

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Tomas Andriukevičius

**POLIMERINIO PLUOŠTO ĮTAKOS MEDINIŲ SIJŲ STIPRIUI
TYRIMAS**

Magistro darbas

Vadovas

lekt. Darius Minelga

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėja

Doc. dr. Vaida Jonaitienė

Tomas Andriukevičius

POLIMERINIO PLUOŠTO ĮTAKOS MEDINIŲ SIJŲ STIPRIUI TYRIMAS

Medienos inžinerija (621J53001)

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

lekt. Darius Minelga

Recenzentas

Doc. Dr. Valdas Norvydas

Atliko

DM – 3 gr. stud. Tomas Andriukevičius

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Andriukevičius

(Studento vardas, pavardė)

Medienos inžinerija (621J53001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Polimerinio pluošto įtakos medinių sijų stipriui tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015m. Gegužės mėn. 29d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Andriukevičiaus** baigiamasis projektas tema „Polimerinio pluošto įtakos medinių sijų stipriui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Paveikslų sąrašas

1 pav. Dvitėjės sijos pavyzdys	8
2 pav. Sustiprintos medienos ruošinio principinė schema	9
3 pav. Tyrimo metodikos schema	9
4 pav. Galimi medienos lūžių tipai.....	10
5 pav. Anglies pluoštu sustiprintų medienos bandiniai.....	10
6 pav. Bazalto pluoštu sustiprintų bandinių apkrovos pasiskirstymo grafikas.	10
7 pav. a - Anglies pluoštu sustiprintų bandinių apkrovos pasiskirstymo grafikas, 7 pav. b - Bazalto ir anglies pluošto sustiprintų ir nesustiprintų bandinių rezultatai.....	11
8 pav. Sustiprintos medienos bendrasis vaizdas ir parinkti sustiprinimo metodai.....	13
9 pav. Globalaus ir lokalaus stiprio nustatymo schema.	14
10 pav. a - Apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas nesustiprintoms sijoms, b - apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas sustiprintose sijose.	14
11 pav. a - Apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas nesustiprintoms sijoms, b - Apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas sustiprintose sijose.	15
12 pav. Standumo tyrimas atliktas pagal A klijavimo tipą nesustiprintoms sijoms. A raide žymimas globalusis standumas, B raide žymima lokalusis standumas.	15
13 pav. B tipo sijos standumo tyrimai, A žymima globalusis standumas, B lokalusis standumas nesustiprintų sijų ir C globalusis standumas sustiprintos sijos, D žymima sustiprintos sijos lokalus standumas.	16
14 pav. Standumo jėgos palyginimas papildomai sustiprinus siją.	16
15 pav. D sijos tipo standumo palyginimas A ir B nesustiprintos sijos globalusis ir lokalusis standumas, C ir D Sustiprintos 190 mm sijos globalusis ir lokalusis standumas. G ir H 215 mm sijos globalusis ir lokalusis standumas.....	17
16 pav. Medinių sijų sustiprinimo metodai.....	18
17 pav. a - Natūralios medienos kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio grafikas, b - kiekvienos bandytos LW sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas.....	19

18 pav. a - Laminuota sija su vienu stiklo pluošto sluoksniu. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas, b- laminuota sija su dviem stiklo pluošto sluoksniais. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas.	20
19 pav. a- sijos sustiprinimas horizontalia lamele. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas, b - sijos sustiprinimas vertikalia lamele. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas.	20
20 pav. a - maksimalios apkrovos reikšmių grafikas, b - elastingumo modulio reikšmių pasiskirstymo grafikas, c- maksimalaus įlinkio pasiskirstymo grafikas	21
21 pav. Įsuktos medienos bandiniai.	22
22 pav. a - Slėgio jėgos padidėjimas pluošto kryptimi eglės medienai, b - Slėgio jėgos padidėjimas pluošto kryptimi pušies medienai.....	22
23 pav. a - lenkimo jėgos padidėjimas eglės medienai, b - lenkimo jėgos padidėjimas pušies medienai.	23
24 pav. a - lenkimo jėgos palyginimas atlikus pušies ir eglės medienos apsikimą anglies pluoštu, b - Slėgio jėgos palyginimas atlikus pušies ir eglės medienos apsikimą anglies pluoštu.....	23
25 pav. Lenkimo jėgos priklausomybės nuo temperatūros grafikai. Čia: mean value – vidurkio reikšmė.	24
26 pav. Sijų skerspjūvio pjūvis. Čia žymima 1 - mediena, 2 - sanklija. A - 48 mm storio sija, B - 56 mm storio sija, C - 36 mm storio sija D- 36 mm storio sija, sustiprinta Pur+anglies pluoštas , E - 36 mm storio sija sustiprinta Epox+anglies pluoštas.	26
27 pav. Gann hydromette M 2050 bendras vaizdas.	28
28 pav. SMB BP – 16 universali lenkimo mašina, naudota atlikti pirmuosius bandymus.	29
29 pav. ToniNorm įrenginio bendras vaizdas, bandymo metu.	30
30 pav. A tipo sijų stiprio vidutinės reikšmės. Čia: 1 – Pur+anglies pluoštas, 2 – Pur, 3 – Epox+anglies pluoštas, 4 – Epox, 5 –MKDF-C+anglies pluoštas ir 6 –MKDF-C.....	31
31 pav. A tipo masyvios medienos sijų stiprio palyginimas su B tipo sustiprintomis sijomis. Čia: 1 – Pur, 2 – Pur+anglies pluoštas, 3 – Epox, 4 – Epox+anglies pluoštas.....	32
32 pav. A tipo masyvios medienos sijų stiprio palyginimas su C tipo sustiprintomis sijomis. Čia: 1 – Pur, 2 – Pur+anglies pluoštas, 3 – Epox, 4 – Epox+anglies pluoštas.....	33

33 pav. Sijų kurios buvo klijuojamos poliuretaniniais klizais ir į sankliją įvedant anglies pluoštą, stiprio pasiskirstymas.	33
34 pav. Sijų, kurios buvo klijuojamos epoksidine derva ir į sankliją įvedant anglies pluoštą, stiprio pasiskirstymas.	34
35 pav. Sijos įtempių pasiskirstymas sijos skerspjūvyje.	34
36 pav. Sijos stiprių reikšmės esant skirtingai anglies pluošto pozicijai. Čia: 1 – C Pur+anglies pluoštas, 2 – D Pur+anglies pluoštas, 3 – C Epox+anglies pluoštas ir 4 - E Epox+anglies pluoštas.	35
37 pav. Mechaninių savybių pasiskirstymas medienoje, klijuotose sijos ir sijos kurios sustiprintos anglies pluoštu. Čia f_k – charakteristikos reikšmė, f_m – vidurkis.	35
38 pav. B tipo sijų, klijuotų poliuretaniniais klizais, deformacijos.	36
39 pav. B tipo sijų, klijuotų epoksidine derva, deformacijos.	36
40 pav. C tipo sijų, klijuotų epoksidine derva, deformacijos.	37
41 pav. C tipo sijų, klijuotų poliuretaniniais klizais, deformacijos.	37
42 pav. D tipo sijų deformacijos, sijos buvo klijuotos poliuretaniniais klizais.	38
43 pav. E tipo sijų deformacijos, sijos buvo klijuotos epoksidine derva.	38

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Sustiprinimui naudojamų pluoštų mechaninės ir geometrinės savybės.	10
2 lentelė. Gautų defektų analizė.	11
3 lentelė. Teorinės ir praktinės trapumo apkrovos reikšmės.	12
4 lentelė. Didžiausios deformacijų reikšmės.	12
5 lentelė. Eglės medienos ir stiklo pluošto savybių lentelė.	13
6 lentelė. Eksperimentiniai duomenys.	13
7 lentelė. Standumo tyrimo rezultatai A sijos tipui.	15
8 lentelė. D tipo sijos sustiprinimo rezultatai.	16
9 lentelė. Bandymams paruoštų ruošinių kiekiai ir klijavimo tipas.	18
10 lentelė. Gautas tyrimų reikšmės.	20
11 lentelė. Lenkimo ir slėgio tyrimų rezultatai.	22
12 lentelė. Tyrimo metu gautos rezultatų reikšmės.	25
13 lentelė. Poliuretanių klijų „Kleiberit 501“ pagrindiniai parametrai.	27
14 lentelė. Epoksidinių klijų pagrindiniai parametrai.	27
15 lentelė. MKDF – C klijų pagrindiniai parametrai.	28
16 lentelė. Pradiniai medienos ruošinių parametrai.	30

**Polimerinio pluošto įtakos medinių sijų stipriui tyrimas /Magistro projektas/
Autorius – T.Andriukevičius/ Vadovas – lekt. D.Minelga/ Kauno technologijos universitetas,
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Medžiagų inžinerijos katedra. Kaunas, 2015 – 43
psl, 43 paveikslai, 16 lentelių.**

1. Santrauka

Medinės konstrukcijos statyboje naudojamos jau seniai. Šio darbo pagrindinė tema, medinių sijų sustiprinimas anglies pluoštu, sustiprintų sijų deformacijų nustatymas, sijų stiprio nustatymas lenkimo metodu pagal LST EN 408 standartą. Tam parinkti trijų storių bandiniai: 36, 48 ir 56 mm storio sijos, kurių klijavimui parinktos trys klijų rūšys - poliuretaniniai klijai, epoksidinė derva ir eksperimentiniai melamino karbamido formaldehidinių dervų klijai. Šie klijai buvo naudojami tiriant 48 mm sijas. Atlikti bandymai parodė, jog sijos stipris, naudojant anglies pluoštą padidėja: klijuojant poliuretaniniais klijais 6,15 %, epoksidine derva 2,52 % ir melamino formadehidinės dervos klijais 2,99 %.

Sustiprintų sijų stipris lyginamas su 48 mm masyvios medienos sijų stiprio vidurkiu. Šios sijos tyrimuose priimamos kaip atskaitos taškas. Atlikti kiti bandymai su 36 mm sijomis. Poliuretaniniais klijais anglies pluoštą įklijuojant 36mm storio sijose, gautas stiprio prieaugis 0,55 %, o klijuojant epoksidine derva, gautas stiprio sumažėjimas 13,35 %. Bandymuose su 56 mm storio sijomis, klijuojant poliuretaniniais klijais, sijų stiprių prieaugis gautas 7,99 %, klijuojant epoksidiniais klijais, stiprio prieaugis gautas 6,73 %. Darbe atlikti dviejų tipų tyrimai: pirmuoju atveju anglies pluoštas sijoje buvo įklijuotas sijos vidurinėje dalyje, antruoju atveju - sijos apačioje. Lyginama 36 mm storio sijų stipriai. Matome, kad klijuojant poliuretaniniais klijais, anglies pluošto įklijavimas neturi įtakos sijos stipriui. Priešingi rezultatai matomi klijuojant epoksidine derva. Anglies pluošto juostą panaudojus sijų apačioje, sijos stipris padidėjo 20,31 %. Lenkiant siją didžiausiai įtempiai matomi sijos apatinėje dalyje. Šis sijų stiprio prieaugis paaiškinamas anglies pluošto juostos priklijavimu šioje pozicijoje. Atliekant visus bandymus tam tikram pasirinktam kiekiui sijų buvo atliekamas sijų deformacijų matavimas. Atlikus bandymus, matome, jog deformacijos pasiskirsto labai įvairiai. Plonose 36 mm sijose deformacijos svyruoja iki 27 mm, o storose iki 18,5 mm. Atlikus tyrimus, pateikiamos rekomendacijos.

Polymeric fiber influence the strength of the wooden beams /Master's Thesis/ Author – T.Andriukevičius/ Supervisor – lekt. D.Minelga/ Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Kaunas, 2015 - 43 pages, 43 Figures, 16 Tables.

2. Summary

Timber structures have been used in construction for a long time. The main subjects of this thesis are the reinforcement of timber beams with carbon fiber, the determination of deformations in reinforced beams, and the determination of beam strength by bending in accordance with the LST EN 408. Specimens of three different types – 36, 48, and 56 mm wide – as well as three types of glue intended for gluing them – polyurethane glue, epoxy resin, and experimental melamine urea formaldehyde resin glue – were chosen for the test. The latter glue was used only in tests with 48 mm beams. The tests performed with beams of 48 mm width have shown that the strength of a beam inset with carbon fiber increases by 6,15 per cent when using polyurethane glue, 2,52 per cent when using epoxy resin, and 2,99 per cent when using melamine urea formaldehyde glue.

The reinforced beam strength is compared with the average strength of the 48 mm wide solid wood beam. In further tests, the latter beams are treated as a reference point. Other tests were performed on 36 mm wide beams: when inseting the carbon fiber with the use of polyurethane glue, an increase of 0,55 per cent in strength was witnessed, while gluing with epoxy resin caused a decrease of 13,35 per cent in strength. Tests with 56 mm wide beams have shown an increase of 7,99 per cent in strength when gluing with polyurethane glue and an increase of 6,73 percent in strength when gluing with epoxy resin. Two types of research were performed in the thesis: in the first case, the carbon fiber was inset in the middle part of the beam; in the second case, the fiber was inset in the lower part of the beam. The strength of 36 mm wide beams was compared as well: it became apparent that the inseting of carbon fiber using polyurethane glue makes no impact on the beam strength. However, the results are quite the opposite when using the epoxy resin. With carbon fiber strip on the bottom of the beam, the beam strength increased by 20,31 per cent. When bending the beam, the greatest tensile strength was witnessed on the bottom of the beam; therefore, this increase in beam strength can be explained by the presence of the carbon fiber strip in that very position. During the tests, a specific amount of beams was chosen for a measurement of beam deformation. After the tests it became apparent that the deformations distributed very evenly. In thinner 36 mm beams the deformations fluctuate up to 27 mm, while the thicker beams have deformations up to 18,5 mm in width. After performing the research, certain recommendations are given.

Turinys

1. Santrauka.....	5
2. Summary	6
3. Įvadas	8
4. Literatūros apžvalga.....	9
4.1 Žemos klasės medienos sustiprinimas pluoštu	12
4.2 Klijavimo defektai	13
4.3 Sijų standumo tyrimas	15
4.4 Sustiprintų pušies medienos sijų tyrimai	18
4.5 Analitinis skaičiavimas.....	18
4.6 Pušies ir eglės medienos sustiprinimas anglies pluoštu pagal keturias kraštines	21
4.7 Temperatūros įtaka klijuotiems junginiams	23
4.8 Anglies pluošto juostų įklijavimo sijoje įtaka.....	24
4.9 Literatūros apžvalgos apibendrinimas	25
5. Metodologija	26
5.1 Trumpas aprašymas	26
5.2 Bandinių klijavimas.....	26
6. Tyrimo rezultatų aptarimas	30
6.1 A tipo sijų tyrimas	30
6.2 B tipo sijų tyrimas.....	32
6.3 C Tipo sijų tyrimas	32
6.4 Anglies pluošto pozicijos įtaka D ir E tipo sijoje	34
6.5 Sijų deformacijų tyrimas	35
6.6 Anglies pluošto pozicijos įtaka sijos deformacijų dydžiui	38
7. Išvados	40
8. Literatūros šaltinių sąrašas	41
9. Priedai	43

3. Įvadas

Medinės sijos statyboje naudojamos jau seniai. Jos naudojamos namų perdangoms, statybinėms konstrukcijoms. Plačiai naudojamos dvitėjos sijos su plokštės standumo briaunomis 1 pav. Įprastinės medienos sijos išpjaunamos iš rasto ir apdirbamos mechanškai.



1 pav. Dvitėjos sijos pavyzdys

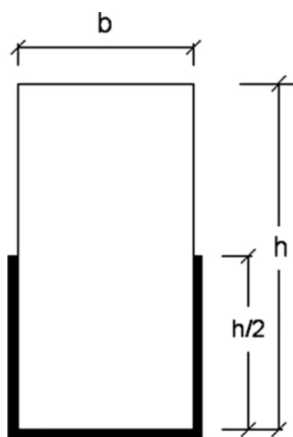
Tačiau šiuolaikinės technologijos leidžia naudoti vientisą, sustiprintą įvairiais pluoštais siją [1]. Tai pat naudojamos ir klijuotos sustiprintos sijos. Šios sijos pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, bei puikia estetine išvaizda. Mediena savo savybėmis lenkia gelžbetonines konstrukcijas. Pranašumą lemia svorio ir atsparumo mechaniniam poveikiui santykis. Dar vienas sijų tipas, tai - sustiprintos medienos ir aukštos kokybės betono mišiniais sijos. Šios sijos pasižymi ir medienai, ir betonui būdingomis savybėmis. Tai - tarpinis variantas tarp medienos ir gelžbetoninių konstrukcijų [2]. Augant medienos apdirbimo pramonei, ieškoma efektyvių būdų, kaip sijų gamyboje panaudoti ne tokios aukštos kokybės medieną. Mediena jungiama ilgio atžvilgiu bei klijuojama. Mano tiriamojo darbo tema - naujų medienos sijų stiprinimo metodų aptarimas, žymiai nekeičiant sijos matmenų, bei su mažu svorio prieaugiu. Atliktų pakeitimų aptarimas Pagrindinės problemos su kuriomis susiduria įprastos klijuotos sijos:

- Aplinkos drėgnio pasikeitimas
- Ciklinis klimato pasikeitimas
- Brinkimas ir medienos nuodžiūvis dygiuose
- Pluoštų kryptis
- Nesaugoti galai
- Netinkami klijavimo procesai
- Prastos kokybės klijavimo siūlė ir kitos problemos [3].

Šiuo atveju medienos sijos sustiprinamos įvairiais pluoštais, anglies, bazalto, kevlaro bei stiklo pluoštų įtaka mechaninėms medienos sijų savybėms. Šiame darbe analizuojama skirtingos pluošto pozicijos įtaka bei skirtingos - pluošto savybės [4].

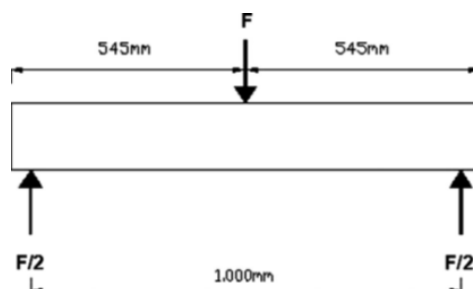
4. Literatūros apžvalga

Viename iš tyrimų aprašomas medienos sijų sustiprinimas anglies bei bazalto pluoštais ir lyginamos sustiprintų ir įprastų medienos gaminių mechaninės savybės. Tyrimui buvo naudojama paprastosios pušies bandiniai. Bandymui atlikti buvo naudojama 26 tiriamieji objektai, iš jų 17 buvo sustiprinti. Principinis sustiprinto medienos gaminio vaizdas pateiktas 2 pav. Iš paveikslo matome jog medienos ruošinys sustiprinamas iki pusės aukščio atžvilgiu.



