



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

Tadas Liberis

**METALINIŲ DANTYTŲ PLOKŠTELIŲ, SKIRTŲ
MEDINĖMS KONSTRUKCIJOMS JUNGTI,
STIPRUMO TYRIMAS**

Baigiamasis studijų projektas

Vadovas

Doc. dr. Dainius Vaičiulis

PANEVĖŽYS, 2017

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA**

**METALINIŲ DANTYTŲ PLOKŠTELIŲ, SKIRTŲ
MEDINĖMS KONSTRUKCIJOMS JUNGTI, STIPRUMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas 621J80001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Dainius Vaičiulis
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. Dr. Danas Garuckas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Tadas Liberis
(data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Tadas Liberis

(Studento vardas, pavardė)

Statyba (kodas 621J80001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

SKYDINIŲ NAMŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ STIPRUMO TYRIMAS

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. Sausio 09 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Tado Liberio**, baigiamasis projektas tema „Metalinių dantytų plokštelių, skirtų medinėms konstrukcijoms jungti, stiprumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Tadui Liberiui grupė PMS-5

1. Darbo tema

Lietuvių kalba: *Metalinių dantytų plokštelių, skirtų medinių konstrukcijų jungimui, stiprumo tyrimas*

Anglų kalba: *Strength analysis of punched metal plate for connection of wooden constructions*

Patvirtinta 2016 m. spalio mėn. 17 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-26.

2. Darbo tikslas

Ištirti metalinių dantytų plokštelių, skirtų medinėms konstrukcijoms jungti, stiprumą.

3. Reikalavimai ir sąlygos

Nustatyti kaip metalinių plokštelių stiprumas priklauso nuo jų tvirtinimo orientacijos, kai medinį bandinį veikia kirpimo ir lenkimo apkrovos.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

*Įvadas
Literatūros apžvalga (skyriaus pavadinimas gali būti kitoks)
Tiriamoji dalis (skyriaus (-iu) pavadinimas gali būti kitoks)
Išvados
Literatūros šaltiniai*

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas 2017-01-17
(data)

Užduotį gavau: Tadas Liberis 2016-09-02
(studento vardas, pavardė, parašas) (data)

Vadovas: doc. Dainius Vaičiulis 2016-09-02
(pareigos, vardas, pavardė, parašas) (data)

Liberis, Tadas. Metalinių dantytų plokštelių, skirtų medinių konstrukcijų jungimui, stiprumo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: statyba

Reikšminiai žodžiai: *metalinės dantytos plokštelės, jungimas, mediniai elementai, laikomoji galia, kirpimas, lenkimas*

Panevėžys, 2017. 44 p.

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe tiriama metalinių dantytų plokštelių skirtų medinėms konstrukcijoms stiprumas.

Baigiamąjį magistro darbą sudaro keturios pagrindinės dalys. Pirmojoje dalyje pateikiama dantytų metalinių plokštelių naudojimo sritys, jas reglamentuojantys dokumentai Lietuvoje. Antrojoje dalyje pateikiama šešių mokslinių straipsnių analizė, kuriuose buvo atlikti bandymai ir skaičiavimai susiję su metalinėmis dygliuotomis plokštelėmis. Trečiojoje dalyje atlikto eksperimento kerpan ir lenkiant aprašymas, naudotos medžiagos ir bandymo eiga. Ketvirtoje dalyje apibendrinami baigiamojo darbo eksperimento rezultatai.

Tiriamajame darbe buvo ištirta kokia įtaką medinių elementų junginio laikomajai galiai turi (gamintojo) dantytų plokštelių išdėstymas esant kirpimui ir lenkimui. Bandyme kerpan buvo naudojami keturi skirtingi jungimo būdai, o lenkiant trys skirtingi jungimo būdai.

Dragūnas, Arnas. *Strength analysis of punched metal plate for connection of wooden constructions.: Master final work / Supervisor Doc.* Dainius Vaičiulis, Kaunas University of Technology, Panevezys Technology and business faculty, department of Technology.

Research area and field: construction

Key words: Punched metal plates, connections , wooden elements, strength, shearing, bending.

