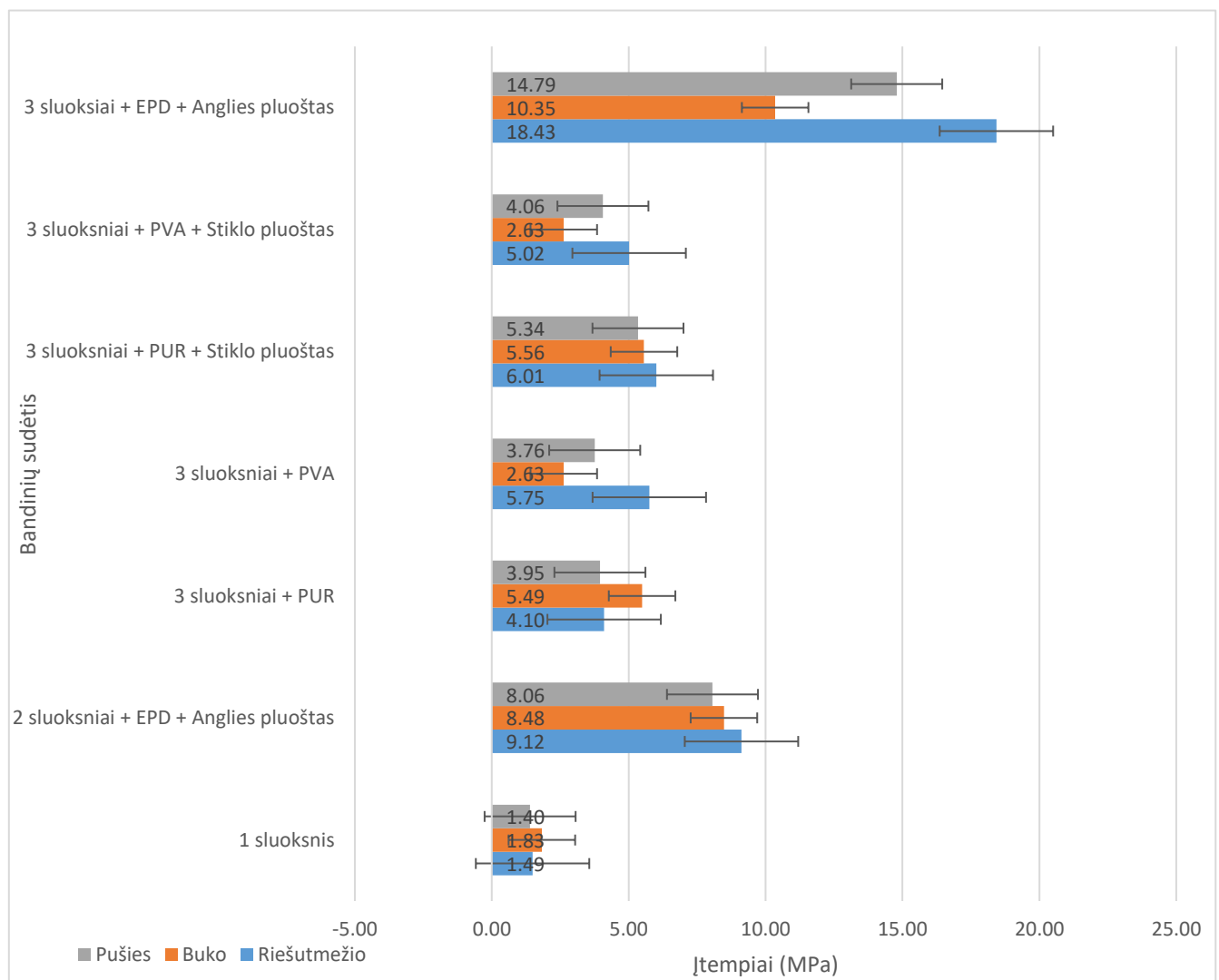
medienos baninių stiprumas padidėjo 26%, riešutmedžio – 19%, o buko medienos bandiniams tai beveik neturėjo įtakos. Panašūs rezultatai buvo gauti ir su PVA klijais. Geriausi rezultatai gauti naudojant epoksidinę dervą ir anglies pluošto audinį. Bandinių, pagamintų iš buko medienos lukšto, klijuoti naudojant ED ir su įterptu anglies pluoštu lyginant su PUR ir stiklo pluoštu, stiprumas padidėjo 52%, pušies – 55%, riešutmedžio – 49%. Anglies pluošto audinys su epoksidine derva padvigubino atsparumą gniuždymui.



44 pav. Atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, klijų ir stiprinančių medžiagų

Dviejų sluoksnių bandiniai, suklijuoti su ED ir anglies pluošto audiniu, turi geresnes patvarumo savybes, negu trijų sluoksnių bandiniai su PUR arba PVA D2 ir įterptu stiklo pluoštu. Rezultatai pateikti 45 paveiksle. Mėginiai, pagaminti iš 2 lukšto sluoksnių su epoksidine derva ir anglies pluošto audiniu, lyginat su 3 lukšto sluoksnių su PUR ir stiklo pluošto audiniu, pušies medienos baniniai buvo 34% stipresnis gniuždymui, buko mediena taip pat 34%, o riešutmedžio mediena 35%.

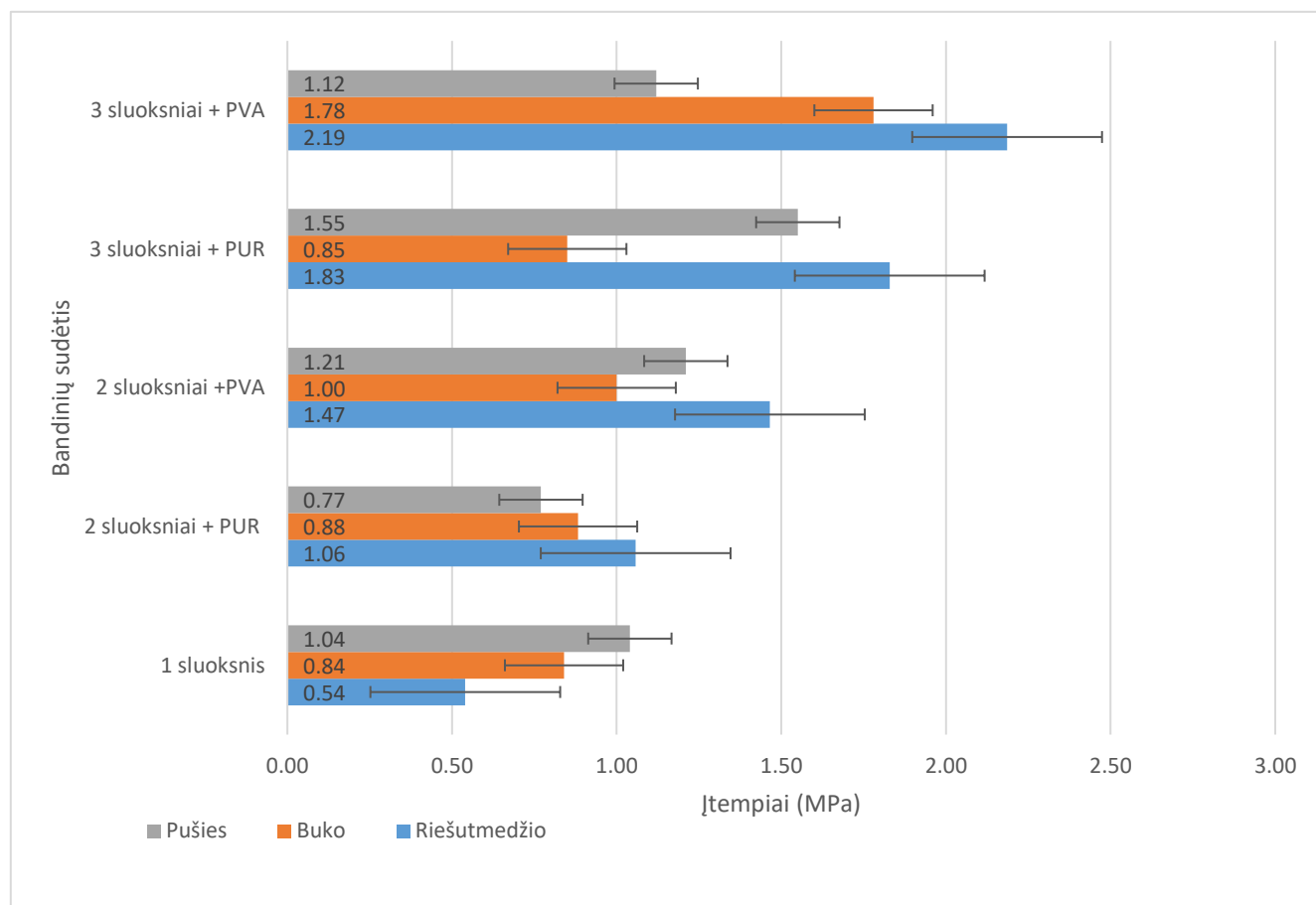
Lyginant 2 sluoksnių bandinius su 3 sluoksnių bandiniais, klijuotais su epoksidine derva ir anglies pluoštu, galima teigti, kad pušies medienos stiprumas išaugo – 46%, buko – 23%, riešutmedžio – 51%. Papildomas anglies pluošto audinio ir medienos lukšto sluoksnis su epoksidinė derva bandinius sutvirtina dvigubai.