2 pav. Sustiprintos medienos ruošinio principinė schema

Tyrimas atliekamas statiško lenkimo mašinoje. Bandinį atrėmus dviem stabiliai įtvirtintais taškais, ir per vidurį atliekamas lenkimas greičiu 1 KN/s. Bandymo principinė schema pateikta 3 pav. Bandyme naudojama paprastoji pušis 78 x 155 mm storio ir 1090 mm ilgio. Prieš medienos sustiprinimą gaminiai buvo klasifikuojami pagal UNE56544 standartą.

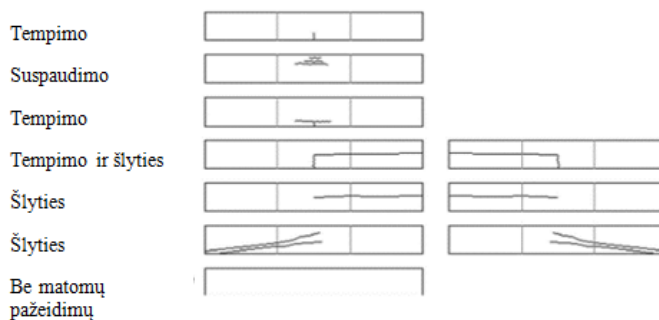


3 pav. Tyrimo metodikos schema

Šis standartas apibūdina vizualinę medienos apžiūrą, kuri klasifikuoja medieną, kaip statybinę, pagal vizualiai matomus defektus. Pagal šį standartą parenkama viena klasė, kur $h = 70$ mm ir mažiau. Čia yra viena kokybės klasė MEG, atitinkanti stiprumo klasę C18. Pagal LST-EN 338 standartą buvo nustatytos stiprumo klasės. Dvylika bandinių atitiko C18 klasę, o keturiolika atmesta. Tiriant atmesti bandiniai buvo padalinti po lygiai ir sustiprinti. Sustiprinimui naudota anglies ir bazalto pluoštai su epoksidinės dervos pagrindu. Pluoštų mechaninės ir geometrinės savybės pateiktos 1 lentelėje. Pagrindiniai medienos sijų lūžio būdai pateikti 4 pav., sustiprintų sijų vaizdas - 5 pav.

1 lentelė. Sustiprinimui naudojamų pluoštų mechaninės ir geometrinės savybės.

Charakteristika	FB280	FB600	FC300	FC160#	FC210#
Pluoštas	Bazaltas	Bazaltas	Anglis	Anglis	Anglis
Pluošto kryptis	Vienakryptis	Vienakryptis	Vienakryptis	Dvikryptis	Dvikryptis
Gramatūra (g/m ²)	280	600	300	160	210
Storis (mm)	0,103	0,222	0,167	0,040	0,060
Tempimo jėga (MPa)	4000		4900		
Tamprumo modulis (MPa)	84,000		230,000		

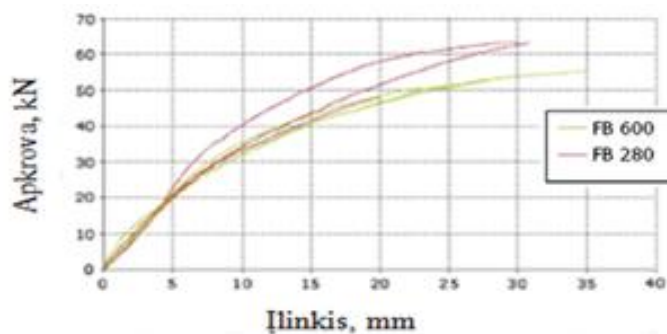


4 pav. Galimi medienos lūžių tipai.



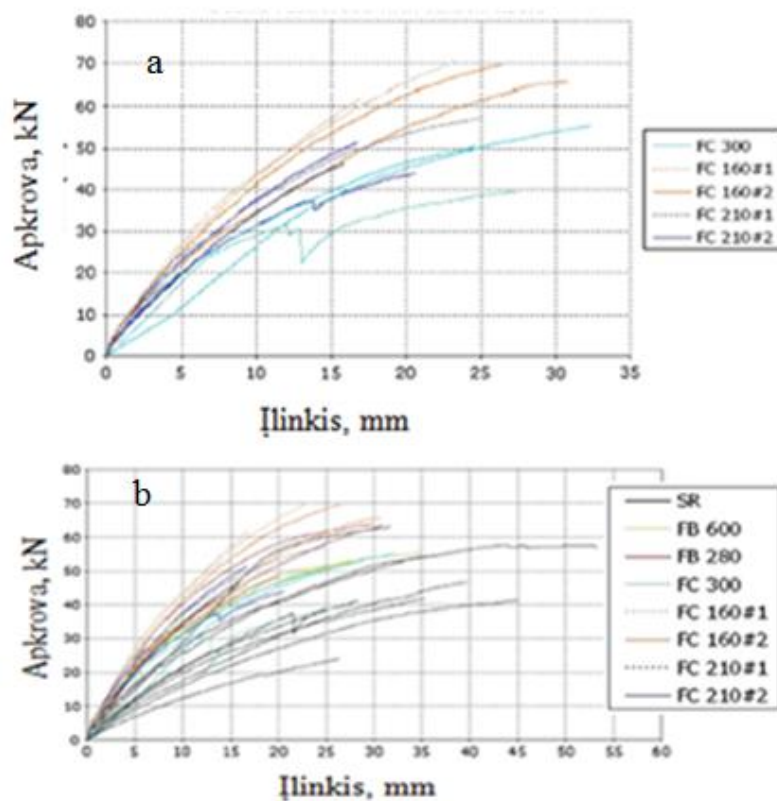
5 pav. Anglies pluoštu sustiprintų medienos bandiniai.

Atlikto statinio lenkimo tyrimo gauti rezultatai surašomi į 2 lentelę. Pagal 4 paveikslą nustatoma kiekvieno lūžio defekto pobūdis ir surašoma į lentelę. Atlikus tyrimus nubraižomi apkrovos pasiskirstymo grafikai. Bazalto pluoštu sustiprintų sijų apkrovos pasiskirstymo grafikas - 6 pav.



6 pav. Bazalto pluoštu sustiprintų bandinių apkrovos pasiskirstymo grafikas.

Anglies pluoštu sustiprintų sijų apkrovos pasiskirstymo grafikas 7 a pav. Nubraižytame bendrajame palyginimo grafike (7 b pav.) palyginamos sustiprintos ir nesustiprintos sijos. Tai pat yra nustatomos eksperimentinės trapumo ribos reikšmės, bei teorinės trapumo ribos reikšmės kurios lyginamos tarpusavyje. 3 lentelėje atitinkamai matome gautus sustiprintos ir įprastos medienos palyginimo rezultatus. Gautas didžiausių deformacijų reikšmės surašytos 4 lentelėje.



7 pav. a - Anglies pluoštu sustiprintų bandinių apkrovos pasiskirstymo grafikas, 7 pav. b - Bazalto ir anglies pluošto sustiprintų ir nesustiprintų bandinių rezultatai.

2 lentelė. Gautų defektų analizė.

Pavadinimas	Žemesnių pluoštų atsparumas tempimui	Viršutinių pluoštų suspaudimas	Šlytis	Tarpatramis per centrą	Džiovinimo įtaka	Pluošto krypties įtaka	Mazgų įtaka	Sustiprinimo atskyrimas	Lūžio schema
3SRC	+			+					3
7SRC	+			+			+		3
17SRC	+			+					1
27SRC	+		+			+	+		1
28SRC	+			+					3
32SRC			+						6
45SRC			+		+				5
97SRC	+		+						4
93SRC	+			+					1

56FC300	+						+		3
69FC300	+		+		+				4
72FC300	+			+			+		1
34FB280	+			+					7
63FB280			+		+				5
65FB280	+						+		3
40FB600	+						+		1
60FB600	+								7
73FB600		+		+					2
89FC160*1			+		+				5
48FC160*1	+		+			+	+		4
15FC160*2	+			+					1
22FC160*2	+								1
8FC210C*1	+			+					1
13FC210*1	+			+			+		1
23FC210*2	+			+					3
83FC210*2	+		+				+		4

3 lentelė. Teorinės ir praktinės trapumo apkrovos reikšmės

Sustiprinimo tipas	$F_{\text{eksp.}}$ (kN)	ΔF^{λ} (%)	$F_{\text{teo.}}$ (kN)	$F_{\text{eksp.}}/F_{\text{teo.}}$
SR	47,01	-	-	-
FB280	58,55	24,55	49,68	1,18
FB600	54,04	14,95	49,85	1,08
FC300	48,64	3,47	50,50	0,96
FC160*1	66,35	41,14	49,68	1,34
FC160*2	67,45	43,48	49,84	1,35
FC210*1	51,73	10,04	49,77	1,04
FC210*2	47,54	1,13	50,10	0,95

4 lentelė. Didžiausios deformacijų reikšmės

Sustiprinimo tipas	$\sigma_{\text{max}W}$ ($\frac{N}{\text{mm}^2}$)	ε (%)	σ_{maxFRP} ($\frac{N}{\text{mm}^2}$)	$\sigma_{\text{maxFRP}}/f_{\text{FRP}}$ (%)
FB280	52,43	10,49	881,08	22,03
FB600	42,92	8,18	687,54	17,19
FC300	29,05	5,81	1336,57	27,28
FC160*1	56,60	11,32	2604,12	53,15
FC160*2	47,20	9,44	2171,63	44,32
FC210*1	42,05	8,41	1934,69	39,48
FC210*2	32,00	6,40	1472,29	30,05

Gauti rezultatai rodo, kad sustiprintos medienos sijos tampa tvirtesnės: sustiprinus anglies pluoštu, tempimo jėga padidėja iki 50 % sustiprinus bazalto pluoštu - iki 21 % [5].

4.1 Žemos klasės medienos sustiprinimas pluoštu

Medienos sustiprinimo stiklo pluoštu tyrimai parodė, jog medieną sustiprinus stiklo pluoštu, medienos gaminyje tampa tvirtesnis, stabilesnis. Tačiau sustiprinimas turi ir neigiamų savybių. Sumažėjęs tamprumas ir deformacijos tampa visiško suirimo priežastimi.

Buvo atliekami ir tyrimai, padėję išsiaiškinti, kaip sustiprinimas įtakoja žemos klasės klijotų sijų mechanines savybes. Tyrimai buvo atliekami gamybos sąlygomis. Gauti rezultatai

palyginti su įprastomis sijomis. Tyrimams atlikti buvo naudota C16 klasės eglės mediena. Mediena buvo paruošta pagal EN 338 standartą. Ji buvo lентpjūvėje supjauta ir išdžiovinta apytiksliai iki 18 % drėgnio [2]. Pagamintos lentos buvo 4200 mm ilgio bei 96 x 44 mm matmenų. Pagaminti ruošiniai buvo laikomi 3 mėnesius kondicionuojamoje aplinkoje, aplinkos 65±5 % drėgnis, ir 20±2 °C temperatūroje. Po kondicionavimo medienos drėgnis lygus 12 %, tankio vidurkis siekė 390 kg/m³. Mechaninės pluošto ir medienos savybės pateiktos 5 lentelėje. Eksperimento duomenys pateikiami 6 lentelėje, o bendrasis vaizdas - 8 paveiksle.

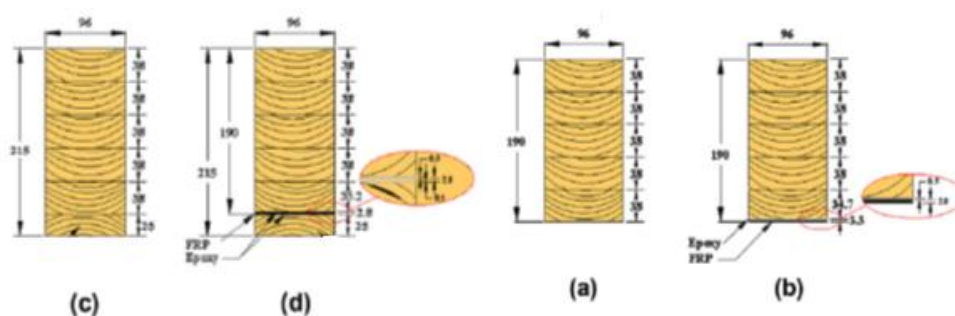
5 lentelė. Eglės medienos ir stiklo pluošto savybių lentelė.

Medžiaga	Maksimalūs tempimo įtempiai (N/mm ²)	Tamprumo modulis tempimui (N/mm ²)	Maksimalūs slėgio įtempiai (N/mm ²)	Tamprumo modulis spaudimui (N/mm ²)
FRP	1000 ^a	45,00 ^a	-	-
	701 ^b	38,44 ^b	-	-
Eglės mediena	23,7 ^c	8111 ^c	23,22 ^d	8000 ^c

6 lentelė. Eksperimentiniai duomenys.

Žymėjimas	Tipas	Storis (mm)	Kartojimų kiekis	Sijos numeris
A	Nesustiprintos	190	6	1,2,3,36,37,38
B	Sustiprintos	190	5	5,11,18,24,31
C	Nesustiprintos	215	10	4,9,10,16,17,22,23,29,30,33
D	Sustiprintos	215	5	8,15,21,28,35

Sijos buvo sustiprinama vienu atveju pluoštą įklijuojant į apatinę dalį, kitu atveju - įklijuojant į vidinius sluoksnius. Sijų klijavimas atliekamas 0,7 N/mm² slėgyje išlaikant 12 h prese, kai aplinkos drėgnis 65±5 %. Klijuojama buvo pluošto orientuojant kryptį pagal EN 386 standartą [7].

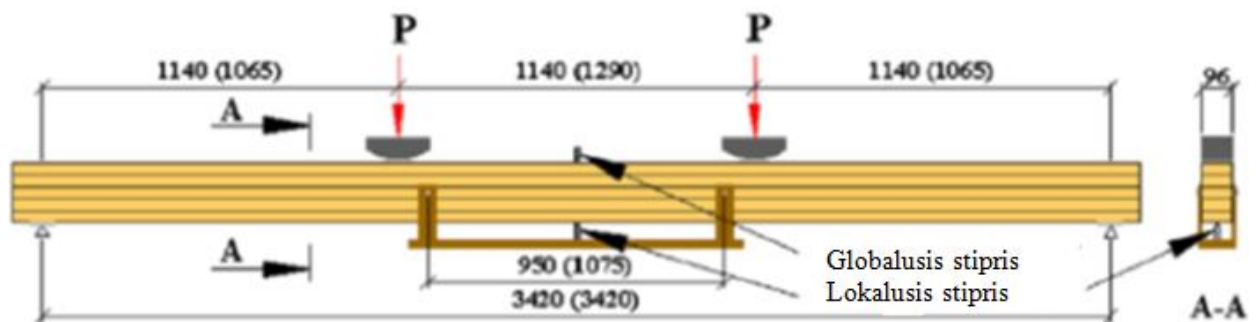


8 pav. Sustiprintos medienos bendrasis vaizdas ir parinkti sustiprinimo metodai.

4.2 Klijavimo defektai

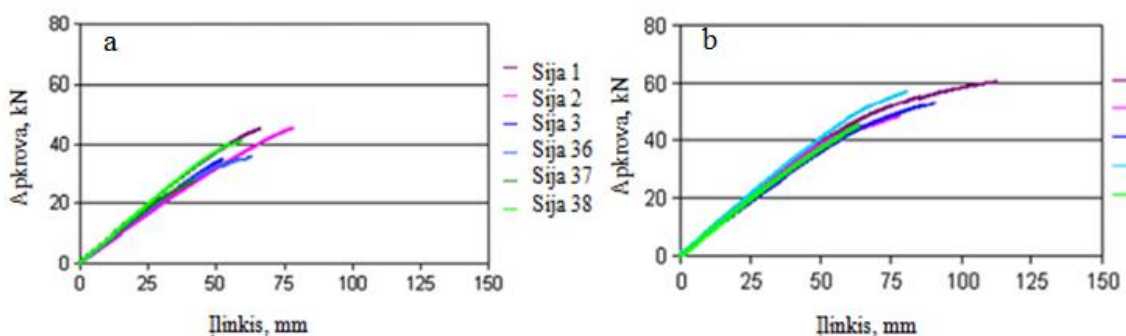
Klijuotas konstrukcijų gamybai labai svarbus yra klijų paruošimas. Dažniausiai pasitaikanti klijavimo klaida - netinkamai paruoštas klijavimo mišinys. Ypač didelės neigiamos įtakos turi skiediklio ar kietiklio normos. Netinkamas klijų paruošimas įtakoja sanklijos stiprį. Tuo pačiu sanklijos stipris užtikrina sijos stabilumą [8]. Lokaliai ir globaliai stipriui nustatyti yra atliekamas

lenkimo testas. Lenkimo testas atliekamas pagal EN 408 standartą [9]. Tyrimas vykdomas naudojant „Dartec 500 kN“ tyrimo mašiną, kai aplinkos drėgnis $65 \pm 5 \%$ ir $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūra. Tyrimo bendroji schema pateikta 9 paveiksle. Lokalusis įlinkis fiksuojamas pagal didžiausią įlinkį, matuojamas sijos apačioje. Globalusis matuojamas priešingai. Tyrimui naudojama 0,57 mm/s, apkrova siekia 300 N. Vėliau pakeistas greitas 0,645 mm/s taip užtikrinama, kad apkrova nebūtų didesnė nei 40 % visos galimos apkrovos ir neviršytų elastinių savybių ribos. Tiriama nesustiprintos medienos savybės. Kai sijos aukštis 190 mm. Gauti rezultatai matomi 10 a paveiksle, kaip pasiskirsto apkrova atitinkamos sijos ilgyje. 10 b paveikslas iliustruoja, kaip sustiprintos sijos atlaiko žymiai didesnę apkrovą nei įprastos. Panašūs tyrimai atliekami su Japonijos kedro mediena. Atliekamas 4 taškų lenkimo bandymas. Norint nustatyti suspaustos medienos struktūrinę elgesį, į medienos siją įstatoma suspaustos medienos dalis, padidinanti medienos mechanines savybes.