45 pav. Atsparumo gniuždymui priklausomybė nuo medienos rūšies, sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų

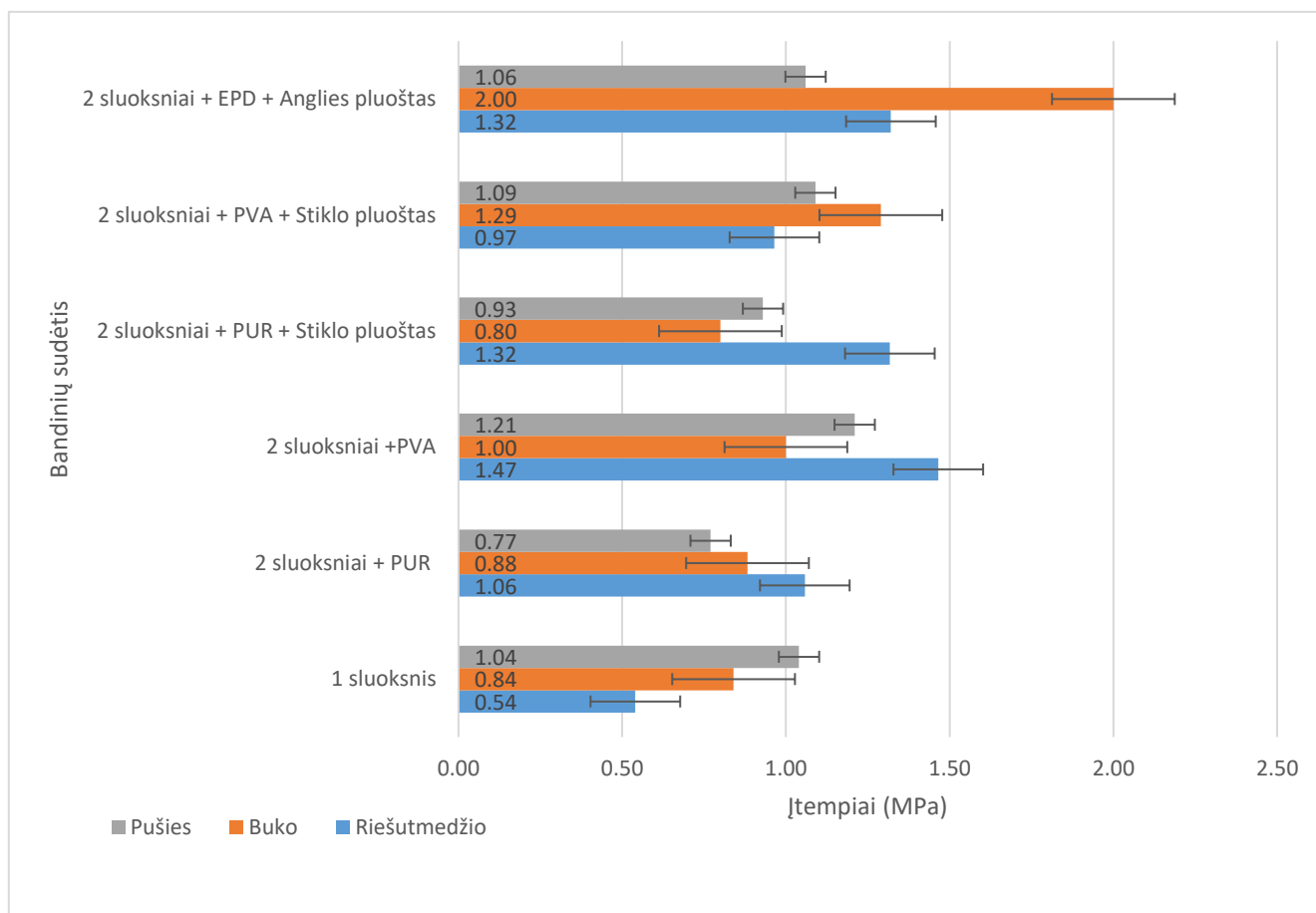
Atsparumas lenkimui vertinamas pagal išorinio sluoksnio, vidinio sluoksnio ir centrinės ašies įtempius. Lenkiant dviejų ir trijų sluoksnių bandinius, klijuotus su PUR ir PVA D2, išorinio sluoksnio

įtempių priklausomybė nuo kompozicinės medžiagos sudėties pateikta 46 paveiksle. Didžiausią įtaka patvarumui turėjo klijai ir lukšto sluoksnių skaičius, lyginant 2 sluoksnių su 3 sluoksnių pušies medienos lukšto bandinius, klijuotais su PUR, stiprumas lenkimui padidino 51%, o klijuoti su PVA D2 - atsparumas padidėjo tik 8%. Riešutmedžio medienos lukšto bandinių klijavimas su PUR patvarumą lenkimui padidino 42%, su PVA D2 – 33% .