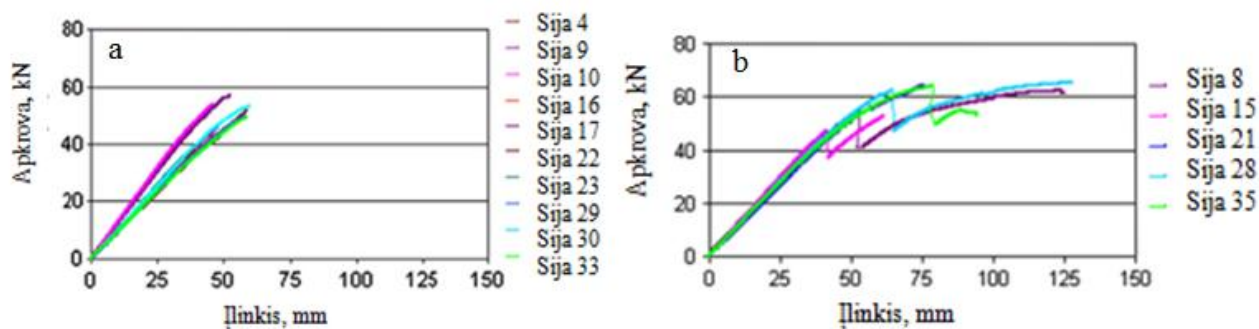


9 pav. Globalaus ir lokalaus stiprio nustatymo schema.

Tiriamos ir nesustiprintos 215 mm sijos. Sijų apkrovos grafikas matomas 11 a paveiksle. Iš grafiko matyti, kad apkrova pasiskirsto žymiai mažesnėje įlinkio dydyje. Atlikus tyrimą, pastebimi psiaudo lūžių padariniai. Šiuos lūžius galima provokuoja medienos ydos kurių gausiu sijose. Kitas bandymas buvo atliekamas su 215 mm sijomis, kurios taip pat buvo sustiprintos. Iš grafiko matome taip atsiradusius psiaudo lūžio padarinius. 11 b paveikslas iliustruoja, kad apkrova kyla, staiga leidžiasi ir vėl kyla. Tai galima laikyti medienos suirimo pradiniu tašku, prarandamos medienos mechaninės savybės [10].



10 pav. a - Apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas nesustiprintoms sijoms, b - apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas sustiprintose sijose.



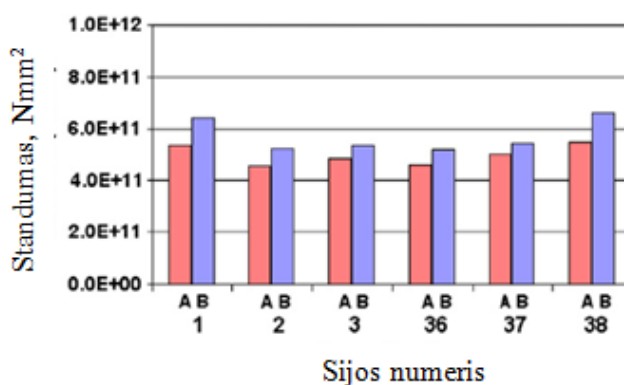
11 pav. a - Apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas nesustiprintoms sijoms, b - Apkrovos bei įlinkio pasiskirstymo grafikas sustiprintose sijose.

4.3 Sijų standumo tyrimas

Grafikuose matomi atlikti standumo tyrimai rezultatai. 12 paveiksle matomi pirmos grupės sijų rezultatai, kur buvo fiksuojamas lokalus ir globalus standumas. Lentelėje 7 pateikiami tyrimo duomenys.

7 lentelė. Standumo tyrimo rezultatai A sijos tipui.

Pavadinimas	Standumo jėga Nmm ²	Standartinis nuokrypis Nmm ²
Globalusis standumas	4.86×10^{11}	0.38×10^{11}
Lokalusis standumas	5.53×10^{11}	0.53×10^{11}

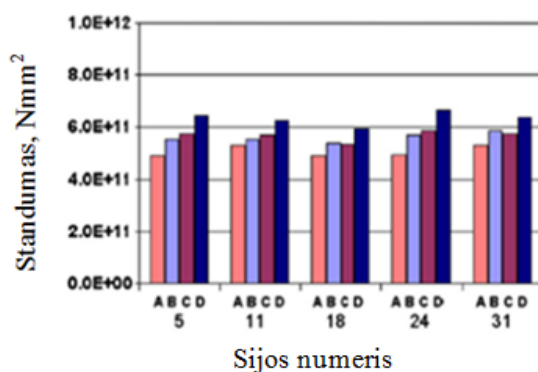


12 pav. Standumo tyrimas atliktas pagal A kljavimo tipą nesustiprintoms sijoms. A raide žymimas globalusis standumas, B raide žymima lokalusis standumas.

Sustiprintos 190 mm sijos. Standumo rodikliai pateikti 8 lentelėje. 13 paveiksle pavaizduoti tyrimo rezultatai. Lyginama įprastos ir sustiprintos sijos standumo rezultatai.

Lentelė 8. Standumo jėgos ir standartinio nuokrypio rezultatai

Pavadinimas	Standumo jėga Nmm ²	Standartinis nuokrypis Nmm ²
Globalusis standumas	5.07×10^{11}	0.21×10^{11}
Lokalusis standumas	5.60×10^{11}	0.18×10^{11}

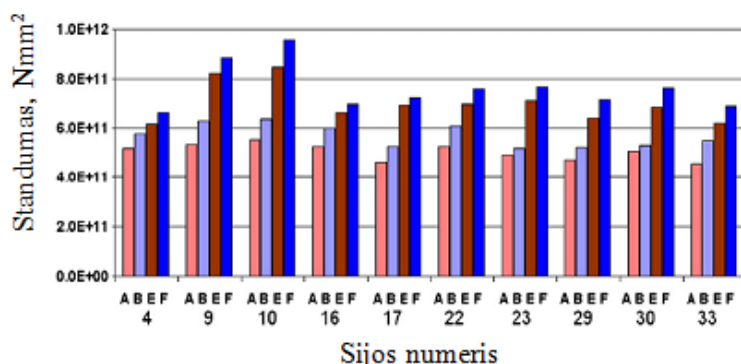


13 pav. B tipo sijos standumo tyrimai, A žymima globalusis standumas, B lokalusis standumas nesustiprintų sijų ir C globalusis standumas sustiprintos sijos, D žymima sustiprintos sijos lokalus standumas.

Palyginama glabalusis ir lokalusis standumas pridėjus papildomą lamelę pagal sijos C tipą. Gauti rezultatai 9 lentelėje ir 14 paveiksle.

Lentelė 9. Standumo jėgos pasikeitimas pridėjus sustiprinantį pluoštą ir papildomą lamelę.

Pavadinimas	Standumo jėga Nmm ²	Standartinis nuokrypis Nmm ²
Globalusis standumas	5.04×10^{11}	0.34×10^{11}
Lokalusis standumas	5.69×10^{11}	0.46×10^{11}
Pridėjus papildomą lamelę		
Globalusis standumas	7.06×10^{11}	0.75×10^{11}
Lokalusis standumas	7.62×10^{11}	0.93×10^{11}

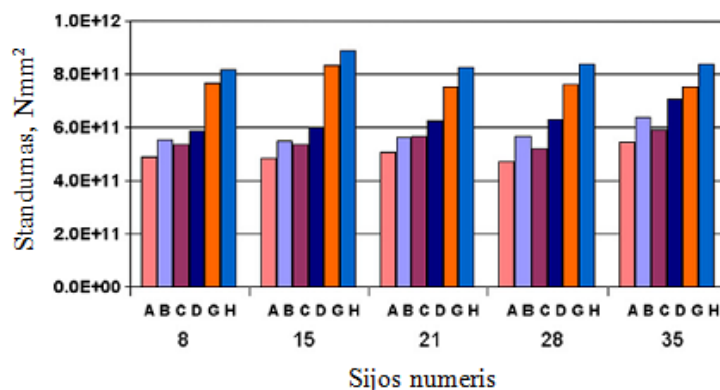


14 pav. Standumo jėgos palyginimas papildomai sustiprinus siją.

Sijų sustiprintų pagal tipą D rezultatai palyginami su nesustiprintos medienos sijų rezultatais, pateikiamais 15 paveiksle ir lentelėje 8. Išanalizavę rezultatus galime konstatuoti, kad gauta, jog D tipo sijos standumas – didžiausias, palyginus su anksčiau aprašytomis.

8 lentelė. D tipo sijos sustiprinimo rezultatai.

Pavadinimas	Standumo jėga Nmm ²	Standartinis nuokrypis Nmm ²
Globalusis standumas	5.00×10^{11}	0.27×10^{11}
Lokalusis standumas	5.73×10^{11}	0.36×10^{11}
Pridėjus papildomą lamelę ir pluoštą		
Globalusis standumas	7.73×10^{11}	0.33×10^{11}
Lokalusis standumas	8.42×10^{11}	0.28×10^{11}



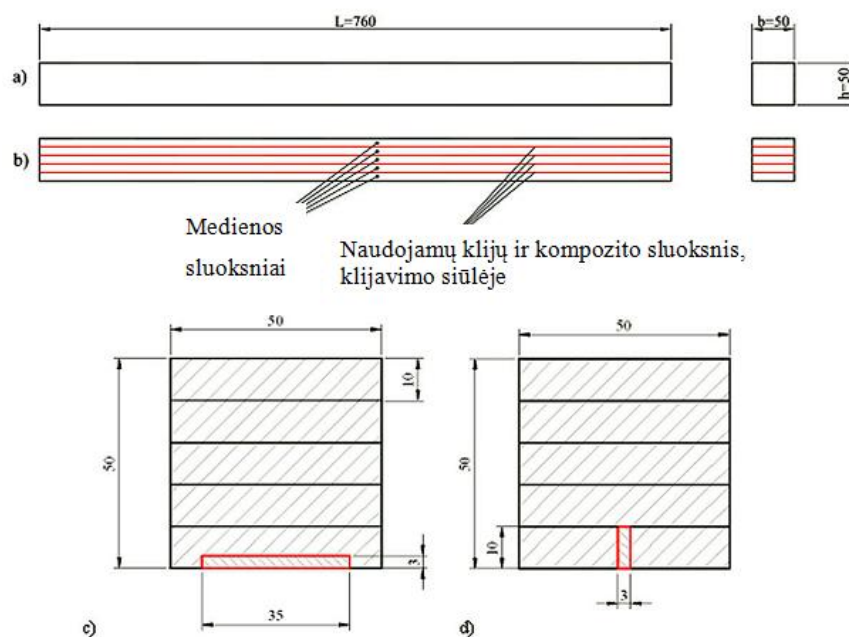
15 pav. D sijos tipo standumo palyginimas A ir B nesustiprintos sijos globalusis ir lokalusis standumas, C ir D Sustiprintos 190 mm sijos globalusis ir lokalusis standumas. G ir H 215 mm sijos globalusis ir lokalusis standumas.

Iš tyrimų medžiagos akivaizdu, kad sustiprinus medieną stiklo pluoštu gaunamos geros standumo padidėjimo savybės. Blogesnių mechaninių savybių medieną galima sustiprinti iki pakankamai atsparios medienos, kurią būtų galima naudoti, kaip aukštesnės kokybės mediena [11].

Tokio pačio sijos buvo naudojamos ir kitame šio autoriaus tyrime. Jo metu buvo tiriama žemos klasės klijuotų sijų sustiprinimas cheminiais pluoštais, naudojant medienai klijuoti skirtus kljus. Bandinių matmenys, kaip ir anksčiau aptartame straipsnyje, buvo naudoti vienodi. Sijų klijavimui buvo naudojami fenolio formaldehidinės rezorcininės dervos kljai. Atlikti tyrimai autoriui sudarė galimybę konstatuoti, jog kljai su mediena ir cheminiu pluoštu sudaro stiprią sankliją. Atliekant apžiūrą, jokių sijų defektų nepastebėta. Taip autorius įrodė jog viena iš priemonių gamybos kaštams sumažinti yra brangių epoksidinių dervų keitimas, pigesniais medienos kljais. Tyrimai leidžia teigti, kad sijų stiprio padidėjimas siekė iki 18 %. Sijų suirimo tipas pakeičiamas iš staigaus ir brutalaus į psiaudo suirimą, jis vyksta lėčiau [12].

4.4 Sustiprintų pušies medienos sijų tyrimai

Šiame tyrime buvo atliekama pušies medienos sustiprinimas. Sustiprinimo metodai pateikti 16 paveiksle. Paveikslo a dalyje matoma medienos sija, b dalyje - laminuota sustiprinta sija, c ir d matome išskirtinius sustiprinimo metodus. Atliekant mechaninių savybių tyrimus, buvo naudojama trijų taškų statinio lenkimo mašina. Bandymo metu buvo nustatytas sijų tamprumo modulis ir kitos mechaninės savybės. Bandymams paruoštų ruošinių charakteristikos pateiktos 9 lentelėje, ten aprašomas ir klijavimo tipas, medienos rūšis ir kita.



16 pav. Medinių sijų sustiprinimo metodai.

9 lentelė. Bandymams paruoštų ruošinių kiekiai ir klijavimo tipas.

Pavadini mas	Ruošinių skaičius, vnt	Medienos rūšis	Sijos konstrukcijos tipas
SW	10	Pajūrinė pušis	Įprasta medinė sija
LW	10	Pajūrinė pušis	Klijuota sija
LW1	10	Pajūrinė pušis	Klijuota sija su kompozito sluoksniu
LW2	10	Pajūrinė pušis	Klijuota sija su dviem kompozito sluoksniais
LWH	10	Pajūrinė pušis	Klijuota sija su horizontaliai įklijuota standumo lamele
LWV	10	Pajūrinė pušis	Klijuota sija su vertikaliai įklijuota standumo lamele

Tyrimai buvo atliekami pagal ASTM D143 standartą. Nominalūs sijų matmenys: $L = 760$ mm, $b = 50$ mm $h = 50$ mm [13]. Tyrimas atliekamas lenkimo mašina, visų ruošinių parametrai buvo lygūs, eigos dydis 1,35 mm/min. Tyrimo mašina buvo įvertinta 100 KN jėga.

4.5 Analitinis skaičiavimas

Atliekant analitinius skaičiavimus, buvo apskaičiuojami vidurio išlinkimo parametrai (1 formulė).

$$\delta = \frac{k_b Fa^3}{EI} + \frac{k_s Fa}{GA'} \quad (1)$$

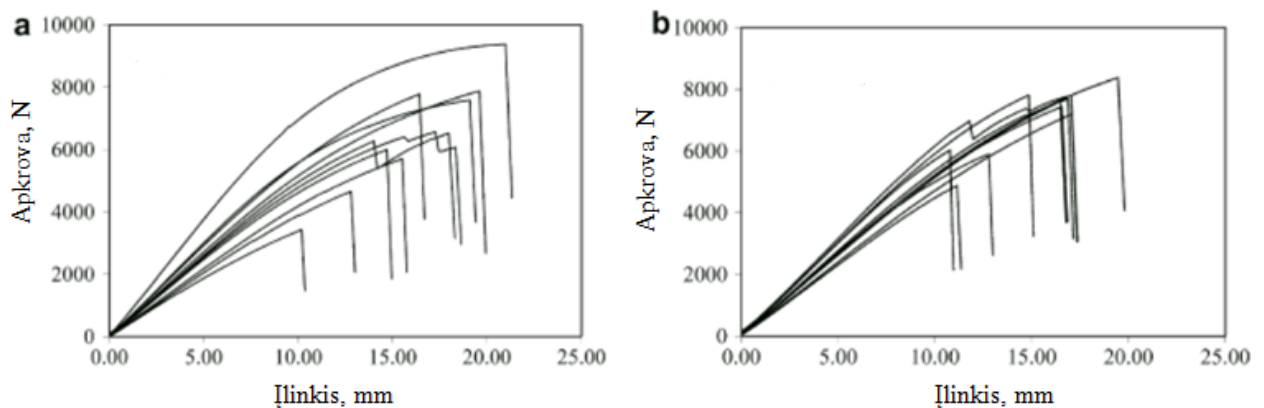
Čia: F - sijos apkrovimo jėga, a - sijos tarp tarpatramiai, k_b ir k_s konstantos priklausančios nuo sijos apkrovos, I - inercijos momentas, A' - modifikuota sijos vieta, E - Jungo modulis, G - šlyties modulis.

Didžiausi tempimo įtempiai skaičiuojami pagal 2 formulę.

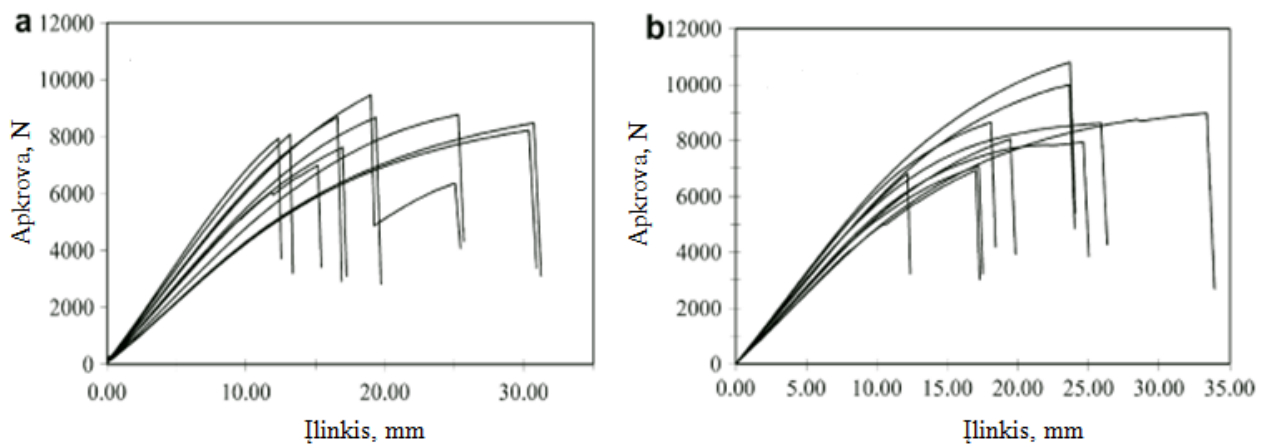
$$\sigma_t = \frac{3Fa}{2bh^2} \quad (2)$$

Čia: F - sijos apkrovimo jėga, a - sijos tarp tarpatramiai, b ir h – sijos gabaritai.

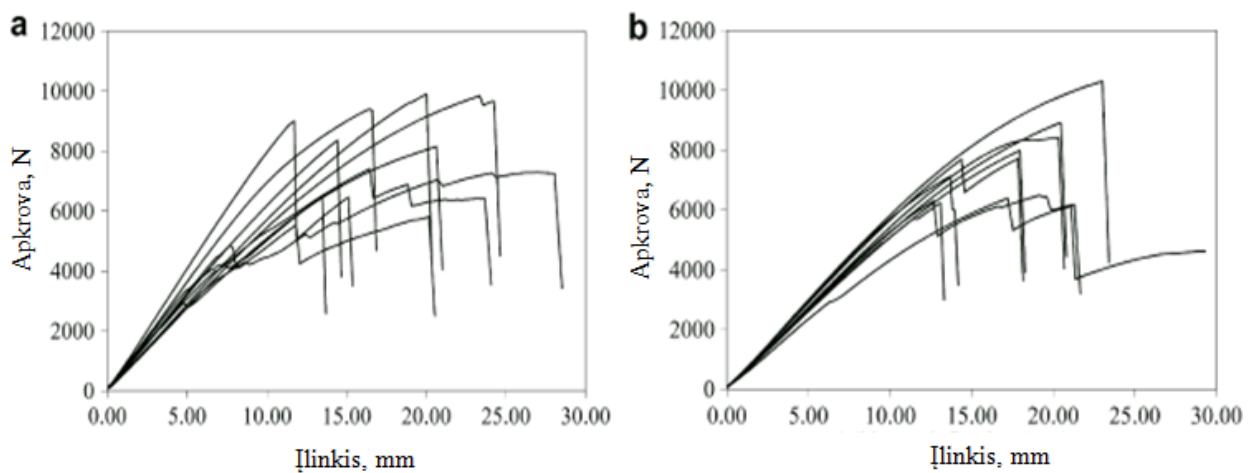
Tyrimo metu buvo apskaičiuojami teoriniai Jungo ir kiti parametrai, atlikti mechaniniai bandymai. Atlikus bandymą, gautos kreivės rodo apkrovos priklausomybę nuo sijos vidurio įlinkio. 17 a ir b paveiksluose matome, kaip apkrova įtakoja natūralios medienos ir LW sijų įlinkį. Įtaka priklauso nuo sijos gamybos būdo. Nustatytas ir medienos LW1 ir LW2 sijų vidurio įlinkis. Gauti rezultatai pateikti 18 paveikslo a ir b dalyse. Didelių pakitimų nepastebime tačiau iš grafiko matome, jog vykstant bandymui, sijos suirimas vyko du kart. Tai pat atlikti tyrimai ir su medienos sijomis kurios buvo sustiprintos horizontaliomis ir vertikalėmis lamelėmis. Bandymo rezultatai pateikiami 19 paveikslo a ir b. Iš pateiktos iliustracijos akivaizdu, kad bandymo rezultatai tampa mažiau prognozuojami. Padidėja sklaidos laukas.



17 pav. a - Natūralios medienos kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio grafikas, b - kiekvienos bandytos LW sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas.



18 pav. a - Laminuota sija su vienu stiklo pluošto sluoksniu. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas, b- laminuota sija su dviem stiklo pluošto sluoksniais. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas.



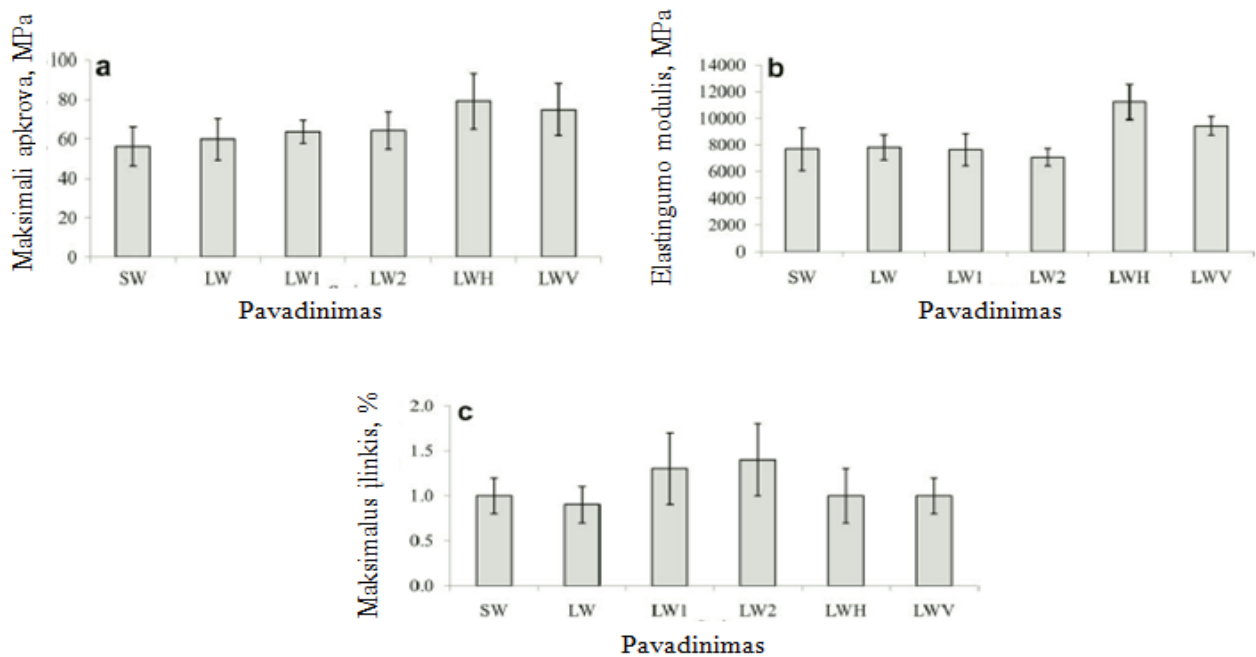
19 pav. a- sijos sustiprinimas horizontalia lamele. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas, b - sijos sustiprinimas vertikalia lamele. Kiekvienos bandytos sijos apkrovos ir įlinkio pasiskirstymo grafikas.

Nustatyti atliktų eksperimentinių tyrimų atitinkami rezultatai taip pat pateikti lentelėje. Apskaičiuoti ir reikiami statistiniai rodikliai. Visi rezultatai pateikti 10 lentelėje. Remiantis lentelės duomenimis, buvo nubraižyti pasiskirstymo grafikai. Jie matomi 20 paveikslo a, b, c dalyse. Būtent juose ir lyginamos mechaninės savybės.

10 lentelė. Gautos tyrimų reikšmės.

Pavadinis	Statistiniai rodikliai	Maksimali apkrova, N	Maksimalūs įtempiai, MPa	Maksimali deformacija, %	Jungo modulis, MPa
SW	Vidurkis	6544,8	56,3	1,0	7677,4
	Standartinė nuokrypa	1722,1	15,0	0,2	1589,8
	Variacijos koeficientas (%)	26,3	26,6	20,0	20,7
LW	Vidurkis	7069,6	59,8	0,9	7801,7
	Standartinė nuokrypa	1100,5	10,4	0,2	934,9
	Variacijos koeficientas (%)	15,6	17,4	22,2	12,0

LW1	Vidurkis	8295,3	63,7	1,3	6954,2
	Standartinė nuokrypa	686,8	5,7	0,4	1206,2
	Variacijos koeficientas (%)	8,3	8,9	30,8	17,3
LW2	Vidurkis	8387,8	64,3	1,4	7049,7
	Standartinė nuokrypa	1309,0	9,5	0,4	651,3
	Variacijos koeficientas (%)	15,6	14,8	28,6	9,2
LWH	Vidurkis	8156,7	79,2	1,0	11213,0
	Standartinė nuokrypa	1410,9	14,1	0,3	1310,8
	Variacijos koeficientas (%)	17,3	17,8	30,0	11,7
LWV	Vidurkis	7729,0	74,9	1,0	9420,1
	Standartinė nuokrypa	1346,2	13,2	0,2	713,8
	Variacijos koeficientas (%)	17,4	17,6	20,0	7,6



20 pav. a - maksimalios apkrovos reikšmių grafikas, b - elastingumo modulio reikšmių pasiskirstymo grafikas, c - maksimalaus įlankio pasiskirstymo grafikas

Tyrimų metu gauti rezultatai leidžia teigti, kad visi sustiprinimo metodai padidina medienos mechanines savybes, palygint su įprastos medienos sijomis. Tačiau šios sustiprintos sijos, dėl padidėjusio medienos standumo tampa trapesnės. Norit optimizuoti sustiprinimo metodus, reikalingi tyrimai nustatyti, optimaliausioms mechaninėms savybėms [14].

4.6 Pušies ir eglės medienos sustiprinimas anglies pluoštu pagal keturias kraštines

Šiuo medienos sustiprinimo metodu medienos ruošiniai įvyniojami į anglies pluoštą. Taip sustiprinamos mechaninės medienos savybės. Tyrimui atlikti naudojama plačiai naudojamos

statyboje eglės ir pušies medienos rūšys. Jų paklausą lemia mechaninės savybės bei estetiinė išvaizda. Bendro apsuktos medienos vaizdo iliustracija pateikta 21 paveiksle.

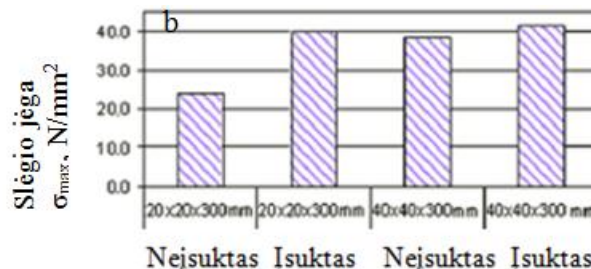
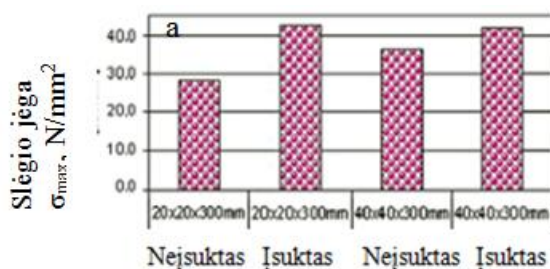


21 pav. Įsuktos medienos bandiniai.

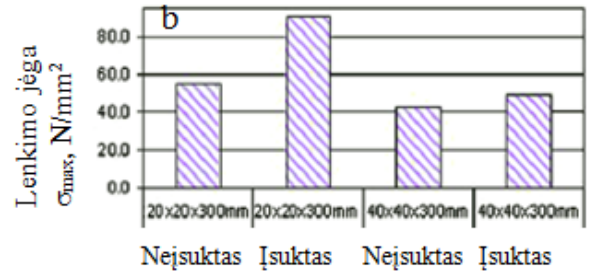
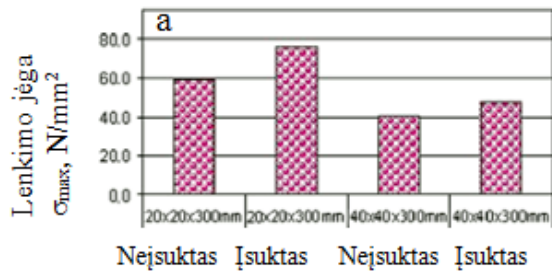
Bandymai atliekami pagal ASTM D143-09 standarto procedūrą. Tyrimui pasirinktas trijų taškų lenkimo metodas. Lenkimo greitis - 2,5 mm/min. Pasirinktas atstumas tarp atramų - 200 mm. Gauti atlikto lenkimo tyrimai rezultatai pateikti 11 lentelėje. Gauti bandymų rezultatai pavaizduoti grafikuose. 22 paveikslo a ir b dalyse matome, slėgio jėgos padidėjimas kiekvienai medienos rūšiai. Pastebimas apie 20 % padidėjimas kiekvienai medienos rūšiai. Galime teigti, kad jėgos pasikeitimui įtakos turi bandytos medienos rūšies matmenys. Didesnių gabaritų medienos bandinių šis padidėjimas šiek tiek kuklesnis. 23 a ir b paveiksluose matomi lenkimo jėgos pasikeitimai, sustiprinus medieną. Atitinkamai sustiprinus medieną gaunami geresni rezultatai.

11 lentelė. Lenkimo ir slėgio tyrimų rezultatai.

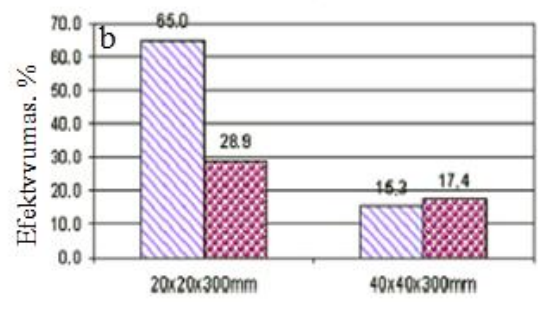
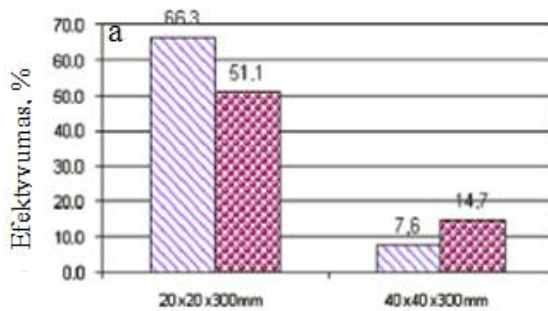
Mediena	Įsukimas	Matmenys, mm	Slėgio tyrimas		Lenkimo tyrimas	
			E, N/mm ²	σ_{\max} , N/mm ²	E, N/mm ²	σ_{\max} , N/mm ²
Eglė	Neįsukta	20x20x300	5262,3	23,9	3885,2	54,8
	Įsukta	20x20x300	5080,0	39,8	5987,7	90,5
	Neįsukta	40x40x300	6775,1	38,3	550,0	42,2
	Įsukta	40x40x300	1838,4	41,2	715,0	48,7
Pušis	Neįsukta	20x20x300	7010,2	28,2	4046,6	59,0
	Įsukta	20x20x300	6876,1	42,6	6036,7	76,0
	Neįsukta	40x40x300	5544,3	36,5	447,7	40,5
	Įsukta	40x40x300	1571,8	41,8	748,2	47,5



22 pav. a - Slėgio jėgos padidėjimas pluošto kryptimi eglės medienai, b - Slėgio jėgos padidėjimas pluošto kryptimi pušies medienai.



23 pav. a - lenkimo jėgos padidėjimas eglės medienai, b - lenkimo jėgos padidėjimas pušies medienai.



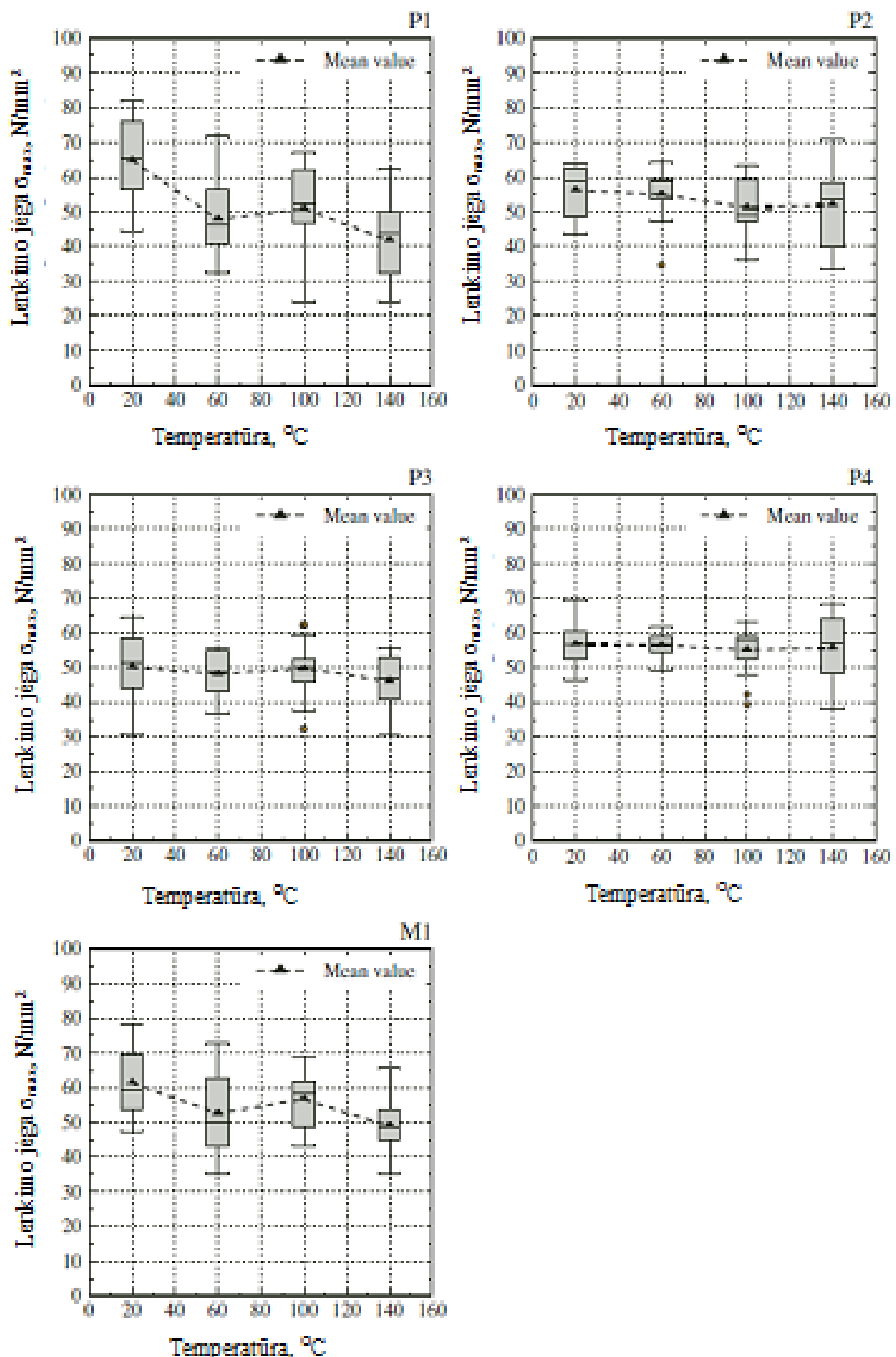
24 pav. a - lenkimo jėgos palyginimas atlikus pušies ir eglės medienos apsukimą anglies pluoštu, b - Slėgio jėgos palyginimas atlikus pušies ir eglės medienos apsukimą anglies pluoštu.

Atlikę tyrimus, turime galimybę palyginti abiejų rūšių medienos mechanines savybes. Matome, kad geresnėmis mechaninėmis savybėmis pasižymi eglės mediena. 24 a ir b paveiksle pateikiamas sijos sustiprinimo efektyvumo palyginimo grafikai. Tyrimai rodo, kad sustiprinimo laipsnis priklauso nuo medienos ruošinio storio [15].

Galimi ir kiti medienos bei medienos kompozitų sustiprinimo metodai. Medinės sijos tai pat modifikuojamos, jas sustiprinus stiklo pluoštu. Veikiant vakuumui, pašalinamas sustiprinimo medžiagoje esantis oras [16].