46 pav. Išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus ir klijų

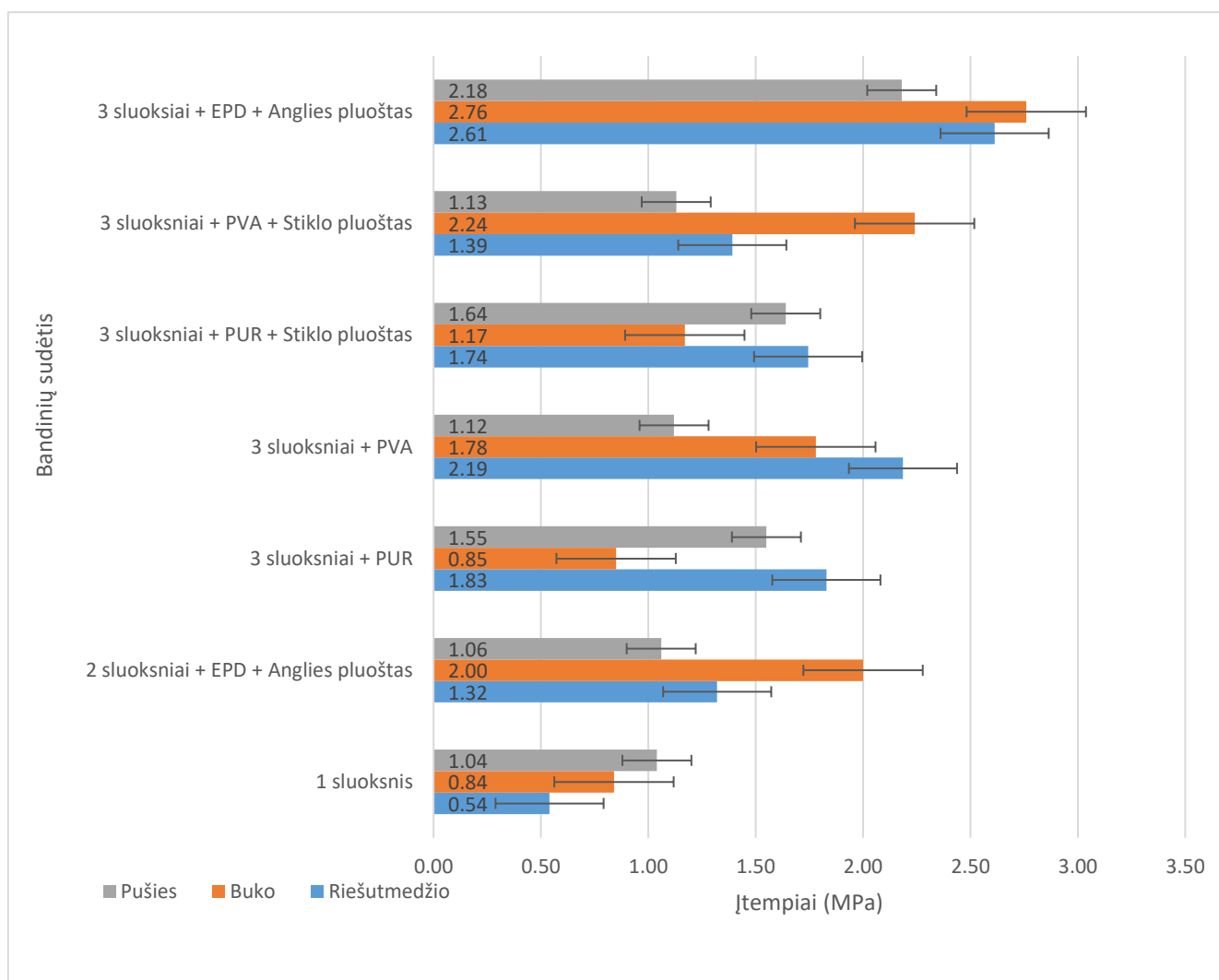
47 paveiksle pateikti išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų. Bandiniai pagaminti iš dviejų lukšto sluoksnių, klijuotų su PUR, PVA, epoksidine derva ir įterptu stiklo ir anglies pluošto audiniu. Dviejų lukšto sluoksnių bandiniai, klijuoti su PUR, lyginant su bandiniais, klijuotais tais pačiais klijais bet įterptu stiklo pluoštu, riešutmedžio medienos atsparumas padidėjo 20%, buko – 19%, pušies – 17%. Panašūs rezultatai gaunami ir su PVA klijais bei įterptu stiklo pluoštu. Kompozicinė medžiaga su epoksidine derva ir anglies pluoštu lenkiant turėjo panašius išorinius įtempius kaip ir su PVA, PUR ir stiklo pluošto kompozitu. 1.91 (MPa) atlaikė buko medienos lukštas su epoksidine derva ir anglies pluoštu 35% daugiau, negu klijuota su PVA ir stiklo pluoštu.



47 pav. Išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų

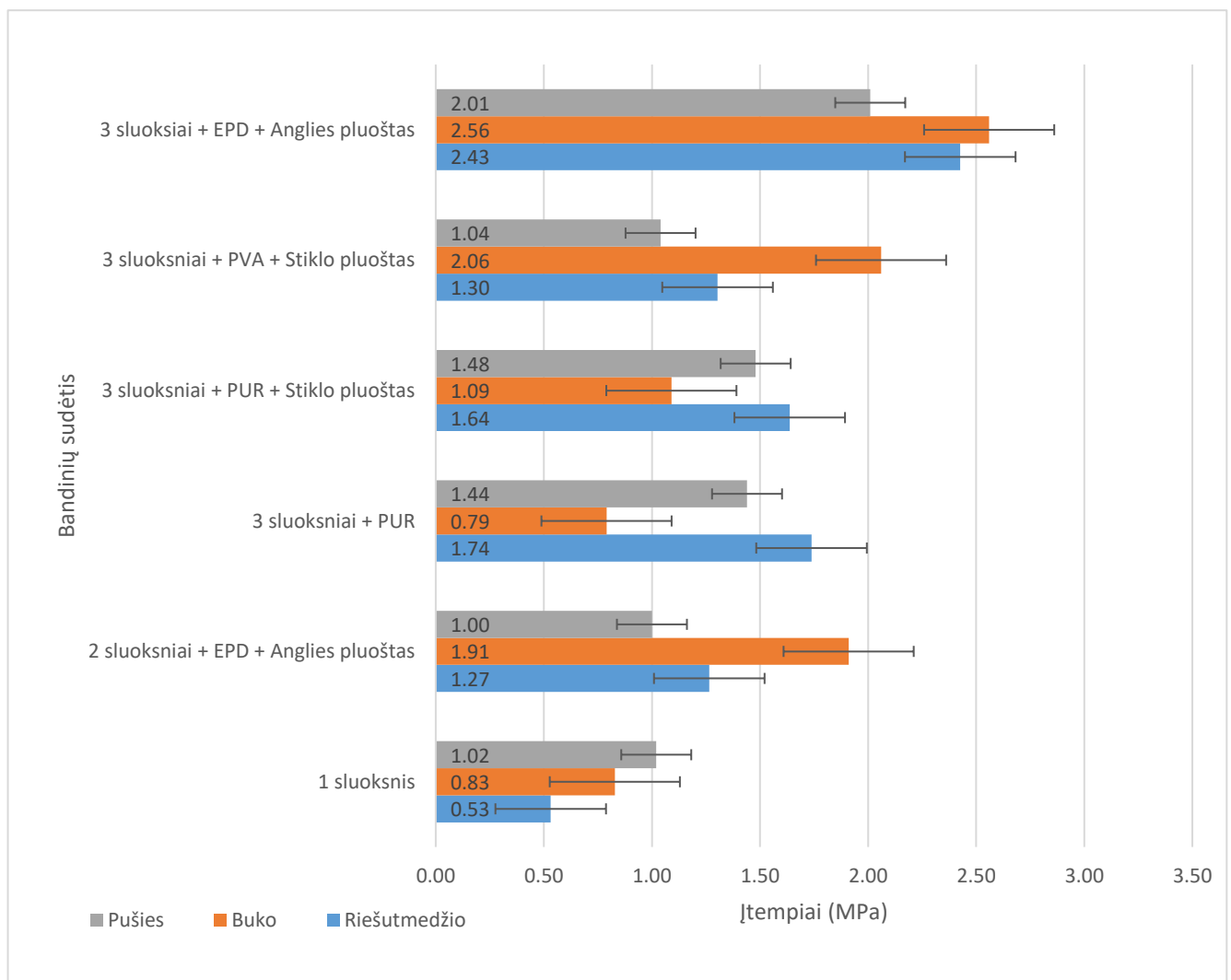
Išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų (48 pav.). Apžvelgiami dviejų lukšto sluoksnių bandiniai, klijuoti epoksidine derva ir anglies pluoštu, lyginant trijų sluoksnių su PUR ir stiklo pluoštu. Kompozicinė medžiaga su epoksidine derva ir anglies pluoštu atlaikė 41% daugiau įtempių, negu su PUR ir stiklo pluoštu. Lyginant 2 sluoksniais ir 3 sluoksniais klijuotus su epoksidine derva ir anglies pluoštu, pušies mediena su papildomu sluoksniu turėjo 52% didesnę atsparumą tempimui, bukas – tik 28% o riešutmedis – 50%.

Lyginant 3 sluoksnių bandinius klijuotus tik su kljais be stiprinančių medžiagų su 2 sluoksnių bandiniais klijuotus su ED ir įterptu anglies pluoštu turėjo panašius išorinius įtempius.



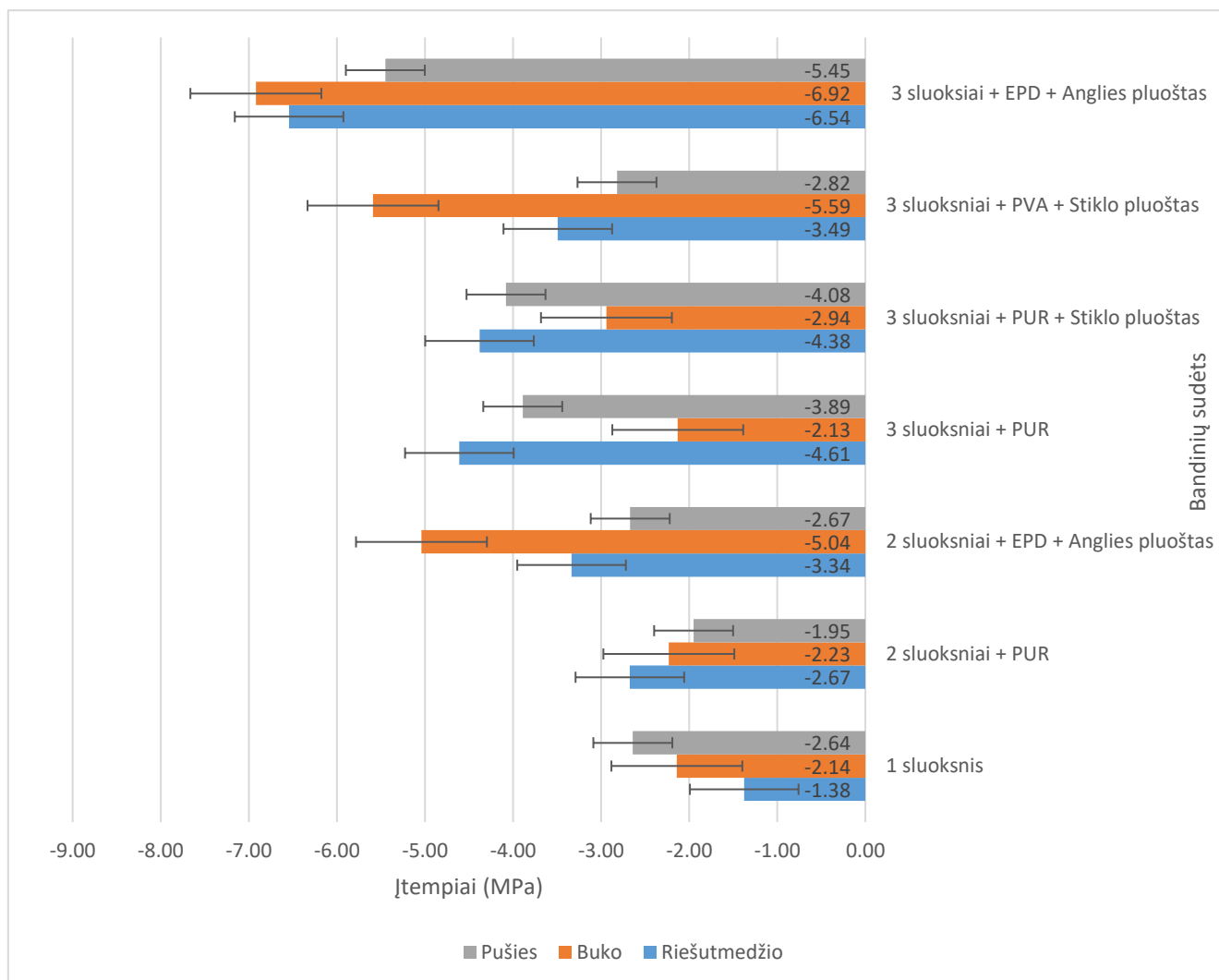
48 pav. Išorinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų

Vidinio sluoksnio įtempių priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų yra pateikta 49 paveiksle. Pastebėta, kad didžiausius vidinio sluoksnio įtempius atlaikė 3 lukšto sluoksnių buko medienos bandiniai, klijuoti su epoksidine derva ir anglies pluošto audiniu – 2,56 (MPa). Tai sudarė 58% daugiau negu 3 sluoksnių su PUR ir stiklo pluošto audiniu. Taip pat didelę įtaką patvarumui gniuždant vidinį bandinio sluoksnį turi lukšto ir stiprinančios medžiagos sluoksnių skaičius. 3 sluoksnių kompozitinė medžiaga lyginant su 2 sluoksnių kompozitine medžiaga, pušies mediena atlaikė 51 % daugiau, buko – 25%, riešutmedžio – 48%.



49 pav. Vidinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančiųjų medžiagų

Centrinės ašies įtempiai lenkiant yra pateikti 50 paveiksle, kuriame pastebima, kad didžiausią įtaką turi bandinių kompozicinės medžiagos sudėtis ir kiekis. Geriausias savybes turi bandiniai pagaminti iš trijų medienos lukšto sluoksnių, epoksidinės dervos ir anglies pluošto audinio. Lyginant su 2 sluoksnių kompozitinės medžiagos bandiniais, riešutmedžio atsparumas padidėjo 51%, buko – 28% ir pušies – 52%. Remiantis japonų mokslininkų (Zhi-Hui Wu, Takeshi Furuno) [17] atlaikais tyrimais, centrinės ašies įtempiai gaunami neigiami, nes lenkimo metu bandinio kreivumo spindulys didėja. Apžvelgiant 2 sluoksnių baninius klijuotus su ED ir įterptu anglies pluoštu pušies medienos patvarumas buvo 32% mažesnis negu 3 sluoksnių su PUR klijais, riešutmedžio – 28%. Buko medienos bandiniai su EP ir anglies pluoštu buvo 68% stipresni už 3 sluoksnių su PUR.



50 pav. Centrinės ašies įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančių medžiagų

Apžvelgiant visus rezultatus galima teigti, kad bandiniai, pagaminti su epoksidine derva ir anglies pluoštu, turi padidintą patvarumą. Pastebėta, kad didžiausią įtaką patvarumui turi medienos lukšto ir anglies pluošto sluoksnių skaičius. Lenkimo atveju, norint pasiekti pakankamą patvarumą, baldų gamybai reikėtų naudoti didesnę lukšto sluoksnių skaičių taip pat įterpiant anglies pluošto audinį. Geriausias savybes anglies pluoštas turi naudojamas kartu su epoksidine derva.