4.7 Temperatūros įtaka klijuotiems junginiams

Temperatūros įtaka klijuotiems junginiams - tai vienas iš svarbių veiksnių, mažinančių medienos stiprumą, tuo pačiu ir medienos gaminio stiprumą. Yra atlikta daug tyrimų aptariančių medienos klijuotų junginių stiprumą. Vienas iš tokių aukštos temperatūros poveikio medienos medienos gaminių tyrimas. Tyrimams naudota vieno komponento poliuretaniniai klijai P1-P4 ir melamino - urea formaldehido klijai. 25 paveiksle matomas lenkimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros [17].



25 pav. Lenkimo jėgos priklausomybės nuo temperatūros grafikai. Čia: mean value – vidurkio reikšmė.

4.8 Anglies pluošto juostų įklijavimo sijos įtaka

Čekijos respublikoje esančiame institute buvo tiriamos sustiprintos medienos mechaninės savybės. Čia mediena buvo sustiprinama anglies pluošto juostomis apatinėje sijos dalyje.

Bandymams buvo parinktos trijų skerspjūvių sijos, kiekvienos sijos pagaminta po 3 vienetus. Bandymuose naudotų sijų gabaritai: 160x100 mm, 140x100 mm ir 120x100 mm, sijų ilgis 4000 mm. Mediena buvo sustiprinama anglies pluošto juostomis apatinėje sijos dalyje per centrą. Buvo parinkta 50 mm pločio ir 1,2 mm storio anglies pluošto juosta, juostos ilgis buvo lygus sijos ilgiui. Juosta prie sijos buvo klijuojama specialia epoksidine derva. Sijos apatinėje dalyje buvo priklijuoti įtempius fiksuojantys davikliai. Sijos buvo bandomos 4 lenkimo taškų bandymo mašina. Bandymo metu buvo nustatoma sijos deformacijos jėga reikalinga suardyti sijai. Tyrimų metu buvo tiriamos ir sijų suirimo priežastys. Didesnis dėmesys buvo skiriamas sijoms, kurios suiro dėl šakų įtakos. Išilginių įtrūkimų, augant deformacijoms ir jėga nekinta. Tokiu atveju galimas sijos psiaudo lūžis. Atlikus tyrimus gautos tokios reikšmės pateikiamos 12 lentelėje.

12 lentelė. Tyrimo metu gautos rezultatų reikšmės.

Sijos išmatavimai	Nesustiprintų sijų F_{max} , kN	Sustiprintų sijų F_{max} , kN	Padidėjimas, %	Deformacija nesustiprintų, mm	Deformacija sustiprintų, mm
160x100	39,7	42,0	6	125,1	159,7
140x100	33,9	33,8	Nepadidėjo	208,0	194,7
120x100	17,2	24,5	42	73,5	93,3

Analizuojant atlikto bandymo rezultatus, pastebima tendencija, kad didėjant medienos kiekiui sijoje matomas anglies pluošto įtakos sumažėjimas sijos gebėjimui atlaikyti apkrovas [18].

4.9 Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Iš atliktos mokslinės literatūros analizės matyti, kad medienos sustiprinimo metodai aktuali tema. Vienas iš metodų aptariamų literatūros apžvalgoje anglies pluošto panaudojimas sijų sutiprinimui. Anglies pluoštas kompozitinė medžiaga su geromis mechaninėmis savybėmis [19]. Todėl juo galima sustiprinti masyvios medienos sijas. Taip panaudojant pluoštines medžiagas siekiama užtikrinant geriausias medienos mechanines savybes, aukštą tamprumo modulio reikšmę. Didžiausias dėmesys kreipiamas į sijų stiprį ir tamprumo modulį, kuris parodo - pagrindines mechanines savybes medienos standumą, lankstumą [20]. Tyrimais siekiama rasti metodus, kaip pagerinti prastos kokybės medienos mechanines savybes, prastesnių mechaninių savybių medieną, pritaikyti, ten kur nereikalingas geras estetiškas vaizdas, pritaikyti statyboje [15].

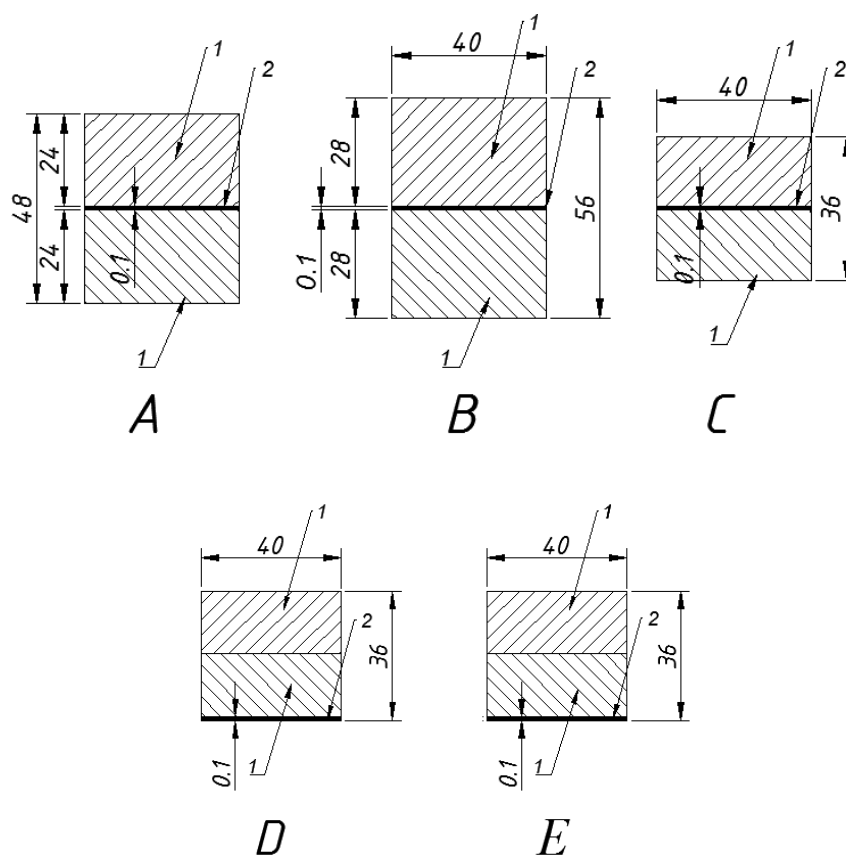
5. Metodologija

5.1 Trumpas aprašymas

Tyrimų metodika pasirinkta pagal LTS - EN 408 standartą. Šiame standarte aprašoma statybinės ir klijuotos medienos tyrimai, jais nusakoma medienos mechaninės savybės ir tyrimo metodai. Pagal šį standartą bandymai atliekami su nedidesne nei 1 % paklaida. Pagal standartą, vienai bandymo partijai atliekama mažiausiai 10 bandymų. Pradiniai rezultatai leidžia atmesti arba patvirtinti naudojamas panaudotas medžiagas.

5.2 Bandinių klijavimas

Bandiniai buvo pagaminti iš pušies medienos, kurios matmenys - 18 x 40 x 945 mm, 24 x 40 x 945 mm ir 28 x 40 x 945 mm. Klijuotų sijų skerspjūviai pateikti 26 paveiksle. Tai pat buvo parinktas kitas klijavimo metodas, jis paveiksle žymimas D ir E raidėmis.



26 pav. Sijų skerspjūvio pjūvis. Čia žymima 1 - mediena, 2 - sanklija. A - 48 mm storio sija, B - 56 mm storio sija, C - 36 mm storio sija D- 36 mm storio sija, sustiprinta Pur+anglies pluoštas, E - 36 mm storio sija sustiprinta Epox+anglies pluoštas.

Vienam bandiniui suklijuoti naudojami du tašeliai masyvos medienos. Pušies mediena buvo parinkta iš lamelių sujunktų, ilgio atžvelgiu. Pušies medienos tankis - $\rho = 520 \text{ kg/m}^3$, kai medienos drėgnis - 12 – 15 %. Šiuo atveju medienos tankis nustatomas svėrimo metodu pagal 3 formulę.

$$q_w = \frac{m_w}{a_w b_w l_w}, \text{ kg/m}^3 \quad (3)$$

Čia q_w – medienos tankis, kg/m^3 , m_w – bandinio masė, kg , a_w , b_w , l_w – bandinio matmenys, m .

Tirta pušies mediena su vizualiniais defektais. Bandinių išlaikymo trukmė prese - 24 valandos. Aplinkos temperatūra - 25 °C laipsniai, aplinkos drėgnis - apie 55 – 65 %. Klijavimo procesui buvo naudojama trys skirtingos klijų rūšys:

- Poliuretaningiai klijai (toliau tekste Pur)
- Epoksidinė derva (toliau tekste Epox)
- Eksperimentiniai melamino formaldehidinės dervos klijai (toliau tekste MKDF-C)

Naudojant visų trijų rūšių klijus buvo paruošta po 10 vnt bandinių kiekvienai klijų rūšiai su anglies pluoštu įvestu į sankliją. Taip buvo paruošta ir 10 vnt masyvios klijuotos medienos bandinių, kurių storis 48 mm. Naudotų klijų aprašymai pateikiami prieduose. Į sankliją įvedamo anglies pluošto juostos pagrindiniai parametrai: plotis - 50 mm ir svoris 96 g/m^2 , juosta vienakryptė nesupinta. Naudota poliuretaningiai klijai „Kleiberit 501“. Šie klijai atitinka LST EN 204 standartu [21] aprašytą D4 klijų klasę. Pagrindinės klijų savybės pateikiamos 13 lentelėje [22].

13 lentelė. Poliuretaningių klijų „Kleiberit 501“ pagrindiniai parametrai.

Bazė	Poliuretanai
Klumpumas	Vidutinio klumpumo
Naudojimo temperatūra	Optimali 20 °C
Medienos drėgnis	8 – 14 %
Išėiga	100 – 200 g/m^2
Presavimo išlaikymo trukmė	2 – 3 h
Spalva	Geltonai rusva.
Maksimalų stipri pasiekė po	24 h

Tyrimams tai pat naudota epoksidinė derva „Epoxydharz L ir kietiklis harter L“ [23]. 14 lentelėje pateikiamos pagrindinės klijų savybės. Pilnas naudotų klijų aprašymas pateiktas prieduose. Likusiems bandiniams buvo naudota eksperimentiniai MKDF – C klijai. Šių klijų pagrindiniai parametrai pateikti 15 lentelėje. Klijai priskiriami karšto kietėjimo klijų klasei. Tačiau buvo bandomos klijų, kurie naudojami šaltajam klijavimo tipui, savybės.

14 lentelė. Epoksidinių klijų pagrindiniai parametrai.

Būsena	Skystis
Spalva	Gelsva
Tankis	1,15 g/cm^3
Chlorido kiekis	< 1 %
Kietiklio ir dervos apdorojimo laikas	40 min
Stingimo temperatūra	Nuo 12 °C

15 lentelė. MKDF – C klijų pagrindiniai parametrai.

Spalva	Balta
Lūžio rodiklis	1,483
Nelakiųjų medžiagų m. d., (120 °C, 2 val.)	65,1 %
Sąlyginė klampa (VZ – 246): tūtos diametras 4 mm	76 s
pH	7,7
Koaguliacija	1:1
Kietėjimo laikas	76 s
Tankis	1272 kg/m ³
Laisvas formaldehidai	< 0,01 %
Melamino kiekis	9,6 %

Paruoštiems bandiniams buvo atliekami atitinkami matavimai: svorio nustatymas, drėgno, tankio ir matmenų nustatymas. Atlikus matavimus, buvo atliktas sijos lenkimo tyrimas. Matavimų metodika parinkta pagal LST EN 408 standartą. Matavimams naudotas slankmatis, ruletė, svarstyklės ir drėgnomatis. Slankmatis bei svarstyklės matuoja šimtųjų tikslumu. Kiekvieno bandinio matavimas buvo atliekamas po tris kartus ir išvedamas vidurkis. Drėgnis matuojamas drėgnomačiu „Gann Hydromette M 2050“, įrenginio matavimo ribos 4 – 100 % matuojama temperatūroje nuo -30 - +170 °C [24]. Naudoto drėgnomačio bendras vaizdas pateiktas 27 paveiksle.



27 pav. Gann hydromette M 2050 bendras vaizdas.

Slankmatis ir ruletė - tai pramonėje naudojami įrankiai. Išmatavus pradinis bandinių parametrus, buvo atliktas bandinių lenkimas iki visiško sijos suirimo. Pirmieji tyrimai buvo atlikti pramonine universalia lenkimo SMB BP-16. Šios mašinos lenkimo jėga gali siekti iki 156 kN [25]. Lenkimo mašinos bendras vaizdas atspindimas 28 paveiksle. Medienos įlinkio nebuvo galima nustatyti dėl techninių kliūčių.



28 pav. SMB BP – 16 universali lenkimo mašina, naudota atlikti pirmuosius bandymus.

Lenkimo mašinos greitis reguliuojamas nuo 0,1 – 7,9 mm/s, pasirinktas greitis - 1,4 mm/s. Pagal LST EN 408 standartą bandymo laikas turi būti nemažesnis kaip 2 minutės iki visiško sijos suirimo. Parinkus tokį greitį, bandymo trukmė svyravo nuo 2 minučių ir 30 sekundžių iki 3 minučių, priklausomai nuo bandinio stiprio. Šio įrengimo minimali matuojama jėga - 1250 N. Medienos stiprio nustatymas buvo vykdomas patalpoje, kurios aplinkos parametrai buvo griežtai kontroliuojami ir atitinka LST EN 408 standarto normas. Atlikus pirmus bandymus su 48 mm storio medienos bandiniais gauti, rezultatai leido atmesti vieną eksperimentinę klijų rūšį. Tolimesni bandymai buvo atliekami su ToniNorm įrangos komplektu [26,27]. Šis komplektas naudojimas įvairių kompozitų stipriui, bei kitiems parametrų nustatyti. Atliekant tolimesnius tyrimus nustatomas ir bandytų bandinių įlinkis. Nubraižomos įlinkio bei naudojamos jėgos priklausomybės grafikai, parodantys, kokios jėgos reikia ruošiniui visiškai suardyti. Šio įrenginio darbiniai parametrai reguliuojami kompiuterinės įrangos pagalba. Mūsų nagrinėjamu atveju galima nustatyti, kad įrenginys maksimalia apkrova apkrautų ruošinį iškart ir atvirkščiai. Bandymai su 36 mm storio ruošiniais atliekami „mažu presu“, o 56 mm storio bandiniai bandomu „dideliu presu“. Tai yra daroma dėl ruošinių gabaritų. Mažo preso maksimali lenkimo jėga - 10 kN. Didžiojo preso lenkimo jėga siekia 64 kN. Atliekant bandymus, nustatomas ir bandinių įlinkis vykstant bandymui. Įrenginio bendras vaizdas - 29 paveiksle. Sijos lenkimas vyksta tokiomis pat sąlygomis, kaip ir atlikti pradiniai bandymai. Atlikus visus reikiamus matavimus, atliekamas klijotų sijų stiprio nustatymas. Sijos bandomos pagal anksčiau aprašytas sąlygas.



29 pav. ToniNorm įrenginio bendras vaizdas, bandymo metu.

Atlikus bandymus, buvo atliekamas medinių sijų stiprio skaičiavimas pagal formulę 4.

$$g_l = \frac{3 * F_{Max} * l_1}{2 * b * a^2}; Pa \quad (4)$$

Čia: F_{max} – suirimo jėga N, l_1 – atstumas tarp atramų m, b – bandinio plotis m, a – bandinio aukštis m.

Atlikus bandymus su 48 mm storio sijomis, buvo nustatyta maksimali jėga reikalinga sijai suardyti. Žinant šiuos rodiklius, apskaičiuojamas sijų stipris. Apskaičiuavus sijos stiprį, pagal stjudento koeficientą atliekamas statistinis rezultatų apdorojimas. Rezultatus galime priimti kaip teisingus, jeigu variacijos koeficientas nedidesnis nei 20 %. Tokia pati bandymų eiga taikoma ir visoms klijuotoms ir sustiprintoms sijoms. Dėl techninių kliūčių nebuvo galima nustatyti A sijų įlinkio. Kitoms sijoms įlinkio nustatymas buvo atliktas.

6. Tyrimo rezultatų aptarimas

Tyrimo pradžioje nustatyti bandinių pagrindiniai parametrai. Pradiniai parametrai pateikiami 16 lentelėje.

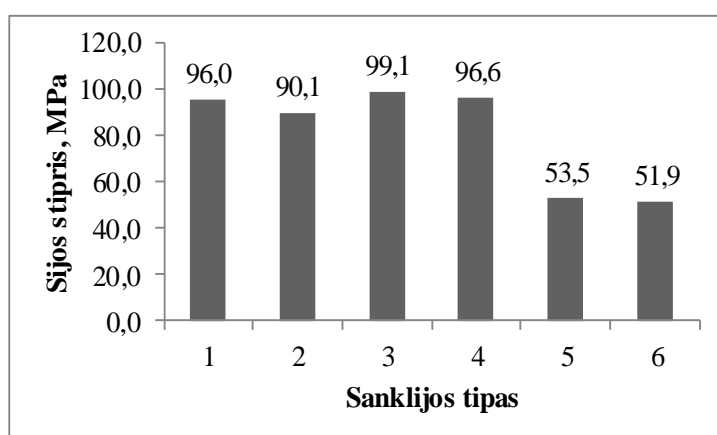
16 lentelė. Pradiniai medienos ruošinių parametrai.

Mediena	Pušis
Medienos ruošinių vidutinis tankis	~606,1 kg/m ³
Ruošinių pradinio drėgčio vidurkis	11,4 %
Paruoštų bandinių matmenys	36x40x945, 48x40x945 ir 56x40x945 mm.

6.1 A tipo sijų tyrimas

Atlikus visus reikiamus bandymus, nustatytas klijuotų sijų stipris. Pradiniais bandymais buvo tiriama A sijų parametrai. Pagrindiniai sijų parametrai ir visi atlikti skaičiavimai visoms bandytoms sijoms pateikiami prieduose. Priede pateikiamose lentelėse įrašyti kiekvieno bandinio rezultatai ir atlikti statistiniai skaičiavimai. Pirmos buvo bandomos sijos, kurios buvo klijuojamos

poliuretaniniais klėjais ir kurioms į sankliją buvo įvesta anglies pluošto juosta. Bandymų rezultatai leidžia teigti, kad sustiprintų sijų stipris svyruoja nuo 65,2 MPa iki 126,4 MPa. Gautas sijų stiprio vidurkis lygus 96,0 MPa. Palyginimui tokio pat storio masyvios medienos sijos stipris svyruoja nuo 82,5 MPa iki 99,8 MPa. Sijų stiprio vidurkis lygus 90,1 MPa. Iš rezultatų galime spręsti jog naudojant anglies pluoštą, yra padidinamas medienos stipris. Tiriant A tipo sijas, kurios buvo kljuojamos epoksidinėmis dervomis ir į sankliją įvedus anglies pluoštą, paaiškėjo, kad stipris svyruoja nuo 87,2 MPa iki 110,2 MPa. Šių sijų stiprio vidurkis - 99,1 MPa. Kljuojant epoksidine derva masyvios medienos sijas, atliekant bandymą stipris svyravo nuo 71,0 MPa iki 121,6 MPa. Stiprio vidurkis - 96,6 MPa. Rezultatai tai pat rodo, kad į sankliją įvedus anglies pluoštą stipris padidėja, tačiau padidėjimas yra mažesnis nei kljuojant poliuretaniniais klėjais. Atliekant bandymus buvo tiriama viena rūšis eksperimentinių melamino formaldehidinės dervos kljų. Tyrimo metodika identiška bandytoms A tipo sijoms. Atlikus bandymą, pastebėta sijos suirimo per sankliją tendencija. Tai rodo neišbaigtą kljų sudėtį. Kljuojant MKDF-C klėjais, sijos stipris svyruoja nuo 39,8 MPa iki 63,8 MPa. Gautas sijų stiprio vidurkis lygus 51,9 MPa. Į sankliją įvedus anglies pluoštą, pastebimas svyruojantis stiprio padidėjimas kuris - nuo 43,9 MPa iki 73,1 MPa, sijų stiprio vidurkis lygus 53,5 MPa. Gavus pradinius duomenis, vidutinės stiprio reikšmės buvo palygintos, su masyvios medienos sijų, buvo suklijuotos be anglies pluošto, stipriu. Matome, kad į sankliją įvedus anglies pluoštą, sijos stipris kljuojant poliuretaniniais klėjais padidėja 6,15 %. Kljuojant epoksidine derva, stiprio padidėjimas siekia 2,52 %, kljuojant eksperimentiniais klėjais, stiprio procentinis padidėjimas lygus 2,99 %. Kadangi eksperimentiniai klėjai parodė nekokybišką sankliją, tolimesniuose bandymuose nenaudojami. 30 paveiksle pateikiamos stiprio vidurkių reikšmės. Iš paveikslo matyti, jog įvedus į sankliją anglies pluoštą gaunamas didesnis sijos stipris.

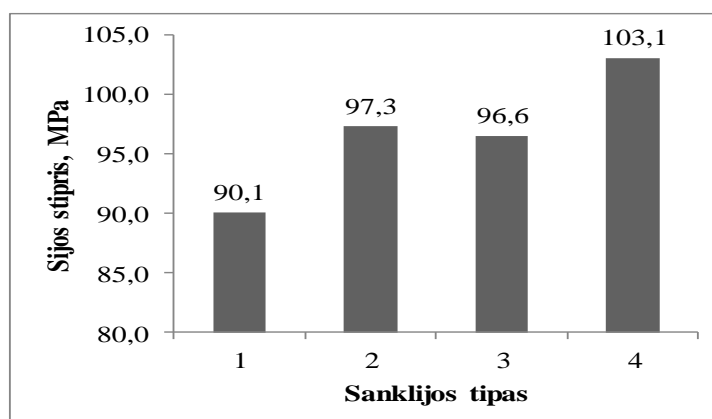


30 pav. A tipo sijų stiprio vidutinės reikšmės. Čia: 1 – Pur+anglies pluoštas, 2 – Pur, 3 – Epox+anglies pluoštas, 4 – Epox, 5 –MKDF-C+anglies pluoštas ir 6 –MKDF-C

Atlikus pradinius bandymus, buvo atmesta viena kljų rūšis melamino formaldehidinės dervos klėjai. Buvo paruošta dar dvi grupės ruošinių, aprašytos anksčiau.

6.2 B tipo sijų tyrimas

B tipo sijoms klijuoti buvo naudojami poliuretaniniai klėjai ir epoksidinė derva. Abiems grupėms į sankliją buvo įvedamas anglies pluoštas. Atliktas bandymas rodo jog, klijuojant poliuretaniniais klėjais ir į sankliją įvedus anglies pluošto juostą, sijų stipris pasiskirsto nuo 76,1 MPa iki 106,8 MPa. Sijų stiprio vidurkis lygus 97,3 MPa. Akivaizdu, klijuojant epoksidine derva, stiprio pasiskirstymas svyruoja nuo 71,4 MPa iki 124,7 MPa. Sijų stiprio vidurkis lygus 103,1 MPa. Atlikus bandymus su B tipo sijomis, matomas sijos stiprio padidėjimas, palyginus su A tipo masyvios medienos sijomis. Vidutinis procentinis stiprio padidėjimas B tipo sijoms klijuotoms su poliuretaniniais klėjais ir sanklijoje įvedus anglies pluoštą lygus 7,99 %. Atitinkamai epoksidine derva klijuotos sijos stiprio padidėjimas lygus 6,73 %. 31 paveiksle matome vidutinių stiprio reikšmių palyginimą - A tipo masyvios medienos sijų ir B tipo sustiprintų anglies pluoštu sijų. Akivaizdu, kad visais atvejais sijų stipris didesnis nei įprastai klijuotų masyvios medienos sijų. Norit patvirtinti arba paneigti iškeltą hipotezę, reikalingas dar vienas bandymas, pasirenkant kito storio siją. Toliau aptarsime C tipo sijų rezultatus.

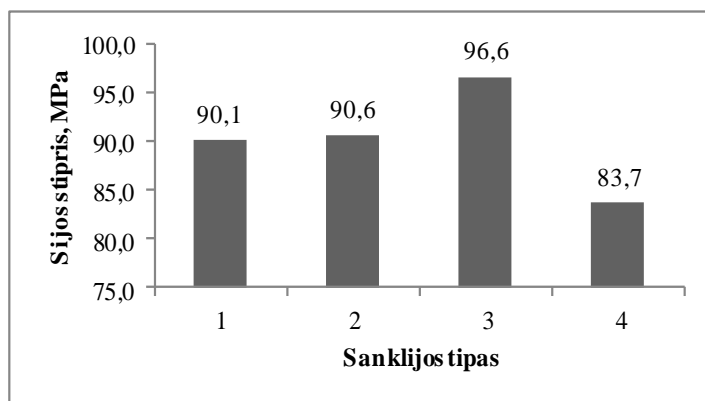


31 pav. A tipo masyvios medienos sijų stiprio palyginimas su B tipo sustiprintomis sijomis. Čia: 1 – Pur, 2 – Pur+anglies pluoštas, 3 – Epox, 4 – Epox+anglies pluoštas.

6.3 C Tipo sijų tyrimas

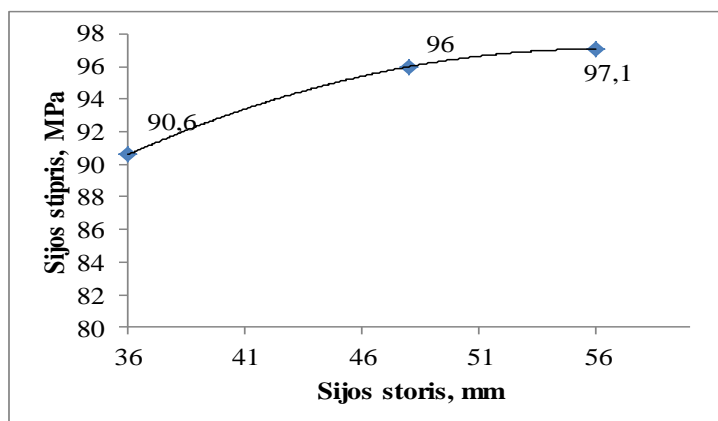
Trečiuoju atveju buvo tirta 36 mm storio sijos. Klijuojant poliuretaniniais klėjais ir į sankliją įvedant anglies pluošto juostą stipris, sijose kinta nuo 76,6 MPa iki 121,9 MPa. Sijų stiprio vidurkis lygus 90,6 MPa. Palyginti su epoksidine derva suklijuotomis sijomis, jų stipris kinta nuo 55,7 MPa iki 111,5 MPa, stiprio vidurkis lygus 83,7 MPa. Tai pat buvo lyginama ir A tipo sijų stiprio vidurkiai su C tipo sijų vidurkiais. Nustatyta, jog vidutinis stiprio pokytis, suklijavus poliuretaniniais klėjais, lygus 0,55 % didesnis A tipo masyvios medienos sijos, klijuotos poliuretaniniais klėjais. Atitinkamai epoksidine derva klijuojant C sijos stipris sumažėjo 13,35 %. 32

paveiksle matome A ir C tipo sijų stiprio palyginimą. Iš šiame paveiksle pateiktų rodmenų, apskaičiuojamas procentinis stiprio pokytis.

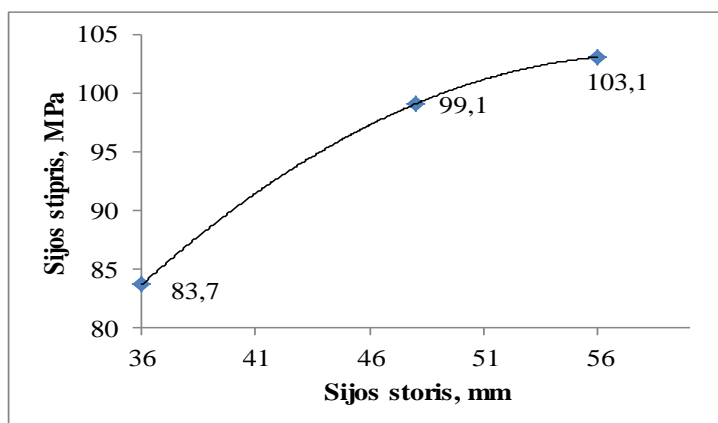


32 pav. A tipo masyvios medienos sijų stiprio palyginimas su C tipo sustiprintomis sijomis. Čia: 1 – Pur, 2 – Pur+anglies pluoštas, 3 – Epox, 4 – Epox+anglies pluoštas.

Atlikus bandymus braižomi sijų stiprio vidutinių reikšmių grafikai. 33 paveiksle matome sijų stiprio vidurkio pasiskirstymo grafiką, kai sijos buvo klijuojamos poliuretaniniais klėjais. Iš grafiko akivaizdu kad didėjant medienos kiekiui, anglies pluošto įtaka sijos stipriui mažėja. Tai pat buvo nubraižytas ir sijų, kurios buvo klijuojamos epoksidine derva, Stiprio pasiskirstymo grafikas 34 Paveiksle pastebime tokią pat tendenciją, kad didėjant medienos kiekiui sijoje anglies pluošto įtaka sijos stipriui mažėja.



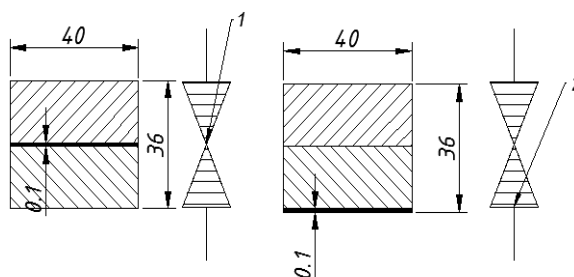
33 pav. Sijų kurios buvo klijuojamos poliuretaniniais klėjais ir į sankliją įvedant anglies pluoštą, stiprio pasiskirstymas.



34 pav. Sijų, kurios buvo klijuojamos epoksidine derva ir į sankliją įvedant anglies pluoštą, stiprio pasiskirstymas.

6.4 Anglies pluošto pozicijos įtaka D ir E tipo sijoje

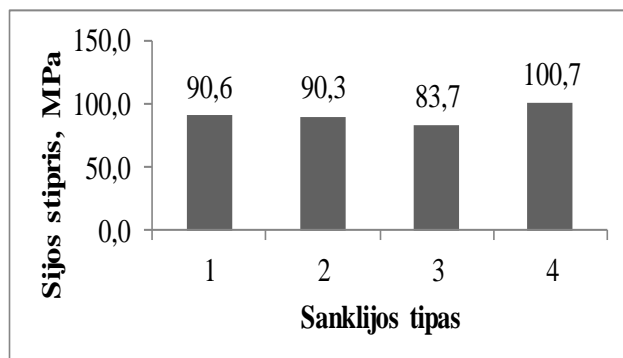
Klijuojant ir sustiprinant medines sijas gaunami teigiami rezultatai, tačiau klijuojant anksčiau aptartais atvejais, anglies pluoštas patekdavo į nulinių įtempių zoną. 35 paveiksle pateiktas vaizdas parodo, kad sijos klijavimo siūlė eina per sijos centrą. O centre įtempiai lygūs 0 paveiksle žymima 1. Šoninė sija ir įtempių diagrama vaizduoja D ir E sijų tipo sustiprinimą, kur 2 žymima didžiausi įtempiai susidarantys lenkiant siją.



35 pav. Sijos įtempių pasiskirstymas sijos skerspjūvyje.

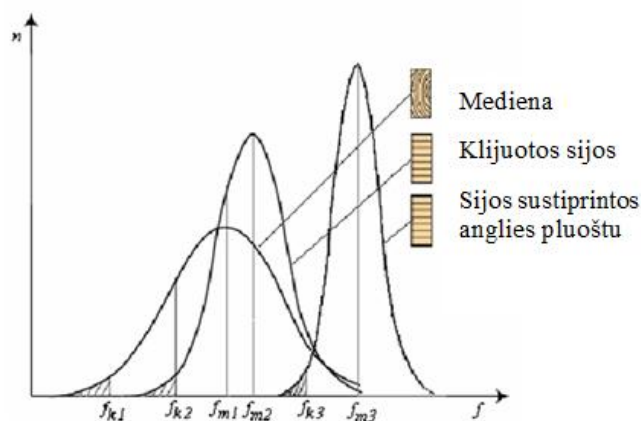
Šiam tikslui buvo paruošta sijos, kurios buvo sustiprinamos anglies pluoštu apatinėje sijos dalyje. Būtent toje vietoje kur lenkimo metu susidaro didžiausi įtempiai. Tokiu būdu galime lyginti anglies pluošto įtaką sijų stipriui. Bandymo metu gauta, kad sijos D, kurios buvo sustiprinamos poliuretaniniais klijais ir anglies pluošto, juosta stipris svyruoja nuo 68,5 MPa iki 116,1 MPa, stiprio vidurkis lygus 90,3 MPa. Palyginti E tipo sijos, kurios buvo klijuotos epoksidine derva ir anglies pluošto juosta, sijų stipris svyruoja nuo 82,3 MPa iki 114,6 MPa. Stiprio vidurkis lygus 100,7 MPa. Matome, kad stiprio sklaidos laukas mažesnis, nei D tipo sijų. Toliau tekste lyginsiu C tipo sijų vidutines reikšmes su D ir E tipo sijų stiprio rezultatais. Tikrinant, ar stipriui įtakos turi anglies pluošto pozicija sijoje, skirtumo tarp C ir D sijų nepastebėta. Šios sijos buvo klijuojamos poliuretaniniais klijais. Priešingi rezultatai matomi, kur lyginama C ir E tipo sijų stipriai. Čia matomas aiškus skirtumas, sijos E tipo sijos stipris didesnis 20,31 %. Tai matome 36 paveiksle.

Todėl galime teikti, jog įtakos sijos stipriui turi ne tik sijos klijavimo metodas, bet ir anglies pluošto pozicija gaminyje. Tačiau šis atvejis tinkamas tik klijuojant epoksidine derva.



36 pav. Sijos stiprių reikšmės esant skirtingai anglies pluošto pozicijai. Čia: 1 – C Pur+anglies pluoštas, 2 – D Pur+anglies pluoštas, 3 – C Epox+anglies pluoštas ir 4 - E Epox+anglies pluoštas.

Atliktų bandymų rezultatai artimi literatūros apžvalgoje aptartiems rezultatams. Užsienio literatūroje tai pat konstatuojamas teigiamas stiprio pokytis sijose. Mano atliktų bandymų rezultatai svyruoja nuo 0,55% iki 20 %. Užsienio literatūroje šis padidėjimas svyruoja nuo 6 %, tačiau visais atvejais matoma tendencija, jog didėjant medienos gabaritams, anglies pluošto įtaka sijos savybėms mažėja. Apdorojus medieną, ji tampa labiau prognozuojama, 37 paveiksle matome, kokios būna natūralios medienos, klijuotos sijos ir sutvirtintų pluoštinėmis medžiagomis, sijų mechaninių savybių pasiskirstymo laukas [28].

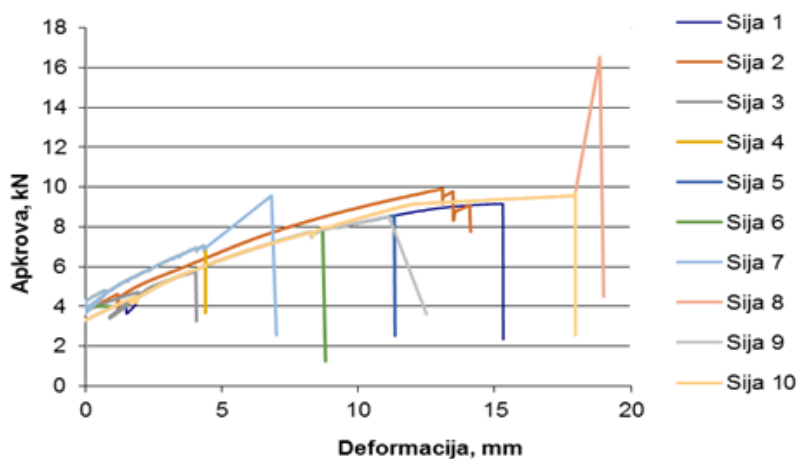


37 pav. Mechaninių savybių pasiskirstymas medienoje, klijuotose sijose ir sijose kurios sustiprintos anglies pluoštu. Čia f_k – charakteristikos reikšmė, f_m – vidurkis.