4. IŠVADOS

- Medienos rūšis didelės įtakos kompozicinių bandinių stiprumui neturėjo. Bandinių sanklijos stipris priklausė nuo įterpto kompozito tipo
- Lyginant trijų sluoksnių fanerą, klijuotą su skirtingais klėjais be stiprinančiųjų medžiagų, geriausią patvarumą parodė bandiniai, klijuoti su PUR klėjais.
- Kuo didesnis medienos lukšto sluoksnių skaičius, tuo didesnis patvarumas. Papildomas vieno lukšto sluoksnis konstrukcija sutvirtina apie 20%.
- Kompozicinių elementų sluoksnių skaičius labai įtakoja patvarumą. Stiklo pluošto audinys bandinių patvarumą padidina 10 – 20%. Dar didesnę stiprį parodė bandiniai su įterptu anglies pluoštu ir klijuoti su epoksidine derva. Jų stipris gniuždymui ir lenkimui buvo 50% didesnis, nei su įterptu stiklo pluoštu ir klijuotų su PUR. Medienos lukštas, klijuotas naudojant epoksidine dervą ir anglies pluošto audinį sudaro labai tvirtą kompozitą.

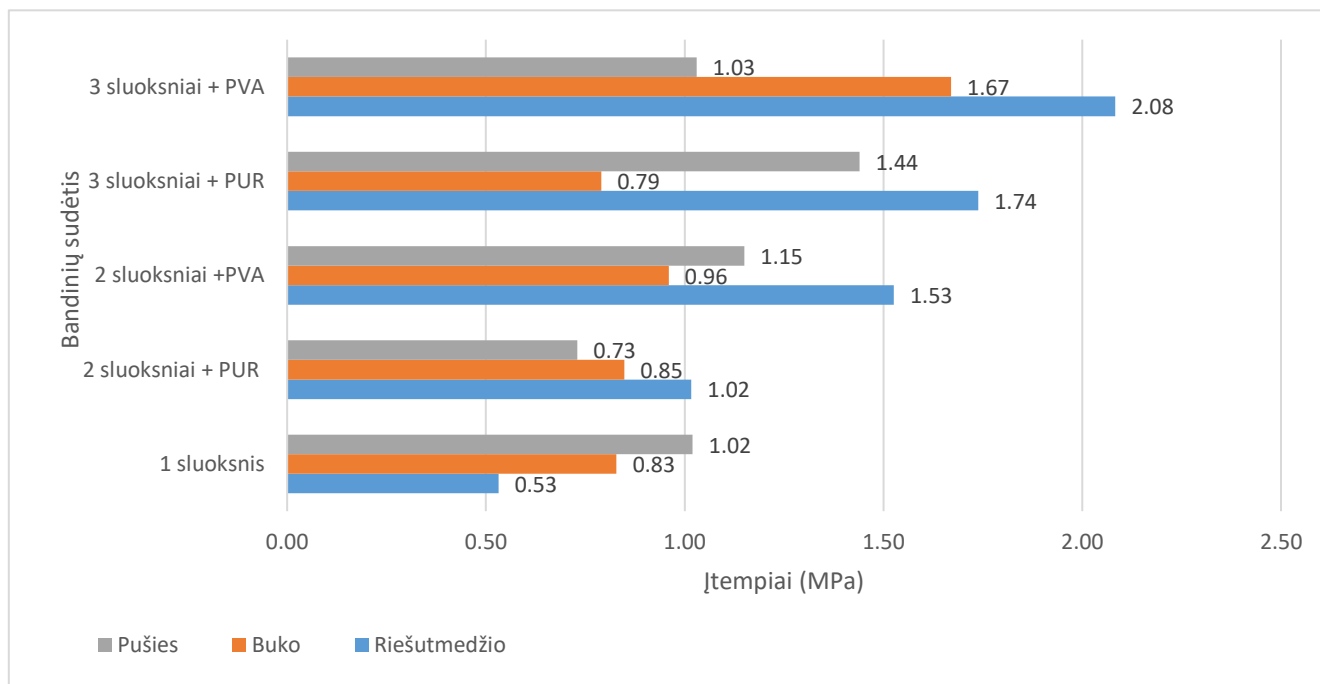
5. LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. CLAU S., JOSCAK M., NIEMZ P. Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests. *Eur. J. Wood Prod.* (2011). 69: 101–111
2. RATNASINGAM J., IORAS F. Effect of adhesive type and glue-line thickness on the fatigue strength of mortise and tenon furniture joints. *Eur. J. Wood Prod.* (2013). 71:819–821
3. BEKHTA P., MARUTZKY R. Reduction of glue consumption in the plywood production by using previously compressed veneer. *Holz Roh Werkst.* (2007). 65: 87–88
4. BEKHTA P., NIEMZ P., SEDLIACIK J. Effect of pre-pressing of veneer on the glueability and properties of veneer-based products. *Eur. J. Wood Prod.* (2012). 70: 99–106
5. SHUKLA S. R., PASCAL KAMDEM D. Properties of laminated veneer lumber (LVL) made with low density hardwood species: effect of the pressure duration. *Holz Roh Werkst.* (2008). 66: 119–127
6. VASSILIOU V. Bending strength of thin 3 – ply poplar plywood in relation to core veneer joints. *Holz als Roh und Werkstoff* . (1996). 54
7. OZCIFIC A. Effects of scarf joints on bending strength and modulus of elasticity to laminated veneer lumber (LVL). *Building and Environment* .(2007). 42: 1510–1514
8. CIHAD BAL B., BEKTAS I., MENGELOGLU F., KARAKUS K., ÖKKES DEMIR H. Some technological properties of poplar plywood panels reinforced with glass fiber fabric. *Construction and Building Materials.* (2015). 101: 952–957
9. HIROFUMI I., HIROFUMI N., HIDEO K., ATSUSHI M., YASUSHI H. Strength properties of laminated veneer lumber in compression perpendicular to its grain. *J Wood Sci.* (2010). 56:422–428
10. RAHAYU I., DENAUD L., MARCHAL R., DARMAWAN W. Ten new poplar cultivars provide laminated veneer lumber for structural application. *Annals of Forest Science.* (2015). 72:705–715
11. WAGENFUHR A., BUCHELT B., PFRIEM A. Material behaviour of veneer during multidimensional moulding. *Holz als Roh- und Werkstoff.* (2006). 64: 83–89
12. CASTRO G., BERTI S., PISANO M. Preliminary study on the variation of the bending properties of poplar rotary-cut veneer. *Eur. J. Wood Prod.* (2014). 72:837–839
13. FONSELIUS M. Effect of size on the bending strength of laminated veneer lumber. *Wood Science and Technology.* (1997).31: 399-413
14. BANERJEE S., BHATTACHARYYA D. Optimal design of sandwich panels made of wood veneer hollow cores. *Composites Science and Technology.* (2011). 71: 425–432
15. ARDALANY M., FRAGIACOMO M., MOSS P., DEAM B. An analytical model for design of reinforcement around holes in Laminated Veneer Lumber (LVL) beams. *Materials and Structures.* (2013). 46:1811–1831
16. ZHI-HUI W., FURUNO T., BIN-YUAN Z. Properties of curved laminated veneer lumber made from fast-growing species with radiofrequency heating for use in furniture. *J Wood Sci.* (1998). 44:275-281
17. ZHI-HUI W., FURUNO T. Stress distributions and failure types of curved laminated veneer lumber for use in furniture under loading. *J Wood Sci.* (1999). 45:134-142