6.5 Sijų deformacijų tyrimas

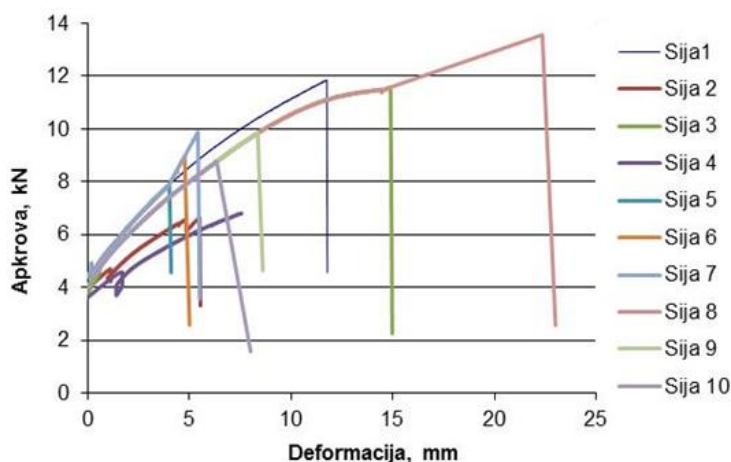
Atliekant sijų stiprio nustatymą, kartu buvo atliekamas ir sijų deformacijų iki sijos suirimo matavimas. A tipo sijų deformacijos nebuvo nustatomas dėl tam tikrų techninių kliūčių. Palygintos tik B ir C sijų deformacijos. Sijos deformacija, kaip ir stipris, svarbi sijos savybė. Žinodami galimas sijos deformacijas, galime prognozuoti kokios deformacijos bus pasiekiamos natūralaus

dydžio sijose. Analizuodami B tipo sijų, kurios buvo klijuojamos poliuretaniniais klizais ir anglies pluošto juosta deformacijas, 38 paveiksle matome, kad sijų deformacijos labai įvairios ir jų pasiskirstymas gana platus. Deformacijų dydis svyruoja iki 18,5 mm. Tai paaiškėjo išbandžius 10 bandinių. Sija, kuri buvo pažymėta 8 numeriu, atlaikė didelę apkrova. Tačiau ir sijos įlinkis buvo didžiausias, todėl atlikus statistinį domenų apdorojimą, paaiškėjo kad šios sijos rezultatai nepriimtini. Iš grafiko matyti, kad bandymo metu bandiniuose atsirado psiaudo lūžių, dėl kurių grafikuose matyti iškraipymų. Bandymai buvo vykdomi iki visiško sijos suirimo.



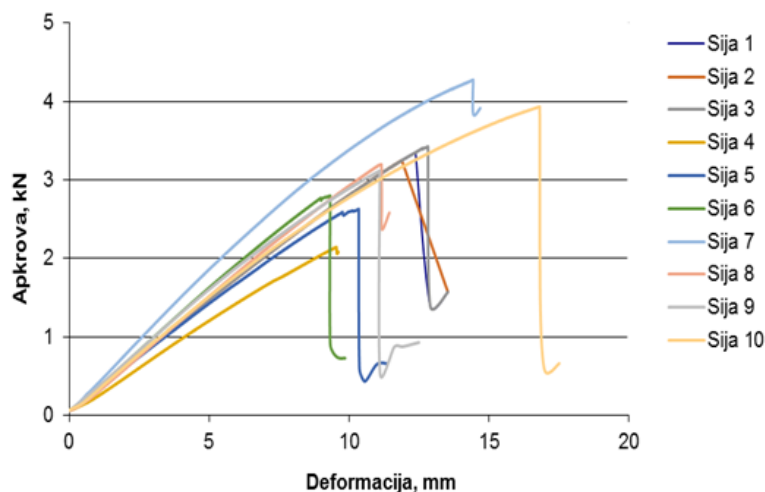
38 pav. B tipo sijų, klijuotų poliuretaniniais klizais, deformacijos.

Naudojant epoksidinius klizus ir anglies pluoštą B tipo sijose, pastebima kad deformacijų pasiskirstymas siauresnis. Deformacijos svyruoja iki 13 mm. Tačiau yra dvi išsišokančios reikšmės kurios matomos grafike. Pagal statistinius skaičiavimus šių reikšmių atmesti negalime. Sijų deformacijas, kurias gauname bandymo metu, galime matyti 39 paveiksle. Palyginimui matome, kad klijuojant poliuretaniniais klizais gaunama netokia vientisa sanklija, kaip klijuojant epoksidine derva.



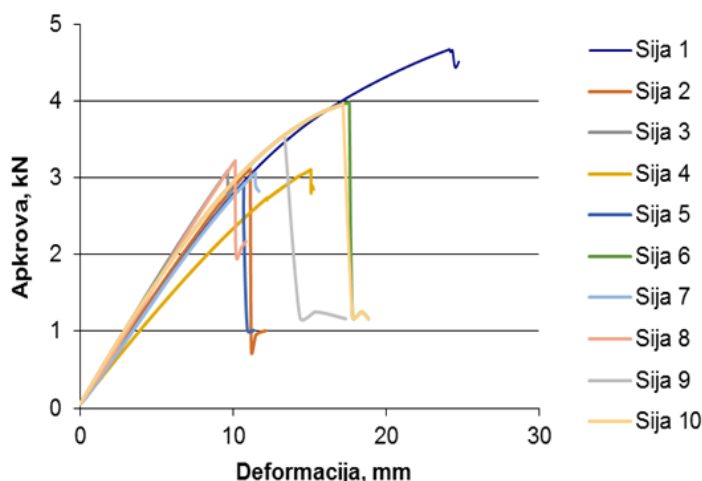
39 pav. B tipo sijų, klijuotų epoksidine derva, deformacijos.

Sijos, kurios buvo pagamintos pagal C tipą, naudojome abi klijų rūšis ir anglies pluoštą. Ruošiant bandinius su epoksidine derva ir anglies pluoštu, deformacijos svyruoja iki 17 mm. 40 paveiksle tai pat matome išsišokusias reikšmes, kurių deformacijos didesnės nei kitų sijų. Atlikus statistinį apskaičiavimą, paaiškėjo jog variacijos koeficientas neviršija 20 %. Tokiu atveju negalime atmesti išsišokusių reikšmių, ir turime jas priimti kaip priimtinas. Ši deformacijų skirtumą gali įtakoti anglies pluošto juostos pozicija ruošinyje.



40 pav. C tipo sijų, klijuotų epoksidine derva, deformacijos.

C tipo sijas klijuojant poliuretaniniais klijais, sijų deformacijos svyruoja iki 17 mm. 41 paveiksle pateikiamos sijų klijuotų poliuretaniniais klijais deformacijų reikšmės, gautos atliekant bandymus.

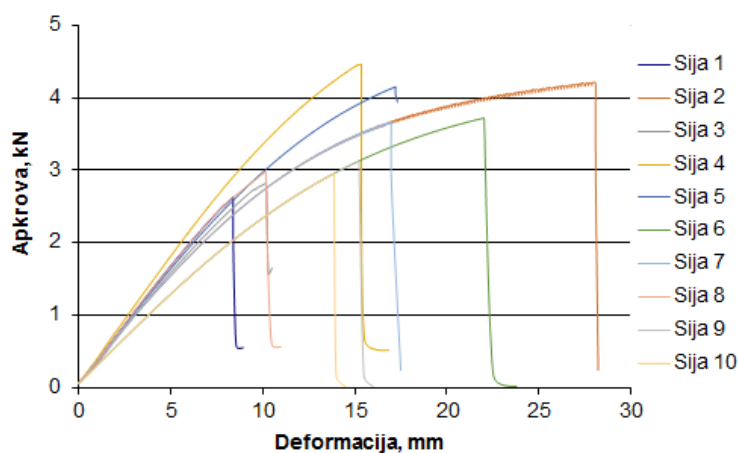


41 pav. C tipo sijų, klijuotų poliuretaniniais klijais, deformacijos.

Matome, jog didėjant sijos storiui, sijos lankstumas mažėja, tačiau sijos deformacijas sunkiau prognozuoti. Tai matome palygindami 36 mm storio sijas ir 56 mm storio sijas. Šiuo atveju naudoti klijai įtakos neturi, matomas didesnis deformacijų pasiskirstymas 56 mm sijose.

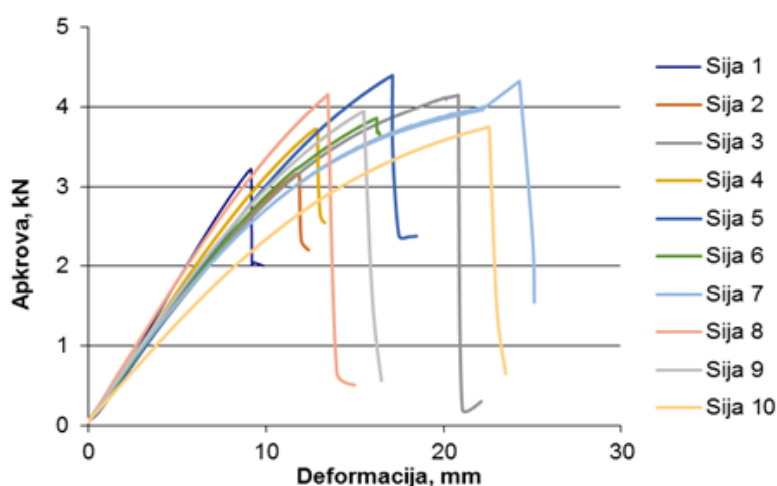
6.6 Anglies pluošto pozicijos įtaka sijos deformacijų dydžiui

Toliau palyginsiu C tipo sijų ir D bei E tipo sijų deformacijas. Šios sijos vienodo storio, tačiau anglies pluošto pozicija sijose skirtinga. D tipo sijos buvo klijuotos poliuretaniais klijuojais. Anglies pluoštas klijuotas sijos apačioje. 42 paveikslas iliustruoja, D tipo sijos deformacijos labai plačiai pasiskirstę iki 27 mm. Palyginimui C tipo sijos deformacijos svyravo iki 17 mm.



42 pav. D tipo sijų deformacijos, sijos buvo klijuotos poliuretaniais klijuojais.

Panašūs rezultatai gauti ir atliekant bandymą su E tipo sijomis. Šios sijos klijuotos epoksidine derva. Čia tai pat gautas platus sijų deformacijų sklaidos laukas. Šiuo atveju tai matome 43 paveiksle. Iš paveikslo duomenų matyti, kad sijos deformacijos kinta iki 25 mm, kai tuo tarpu C sijų atveju, deformacijos kito iki 17 mm. Iš to galime kelti prielaidą, kad anglies pluošto pozicija turi įtakos sijos deformacijoms.



43 pav. E tipo sijų deformacijos, sijos buvo klijuotos epoksidine derva.

Atlikus visus bandymus, matyti, jog sijos stiprį galima padidinti naudojant anglies pluoštą. Taip pat galime teikti, kad anglies pluoštas turi įtakos sijos deformacijų dydžiui. Tai matome palyginę C, D ir E tipo sijas. C tipo sijose deformacijos svyruoja iki 17 mm, D ir E tipo sijose šios

deformacijos svyruoja iki 27 mm. Visa tai yra svarbu pastatų konstrukcijose, todėl manome, kad būtų tikslinga tęsti tyrimus, atliekant tampros modulio nustatymą. Didesnis bandinių skaičius padėtų gauti tikslesnius rezultatus. Kurie suteiktų daugiau galimybių optimalaus sijų modelio parinkimui.

Padėka

AB „Stalių gaminiai“

Kauno technologijos universiteto statybinių konstrukcijų fakultetui

7. Išvados

1. Eksperimentiniai AB „Achema“ gaminami melamino formaldehidinės dervos klijai parodė nekokybišką sankliją. Todėl tolimesniuose bandymuose jie naudojami nebuvo.
2. Nustačius sijų stiprį, matome, kad didėjant medienos kiekiui, anglies pluošto įtaka sijos stipriui mažėja.
3. Didžiausias stiprio procentinis padidėjimas gautas A tipo sijose klijuojant poliuretaniniais klijais ir sanklijoje naudojant anglies pluošto juostą.
4. Sumažinus sijos gabaritus, C tipo sijos kurios buvo klijuojamos poliuretaniniais klijais, parodė geresnes stiprio reikšmes nei A tipo sijos. Pasirinkus C tipo siją galima sumažinti masyvios medienos sąnaudas.
5. Pakeitus anglies pluošto poziciją, galima padidinti sijos stiprį. Ypač tai atsispindi, kai sijų klijavimui naudojama epoksidinė derva.
6. Sijoms, kurioms reikalingos didelės deformacijos, geriausia taikyti D ir E klijavimo tipus. Taip sijos tampa lankstesnės.
7. Poliuretaniniais ir epoksidinės dervos klijais klijuotų sijų stipris beveik nesiskiria. Todėl brangią epoksidinę dervą galima keisti pigesniais poliuretaniniais klijais.

8. Literatūros šaltinių sąrašas

1. Abílio M.P. de Jesus, José M.T. Pinto, José J.L. Morais „Analysis of solid wood beams strengthened with CFRP laminates of distinct length“ 35 (2012) 817-828.
2. E. Ferrier P. Labossière, K.W. Neale „Modelling the bending behaviour of a new hybrid glulam beam reinforced with FRP and ultra-high-performance concrete“ 36 (2012) 3883-3902.
3. Csilla Vanya „DAMAGE PROBLEMS IN GLUED LAMINATED TIMBER“ 2012 vol. 55, nr 188.
4. D.Albrektas, A.Baltrušaitis, I. Juodeikienė it kt. „Medienos inžinerija“ (2011) 48 – 54.
5. Pilar de la Rosa García, Alfonso Cobo Escamilla, M. Nieves González García. „Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials“ B 55 (2013) 528 - 536.
6. LST EN 338:2010 „Statybinė mediena. Stiprumo klasės“ 2010 1-10 psl.
7. LST EN 386:2002 „Klijuota sluoksninė mediena. Eksploatacinių charakteristikų reikalavimai ir mažiausieji gamybos reikalavimai“.
8. Erik Serrano, Mikael Fonselius, Carl-Johan Johansson & Kjell H. Solli „A METHOD FOR GLUE BOND QUALITY TESTING OF FLANGE/WEB ADHESIVE CONNECTIONS OF WOODEN I-BEAMS“ (2004).
9. LST EN 408:2004 „Medinės konstrukcijos. Statybinė mediena ir klijuotoji sluoksninė mediena. Kai kurių fizikinių ir mechaninių savybių nustatymas“.
10. B. Anshari, Z.W. Guan, A. Kitamori K. Jung, K. Komatsu „Structural behaviour of glued laminated timber beams pre-stressed by compressed wood“ 29 (2012) 24 – 32.
11. Gary M. Raftery, Annette M. Harte „Low-grade glued laminated timber reinforced with FRP plate“ B 42 (2011) 724-735.
12. Gary M. Raftery, Peter D. Rodd „FRP reinforcement of low – grade glulam timber bonded with wood adhesive“ 92 (2015) 116 – 125.
13. ASTM D143 - 94 (2007) „Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber“.
14. Alfredo S. Ribeiro, Abílio M.P. de Jesus, António M. Lima, José L.C. Lousada „Study of strengthening solutions for glued-laminated wood beams of maritime pine wood“ 23 (2009) 2738-2745.
15. Hale Gezer, Bulent Aydemir „The effect of the wrapped carbon fiber reinforced polymer material on fir and pine woods“ 31 (2010) 3564-3567.
16. Anca Pirvu, Douglas J. Gardner, Roberto Lopez-Anido „Carbon fiber-vinyl ester composite reinforcement of wood using the VARTM/SCRIMP fabrication process“ 35 (2004) 1257 – 1265.
17. Andrea Frangi Marco Bertocchi Sebastian Clauß Peter Niemz „Mechanical behaviour of finger joints at elevated temperatures“ (2012) 46:793-812.

18. P. Neubauerova „Timber beams strengthened by carbon – fiber reinforced lamellas“ 40 (2012) 292 -297.
19. Saira Taj, Munawar Ali Munawar, Shafiullah Khan „Natural fiber – reinforced polymer composites“ 44(2) 2007 129-144.
20. Internetinis šaltinis <http://www.wood-database.com/wood-articles/modulus-of-elasticity/>.
21. LST EN 2004:2005 „Termoplastinių medienos klijų, netaikomų konstrukcijoms, klasifikavimas“.
22. Internetinis šaltinis
https://www.kleiberit.com/fileadmin/user_upload/pdf/Infoblaetter/englisch/501_PUR_Leim_GB_U_S.pdf.
23. Internetinis šaltinis <http://www.swiss-composite.ch/scs4/html/index.shtml?lang=en>.
24. Internetinis šaltinis <http://www.gann.de/Home/tabid/38/language/en-US/Default.aspx>
25. Internetinis šaltinis <http://www.smb-keilzinken.de/en/unternehmen-en>
26. Internetinis šaltinis <http://www.zwick.co.uk/en/applications.html>
27. Internetinis šaltinis
<http://www.tonitechnik.com/frame/Control.php?action=Frame,show&mainNavId=8>
28. Jobin Jacob, Olga Lucia Garzon Barrangan „Flexural strengthening of glued laminated timber beams with steel and carbon fiber reinforced polymers“ 2007:28 1-30.

9. Priedai

A tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant poliuretaniais klijais ir anglies pluošto juosta sanklijoje.

1 lentelė. A tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, MPa
1	Pušis	11,7	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,08	6540,0	0,17	95,8
2	Pušis	11,4	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,04	4450,0	0,12	65,2
3	Pušis	12,0	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,10	7760,0	0,21	113,7
4	Pušis	11,5	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,00	8630,0	0,23	126,4
5	Pušis	11,0	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,04	5400,0	0,14	79,1
6	Pušis	9,0	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,20	6200,0	0,16	90,8
7	Pušis	10,0	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,23	5850,0	0,15	85,7
8	Pušis	15,0	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,10	6310,0	0,17	92,4
9	Pušis	11,5	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,00	7950,0	0,21	116,5
10	Pušis	11,4	PUR	+	40,0	48,0	945,0	1,05	6420,0	0,17	94,0

2 lentelė. A tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	6540,0	40,00	945,0	95,8	
2	4450,0	40,00	945,0	65,2	
3	7760,0	40,00	945,0	113,7	
4	8630,0	40,00	945,0	126,4	
5	5400,0	40,00	945,0	79,1	
6	6200,0	40,00	945,0	90,8	
7	5850,0	40,00	945,0	85,7	
8	6310,0	40,00	945,0	92,4	
9	7950,0	40,00	945,0	116,5	
10	6420,0	40,00	945,0	94,0	

3 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Pur+anglies pluoštas	
Viso bandinių n=	10
Mažiausias stipris min=	65,2
Didžiausias stipris max=	126,4
Stiprio vidurkis vid=	96,0
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	18,37777042
Variacijos koef. % V=	19,15082021

A tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant poliuretaniais klizais.