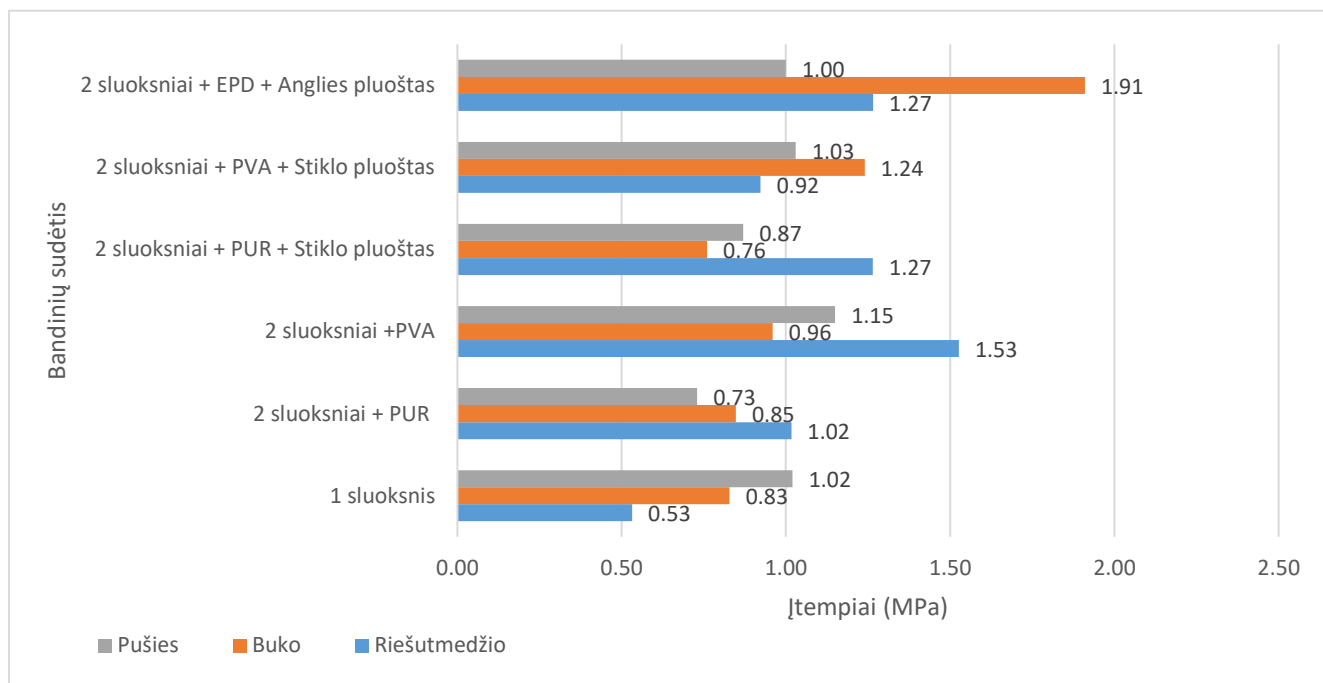
18. LAKREB N., BEZZAZI B., PEREIRA H. Mechanical behavior of multilayered sandwich panels of wood veneer and a core of cork agglomerates. *Materials and Design*. (2015). 65: 627–636
19. CIHAD BAL B. Flexural properties, bonding performance and splitting strength of LVL reinforced with woven glass fiber. *Construction and Building Materials*. (2014).51: 9–14
20. CIHAD BAL B. Some physical and mechanical properties of reinforced laminated veneer lumber. *Construction and Building Materials*. (2014). 68: 120–126.
21. *THE BIG SWOPP CHAIR: Yanko Design* [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2017-02-05]. Prieiga per: <http://www.yankodesign.com/2010/05/21/the-big-swoop-chair/>
22. *SAJI CHAIR: Kishimoto* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2017-02-06]. Prieiga per : <http://kishimotodesign.com/Saji-Chair>
23. *GALA CHAIR: Design quest*. [interaktyvus]. 2010. [2017-01-25]. Prieiga per : <http://www.designquest.biz/gallery/furncomp10/furncomp10.html>
24. *KAARI TABLE: Design milk*. [interaktyvus]. 2013. [2017-01-28]. Prieiga per : <http://design-milk.com/kaari-table-by-juhani-horelli/>
25. *ENTRE LES LIGNES: Daily tonic*. [interaktyvus]. 2010. [2017-02-28]. Prieiga per : <http://www.dailytonic.com/entre-les-lignes-by-keyne-dupont-fr/>
26. *CARNAVAL CHAIR: Coroflot*: [interaktyvus]. 2014. [2017-03-10]. Prieiga per : <http://www.coroflot.com/GuidoLanari/Carnaval-Chair>
27. *BELT BENCH: Poliform*: [interaktyvus]. 2014. [2017-03-01]. Prieiga per : <http://www.poliformaustralia.com.au/belt-bench.html>
28. *UNIVERSALŪS PVA KLIJAI: Briko*. [interaktyvus]. 2017. [2017-03-15]. Prieiga per : <http://www.briko.lt/lt/produktai/klijai-5/universalus-pva-klijai-34>
29. *POLIURETANINIAI KLIJAI: Egmida*. [interaktyvus]. 2017. [2017-03-15]. Prieiga per : <http://www.egmida.lt/kleiberit-produktai/poliuretaniai-klijai-15/lt/>
30. *EPOKSIDINĖ DERVA: Remmers*. [interaktyvus]. 2017. [2017-04-15]. Prieiga per : <http://www.remmers.lt/192+M5be0632544a.0.html#bot>
31. *SIKLO PLUOŠTAS: Knauf*. . [interaktyvus]. 2017. [2017-04-01]. Prieiga per : <http://www.knauf.lt/produktai-ir-sistemas/glasfaser-fugendeckstreifen.html>
32. *ANGLIES PLUOŠTAS: Compositus*. [interaktyvus]. 2017. [2017-03-20]. Prieiga per : <http://www.compositus.lt/product/200-g-anglies-audinys>
33. *FORMOS FAKTORIUS: Shape Factor*. [interaktyvus]. 2017. [2017-04-20]. Prieiga per : https://ay14-15.moodle.wisc.edu/prod/pluginfile.php/89919/mod_resource/content/2/Laterally%20Braced%20Beams_Part%203.pdf

6. PRIEDAI

1 PRIEDAS – VIDINIO SLUOKSNIO ĮTEMPIAI

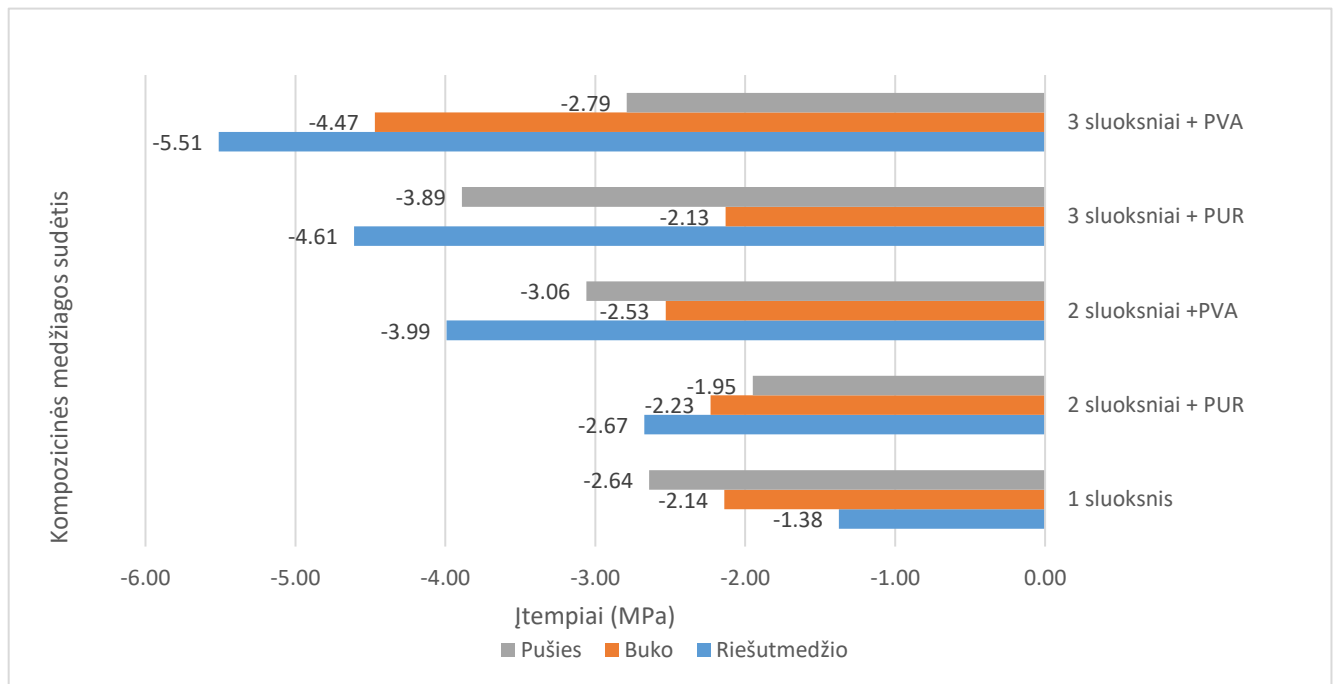


1 Pav. Vidinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus ir klijų tipo

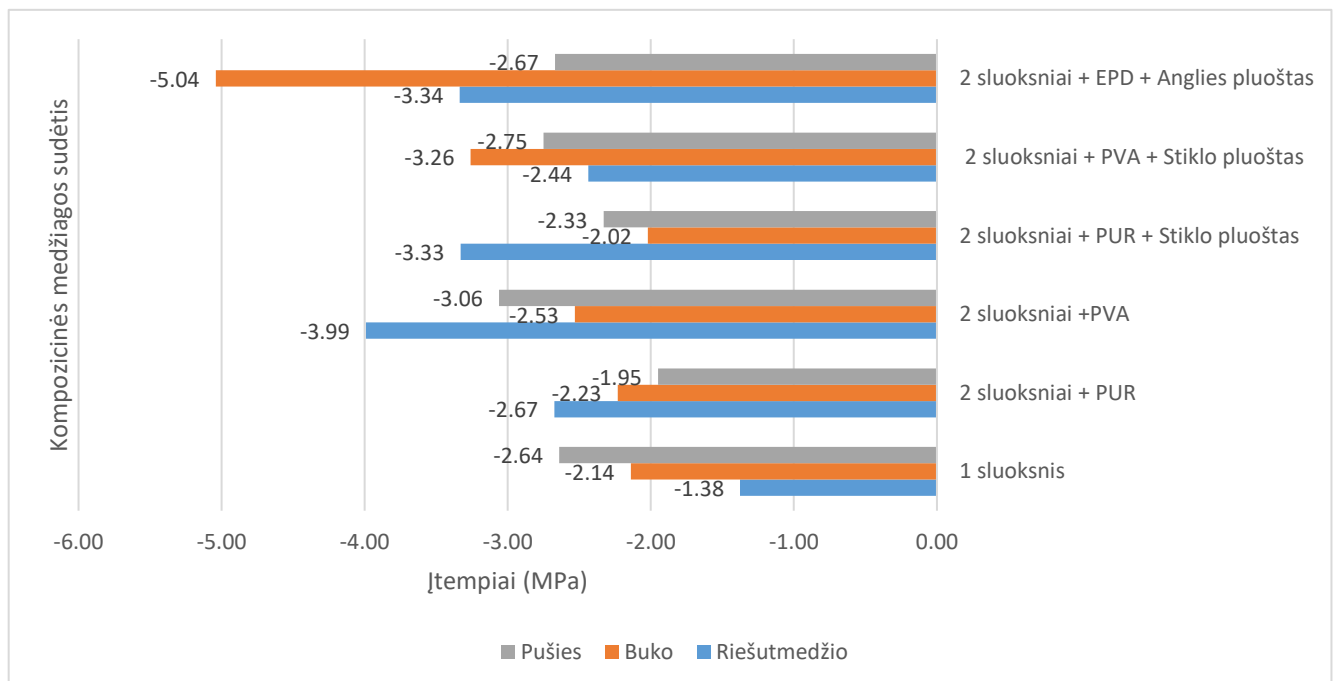


2 Pav. Vidinio sluoksnio įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančių medžiagų

2 PRIEDAS – CENTRINĖS AŠIES ĮTEMPIAI

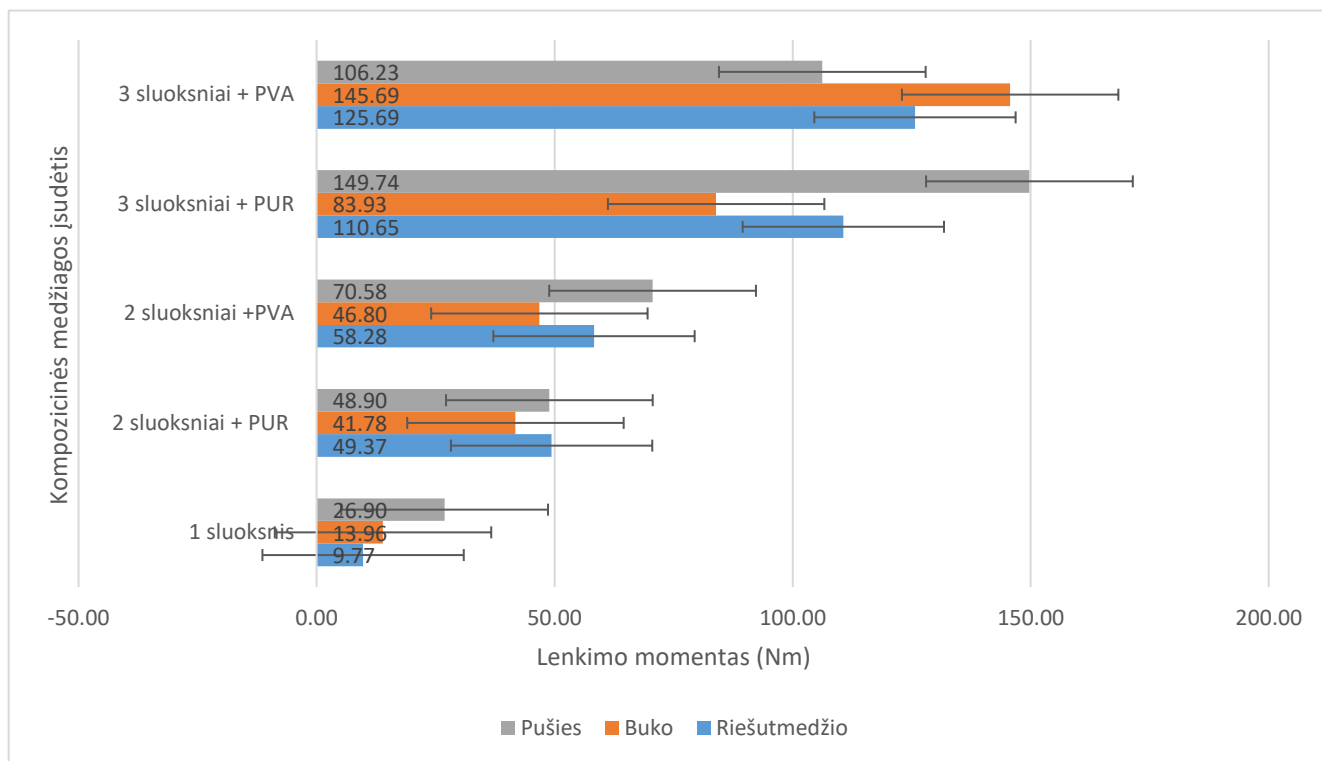


3 Pav. Centrinės ašies įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus ir klijų