4 lentelė. A tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, MPa
1	Pušis	12,1	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,10	6100,0	0,16	89,4
2	Pušis	11,0	PUR	-	40,0	48,0	945,0	0,96	6810,0	0,18	99,8
3	Pušis	11,2	PUR	-	40,0	48,0	945,0	0,96	6160,0	0,16	90,2
4	Pušis	11,5	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,04	6510,0	0,17	95,4
5	Pušis	10,5	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,00	5630,0	0,15	82,5
6	Pušis	13,0	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,10	6210,0	0,16	91,0
7	Pušis	11,2	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,50	5900,0	0,16	86,4
8	Pušis	10,5	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,07	6120,0	0,16	89,6
9	Pušis	10,8	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,02	6210,0	0,16	91,0
10	Pušis	10,4	PUR	-	40,0	48,0	945,0	1,02	5870,0	0,16	86,0

5 lentelė. A tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	6100,0	40,00	945,0	89,4	
2	6810,0	40,00	945,0	99,8	
3	6160,0	40,00	945,0	90,2	
4	6510,0	40,00	945,0	95,4	
5	5630,0	40,00	945,0	82,5	
6	6210,0	40,00	945,0	91,0	
7	5900,0	40,00	945,0	86,4	
8	6120,0	40,00	945,0	89,6	
9	6210,0	40,00	945,0	91,0	
10	5870,0	40,00	945,0	86,0	

6 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Pur	
Viso bandiniu n=	10
Mažiausias stipris min=	82,5
Didžiausias stipris max=	99,8
Stiprio vidurkis vid=	90,1
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	4,851363567
Variacijos koef. % V=	5,383394335

A tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant epoksidine derva ir anglies pluošto juosta sanklijuje.

7 lentelė. A tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F _{max} , N	Įtempiai N/mm ²	Stipris, MPa
1	Pušis	11,3	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,06	6810,0	0,18	99,8
2	Pušis	11,1	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,08	6550,0	0,17	95,9
3	Pušis	12,0	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,06	7520,0	0,20	110,2
4	Pušis	11,3	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	0,98	6620,0	0,18	97,0
5	Pušis	12,0	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,06	6570,0	0,17	96,2
6	Pušis	10,0	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,10	6890,0	0,18	100,9
7	Pušis	12,2	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,08	6670,0	0,18	97,7
8	Pušis	11,5	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,20	7350,0	0,19	107,7
9	Pušis	11,6	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,12	5950,0	0,16	87,2
10	Pušis	12,2	EPOX	+	40,0	48,0	945,0	1,06	6710,0	0,18	98,3

8 lentelė. A tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F _{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, Mpa	Atmesta reikšmė
1	6810,0	40,00	945,0	99,8	
2	6550,0	40,00	945,0	95,9	
3	7520,0	40,00	945,0	110,2	
4	6620,0	40,00	945,0	97,0	
5	6570,0	40,00	945,0	96,2	
6	6890,0	40,00	945,0	100,9	
7	6670,0	40,00	945,0	97,7	
8	7350,0	40,00	945,0	107,7	
9	5950,0	40,00	945,0	87,2	
10	6710,0	40,00	945,0	98,3	

9 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Epox+anglies pluoštas	
Viso bandiniu n=	10
Mažiausias stipris min=	87,2
Didžiausias stipris max=	110,2
Stiprio vidurkis vid=	99,1
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	6,387793774
Variacijos koef. % V=	6,44697499

A tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant epoksidine derva.

10 lentelė. A tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F _{max} , N	Įtempiai N/mm ²	Stipris, MPa
1	Pušis	11,7	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	1,04	6950,0	0,18	101,8
2	Pušis	10,7	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	0,98	4850,0	0,13	71,0
3	Pušis	11,3	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	1,00	5810,0	0,15	85,1
4	Pušis	10,9	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	0,98	6180,0	0,16	90,5
5	Pušis	10,7	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	0,98	8300,0	0,22	121,6
6	Pušis	11,0	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	1,00	6950,0	0,18	101,8
7	Pušis	10,2	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	0,97	4850,0	0,13	71,0
8	Pušis	11,0	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	1,10	5810,0	0,15	85,1
9	Pušis	10,5	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	0,99	6180,0	0,16	90,5
10	Pušis	10,5	EPOX	-	40,0	48,0	945,0	1,05	8300,0	0,22	121,6

11 lentelė. A tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F _{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, Mpa	Atmesta reikšmė
1	6950,0	40,00	945,0	101,8	
2	4850,0	40,00	945,0		71
3	5810,0	40,00	945,0	85,1	
4	6180,0	40,00	945,0	90,5	
5	8300,0	40,00	945,0	121,6	
6	6950,0	40,00	945,0	101,8	
7	4850,0	40,00	945,0	71,0	
8	5810,0	40,00	945,0	85,1	
9	6180,0	40,00	945,0	90,5	
10	8300,0	40,00	945,0	121,6	

12 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Epox	
Viso bandiniu n=	9
Mažiausias stipris min=	71,0
Didžiausias stipris max=	121,6
Stiprio vidurkis vid=	96,6
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	16,93142957
Variacijos koef. % V=	17,53357548

A tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant melamino karbamido formaldehidinės dervos klėjais ir anglies pluošto juosta.

13 lentelė. A tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, MPa
1	Pušis	10,5	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,10	4230,0	0,11	62,8
2	Pušis	11,6	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,00	2970,0	0,08	43,9
3	Pušis	12,5	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,04	3890,0	0,10	57,2
4	Pušis	12,4	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,02	3450,0	0,09	50,2
5	Pušis	13,5	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,00	3650,0	0,10	53,9
6	Pušis	11,8	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,10	3210,0	0,08	47,7
7	Pušis	11,0	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,00	3300,0	0,09	48,8
8	Pušis	11,3	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,04	4970,0	0,13	73,1
9	Pušis	11,8	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,02	3480,0	0,09	50,7
10	Pušis	11,0	MKDF-C	+	40,0	48,0	945,0	1,00	3170,0	0,08	46,8

14 lentelė. A tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	4230,0	40,00	945,0	62,8	
2	2970,0	40,00	945,0	43,9	
3	3890,0	40,00	945,0	57,2	
4	3450,0	40,00	945,0	50,2	
5	3650,0	40,00	945,0	53,9	
6	3210,0	40,00	945,0	47,7	
7	3300,0	40,00	945,0	48,8	
8	4970,0	40,00	945,0	73,1	
9	3480,0	40,00	945,0	50,7	
10	3170,0	40,00	945,0	46,8	

15 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija MKDF-C+anglies pluoštas	
Viso bandinių n=	10
Mažiausias stipris min=	43,9
Didžiausias stipris max=	73,1
Stiprio vidurkis vid=	53,5
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	8,799194579
Variancijos koef. % V=	16,44321347

A tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant melamino karbamido formaldehidinės dervos klijais.

16 lentelė. A tipo sijų matavimų rezultatai.

Ei l. Nr.	Medien a	Drėgnis , %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm ²	Stipris, MPa
1	Pušis	11,3	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,00	2680,0	0,07	39,8
2	Pušis	12,1	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,02	4030,0	0,11	60,2
3	Pušis	11,5	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,03	2980,0	0,08	44,7
4	Pušis	11,4	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	0,98	5200,0	0,14	76,7
5	Pušis	11,6	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,02	4350,0	0,12	63,8
6	Pušis	12,3	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,30	3490,0	0,09	51,9
7	Pušis	11,8	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,05	5330,0	0,14	79,6
8	Pušis	11,5	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,02	3900,0	0,10	58,6
9	Pušis	10,6	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,03	6440,0	0,17	95,0
10	Pušis	12,3	MKDF-C	-	40,0	48,0	945,0	1,04	3020,0	0,08	44,3

17 lentelė. A tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	2680,0	40,00	945,0	39,8	
2	4030,0	40,00	945,0	60,2	
3	2980,0	40,00	945,0	44,7	
4	5200,0	40,00	945,0		76,7
5	4350,0	40,00	945,0	63,8	
6	3490,0	40,00	945,0	51,9	
7	5330,0	40,00	945,0		79,6
8	3900,0	40,00	945,0	58,6	
9	6440,0	40,00	945,0		95
10	3020,0	40,00	945,0	44,3	

18 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija MKDF-C	
Viso bandiniu n=	7
Mažiausias stipris min=	39,8
Didžiausias stipris max=	63,8
Stiprio vidurkis vid=	51,9
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	9,216410642
Variancijos koef. % V=	17,75569341

B tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant poliuretaniais klijais ir anglies pluošto juosta sanklijoje.

19 lentelė. B tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, MPa
1	Pušis	12,2	PUR	+	40,00	56,00	945	1,40	9160	0,24	98,6
2	Pušis	11,2	PUR	+	40,00	56,00	945	1,50	9920	0,26	106,8
3	Pušis	12,5	PUR	+	40,00	56,00	945	1,20	15780	0,42	169,8
4	Pušis	10,5	PUR	+	40,00	56,00	945	1,60	7070	0,19	76,1
5	Pušis	12,6	PUR	+	40,00	56,00	945	1,20	8560	0,23	92,1
6	Pušis	10,9	PUR	+	40,00	56,00	945	1,30	7850	0,21	84,5
7	Pušis	10,8	PUR	+	40,00	56,00	945	1,50	9560	0,25	102,9
8	Pušis	11,3	PUR	+	40,00	56,00	945	1,60	16500	0,44	177,6
9	Pušis	12,5	PUR	+	40,00	56,00	945	1,40	8500	0,22	91,5
10	Pušis	13,2	PUR	+	40,00	56,00	945	1,30	9750	0,26	104,9

20 lentelė. B tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	9160,0	40,00	945,0	98,6	
2	9920,0	40,00	945,0	106,8	
3	15780,0	40,00	945,0		169,8
4	7070,0	40,00	945,0		76,1
5	8560,0	40,00	945,0	92,1	
6	7850,0	40,00	945,0	84,5	
7	9560,0	40,00	945,0	102,9	
8	16500,0	40,00	945,0		177,6
9	8500,0	40,00	945,0	91,5	
10	9750,0	40,00	945,0	104,9	

21 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Pur+anglies pluoštas	
Viso bandiniu n=	7
Mažiausias stipris min=	84,5
Didžiausias stipris max=	106,8
Stiprio vidurkis vid=	97,3
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	8,221279586
Variancijos koef. % V=	8,44765219

B tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant epoksidinėmis derva ir anglies pluošto juosta sanklijoje.

22 lentelė. B tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, MPa
1	Pušis	12,3	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,50	11850	0,31	127,5
2	Pušis	11,5	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,30	6630	0,18	71,4
3	Pušis	10	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,25	11590	0,31	124,7
4	Pušis	11,6	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,30	6810	0,18	73,3
5	Pušis	12,3	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,60	7890	0,21	84,9
6	Pušis	10,8	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,20	8970	0,24	96,5
7	Pušis	10,9	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,30	9860	0,26	106,1
8	Pušis	11,3	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,20	13560	0,36	145,9
9	Pušis	12	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,50	9850	0,26	106,0
10	Pušis	12,5	EPOX	+	40,00	56,00	945	1,40	8760	0,23	94,3

23 lentelė. B tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	11850,0	40,00	945,0	127,5	
2	6630,0	40,00	945,0	71,4	
3	11590,0	40,00	945,0	124,7	
4	6810,0	40,00	945,0	73,3	
5	7890,0	40,00	945,0	84,9	
6	8970,0	40,00	945,0	96,5	
7	9860,0	40,00	945,0	106,1	
8	13560,0	40,00	945,0	145,9	
9	9850,0	40,00	945,0	106,0	
10	8760,0	40,00	945,0	94,3	

24 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Epox+anglies pluoštas	
Viso bandiniu n=	10
Mažiausias stipris min=	71,4
Didžiausias stipris max=	145,9
Stiprio vidurkis vid=	103,1
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	24,17742528
Variancijos koef. % V=	23,45904876

C tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant poliuretaniais klijais ir anglies pluošto juosta sanklijoje.

25 lentelė. C tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis	Storis	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, MPa
1	Pušis	11	PUR	+	40,00	36,00	945	0,85	4680	0,12	121,9
2	Pušis	11,6	PUR	+	40,00	36,00	945	0,80	3130	0,08	81,5
3	Pušis	11,9	PUR	+	40,00	36,00	945	0,87	3090	0,08	80,5
4	Pušis	12,2	PUR	+	40,00	36,00	945	0,90	3110	0,08	81,0
5	Pušis	11,4	PUR	+	40,00	36,00	945	0,84	2940	0,08	76,6
6	Pušis	12,3	PUR	+	40,00	36,00	945	0,86	3990	0,11	103,9
7	Pušis	11,2	PUR	+	40,00	36,00	945	0,93	3070	0,08	79,9
8	Pušis	10,3	PUR	+	40,00	36,00	945	0,87	3230	0,09	84,1
9	Pušis	11,6	PUR	+	40,00	36,00	945	0,86	3580	0,09	93,2
10	Pušis	11,4	PUR	+	40,00	36,00	945	0,86	3960	0,10	103,1

26 lentelė. C tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	4680,0	40,00	945,0	121,9	
2	3130,0	40,00	945,0	81,5	
3	3090,0	40,00	945,0	80,5	
4	3110,0	40,00	945,0	81,0	
5	2940,0	40,00	945,0	76,6	
6	3990,0	40,00	945,0	103,9	
7	3070,0	40,00	945,0	79,9	
8	3230,0	40,00	945,0	84,1	
9	3580,0	40,00	945,0	93,2	
10	3960,0	40,00	945,0	103,1	

27 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Pur+anglies pluoštas	
Viso bandiniu n=	10
Mažiausias stipris min=	76,6
Didžiausias stipris max=	121,9
Stiprio vidurkis vid=	90,6
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	14,72235701
Variancijos koef. % V=	16,25425259

C tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant epoksidinėmis derva ir anglies pluošto juosta sanklijoje.

28 lentelė. C tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, MPa
1	Pušis	12	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,84	3430	0,09	89,3
2	Pušis	10	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,84	2140	0,06	55,7
3	Pušis	11,5	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,75	2630	0,07	68,5
4	Pušis	12,1	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,85	2800	0,07	72,9
5	Pušis	11,2	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,89	4280	0,11	111,5
6	Pušis	12,5	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,87	3200	0,08	83,3
7	Pušis	10,9	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,92	3120	0,08	81,3
8	Pušis	10,5	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,83	3940	0,10	102,6
9	Pušis	10,6	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,87	3250	0,09	84,6
10	Pušis	10,8	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,86	3350	0,09	87,2

29 lentelė. C tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	3430,0	40,00	945,0	89,3	
2	2140,0	40,00	945,0	55,7	
3	2630,0	40,00	945,0	68,5	
4	2800,0	40,00	945,0	72,9	
5	4280,0	40,00	945,0	111,5	
6	3200,0	40,00	945,0	83,3	
7	3120,0	40,00	945,0	81,3	
8	3940,0	40,00	945,0	102,6	
9	3250,0	40,00	945,0	84,6	
10	3350,0	40,00	945,0	87,2	

30 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Epox+anglies pluoštas	
Viso bandiniu n=	10
Mažiausias stipris min=	55,7
Didžiausias stipris max=	111,5
Stiprio vidurkis vid=	83,7
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	16,01754214
Variancijos koef. % V=	19,13732477

D tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant poliuretaniais klijais ir anglies pluošto juosta sanklijoje.

31 lentelė. D tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	F_{max} , N	Įtempiai N/mm^2	Stipris, Mpa
1	Pušis	11	PUR	-	40,00	36,00	945	0,75	2630	0,07	68,5
2	Pušis	11,6	PUR	-	40,00	36,00	945	0,85	4210	0,11	109,6
3	Pušis	11,9	PUR	-	40,00	36,00	945	0,81	2820	0,07	73,4
4	Pušis	12,2	PUR	-	40,00	36,00	945	0,90	4460	0,12	116,1
5	Pušis	11,4	PUR	-	40,00	36,00	945	0,81	4150	0,11	108,1
6	Pušis	12,3	PUR	-	40,00	36,00	945	0,86	3720	0,10	96,9
7	Pušis	11,2	PUR	-	40,00	36,00	945	0,78	3650	0,10	95,1
8	Pušis	10,3	PUR	-	40,00	36,00	945	0,98	2980	0,08	77,6
9	Pušis	11,6	PUR	-	40,00	36,00	945	0,86	3120	0,08	81,3
10	Pušis	11,4	PUR	-	40,00	36,00	945	0,87	2950	0,08	76,8

32 lentelė. D tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F_{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	2630,0	40,00	945,0	68,5	
2	4210,0	40,00	945,0	109,6	
3	2820,0	40,00	945,0	73,4	
4	4460,0	40,00	945,0	116,1	
5	4150,0	40,00	945,0	108,1	
6	3720,0	40,00	945,0	96,9	
7	3650,0	40,00	945,0	95,1	
8	2980,0	40,00	945,0	77,6	
9	3120,0	40,00	945,0	81,3	
10	2950,0	40,00	945,0	76,8	

33 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Pur+anglies pluoštas bandinio apačioje	
Viso bandiniu n=	10
Mažiausias stipris min=	68,5
Didžiausias stipris max=	116,1
Stiprio vidurkis vid=	90,3
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	17,02382876
Variancijos koef. % V=	18,84448039

E tipo sijų bandymų rezultatai klijuojant epoksidinėmis derva ir anglies pluošto juosta sanklijoje.

34 lentelė. E tipo sijų matavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Mediena	Drėgnis, %	Klijai	Anglies pluoštas	Plotis, mm	Storis, mm	Ilgis, mm	Svoris, kg	Fmax, N	Įtempiai N/mm ²	Stipris, MPa
1	Pušis	12	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,89	3220	0,09	83,9
2	Pušis	10	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,85	3160	0,08	82,3
3	Pušis	11,5	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,75	4150	0,11	108,1
4	Pušis	12,1	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,65	3720	0,10	96,9
5	Pušis	11,2	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,75	4400	0,12	114,6
6	Pušis	12,5	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,85	3860	0,10	100,5
7	Pušis	10,9	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,95	4320	0,11	112,5
8	Pušis	10,5	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,87	4150	0,11	108,1
9	Pušis	10,6	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,83	3950	0,10	102,9
10	Pušis	10,8	EPOX	+	40,00	36,00	945	0,86	3750	0,10	97,7

35 lentelė. D tipo sijų rezultatų analizė.

Bandinio žymėjimas ir Nr.	Didžiausia jėga, F _{max} , N	Suklijuotos dalies plotis, mm	Suklijuotos dalies ilgis, mm	Stipris, MPa	Atmesta reikšmė
1	3220,0	40,00	945,0	83,9	
2	3160,0	40,00	945,0	82,3	
3	4150,0	40,00	945,0	108,1	
4	3720,0	40,00	945,0	96,9	
5	4400,0	40,00	945,0	114,6	
6	3860,0	40,00	945,0	100,5	
7	4320,0	40,00	945,0	112,5	
8	4150,0	40,00	945,0	108,1	
9	3950,0	40,00	945,0	102,9	
10	3750,0	40,00	945,0	97,7	

36 lentelė. Statistinis bandymo apdorojimas apdorojimas.

Statistinis apdorojimas Sankilija Epox+anglies pluoštas bandinio apačioje	
Viso bandinių n=	10
Mažiausias stipris min=	82,3
Didžiausias stipris max=	114,6
Stiprio vidurkis vid=	100,7
Vid. Kvadr. Nuokrypis S=	11,01493751
Variancijos koef. % V=	10,93520167