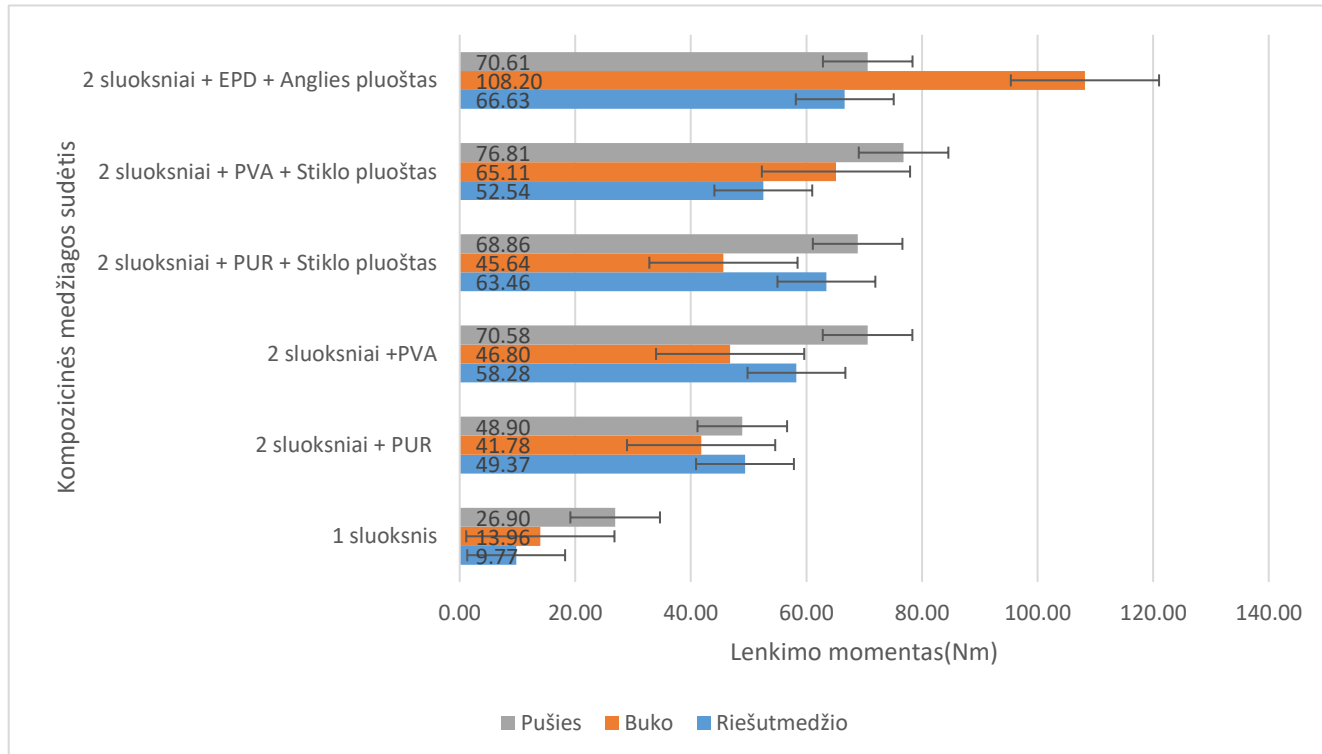


4 Pav. Centrinės ašies įtempių lenkiant priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančių medžiagų

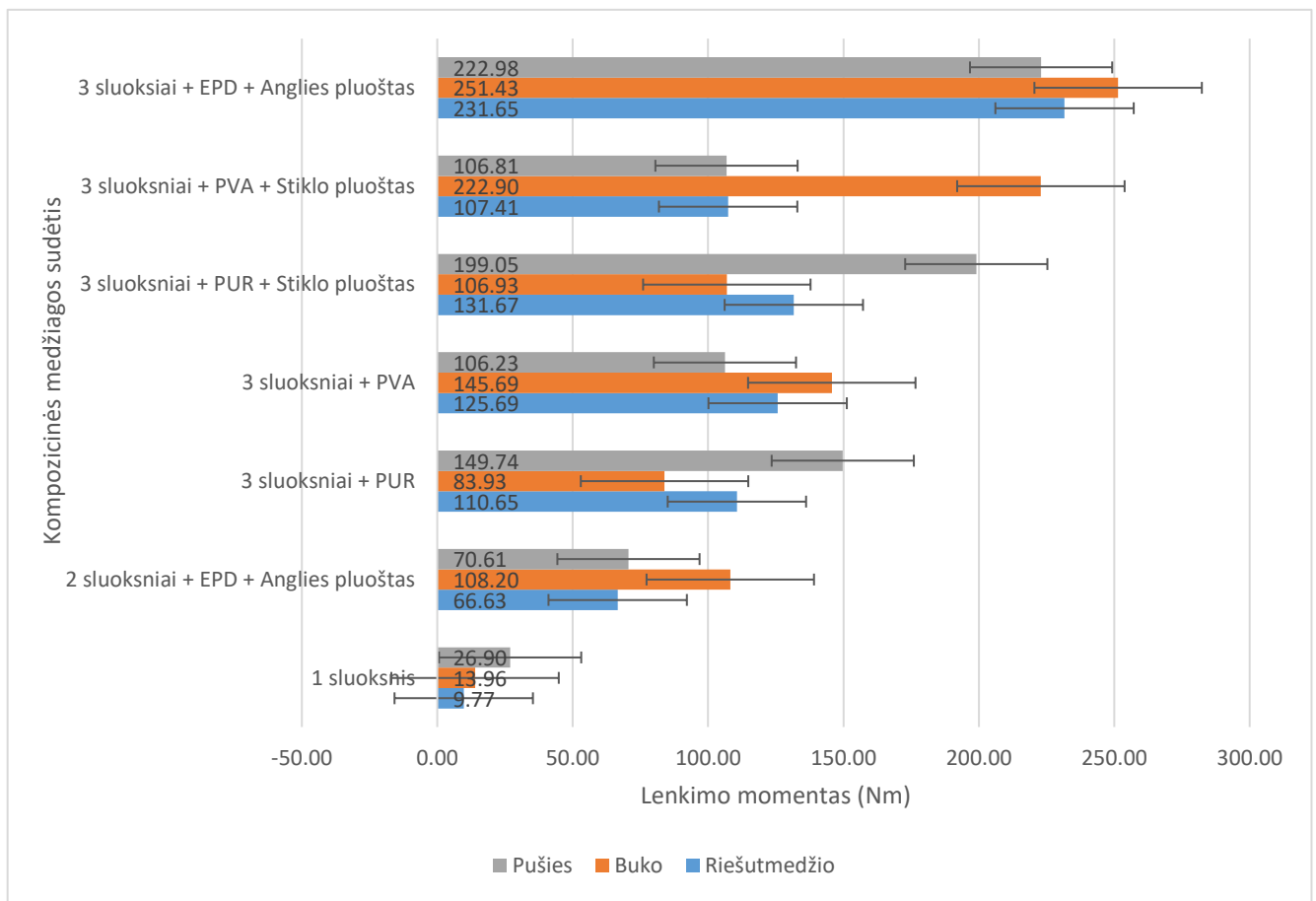
3 PRIEDAS – LENKIMO MOMENTAS



5 Pav. Lenkimo momento priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus ir klijų



6 Pav. Lenkimo momento priklausomybė nuo medienos rūšies, klijų ir stiprinančių medžiagų



7 Pav. Lenkimo momento priklausomybė nuo medienos rūšies, lukšto sluoksnių skaičiaus, klijų ir stiprinančių medžiagų