Panevėžys, 2017. 44 p.

SUMMARY

In final master degree I research punched metal plate strength for wooden element connections.

The master thesis consist of four main parts. The first part includes the usage of punched metal plates and documents who defines plate usage in Lithuania . The second part includes six scientific researches and articles analysis, which include experiments and calculations with punched metal plate. In the third part was written about research for shearing and bending, usage materials and research process. In fourth part was summarizes the research results.

In thesis it was researched what kind influence to punched metal plate have orientation when plate was shearing and banding. In shearing experiment was used four different connection methods , for bending was used three different connection methods.

TURINYS

1. ĮVADAS	8
2. TEORINĖ-ANALITINĖ DALIS.....	9
2.1. 5 Eurokodas. Medinių konstrukcijų skaičiavimo pagrindai.....	9
2.2. Veiksniai, kurie daro įtaką metalinių dantytų plokštelių laikomajai galai	10
2.3. Dantytos metalinės plokštelės atsparumas kirpimui	12
2.4. Skaičiuojamasis modeliavimas analizuojant medinio junginio sujungto su dvipuse dygliuota metaline plokštele	13
2.5. Klijuotos medienos kirpimo tyrimas, jungiant dvipuse dygliuota metaline plokštele ir papildomais varžtais	14
2.6. Metalinė dygli plokštelės ir Johanseno lygtis	15
3. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS	16
3.1. Tyrimui naudotos medžiagos	16
3.2. Bandymas kerpant	18
3.2.1. Pirmasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 0° kampu.....	18
3.2.2. Antrasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 45° kampu	22
3.2.3. Trečiasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 90° kampu	25
3.2.4. Ketvirtasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 45° ir 135° kampu	28
3.2.5. Eksperimento kerpant rezultatų analizė	31
3.3. Eksperimentas lenkiant	32
3.3.1. Pirmasis bandymas lenkiant sujungus medinius elementus 0° kampu	32
3.3.2. Antrasis bandymas lenkiant sujungus medinius elementus 90° kampu	35
3.3.3. Trečiasis bandymas lenkiant sujungus medinius elementus 45° kampu	39
3.3.4. Eksperimento lenkiant rezultatų analizė	42
4. IŠVADOS	43

1. ĮVADAS

Didėjantis skydinių namų poreikis Lietuvoje ir Europoje verčia kuo labiau taupyti išteklius, kuriuos naudojame namo statybai: pradedant pamatais, baigiant stogu. Skydinių namų pagrindiniai elementai susidaro iš skydų ir rėminių konstrukcijų, tokių kaip: išoriniai ir vidiniai sieniniai skydai, perdangos, stogo konstrukcijos. Dėl šios priežasties svarbu parinkti ekonomiškiausią jungimo būdą, kad sumažėtų statybos kaštai ir būtų sunaudojamos visos esamos medžiagos. Metalinės dygliuotos plokštelės pirmiausiai buvo naudojamos kaip jungiamieji elementai gegnėms ir tarpaukštinėms sijoms. Didžiausias privalumas metalinės dantytos plokštelės lyginant su jungimu su vinimis, tai plokštelės vientisumas, nes plokštelės dantukai yra vientisi su visa plokštele.

Plokštelių skaičiavimus reglamentuoja Lietuvoje naudojamas „5 Eurokodas“. Dažniausiai straipsniuose norint sužinoti plokštelių laikomąją galią atliekami eksperimentai laboratorijose arba modeliuojamos įvairiomis kompiuterinėmis programomis.

Tyrimų objektas: Metalinės dantytos plokštelės

Projekto tikslas: ištirti kokia įtaką medinių elementų junginio laikomajai galiai turi (gamintojo) dantytų plokštelių išdėstymas esant kirpimui ir lenkimui.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinių darbų, bei straipsnių autorių tyrimų metodiką.
2. Eksperimentiškai nustatyti medinių elementų junginio, sujungto dantytomis plokštelėmis, laikomąją galią kerpant ir lenkiant.
3. Išanalizuoti eksperimentų rezultatus.

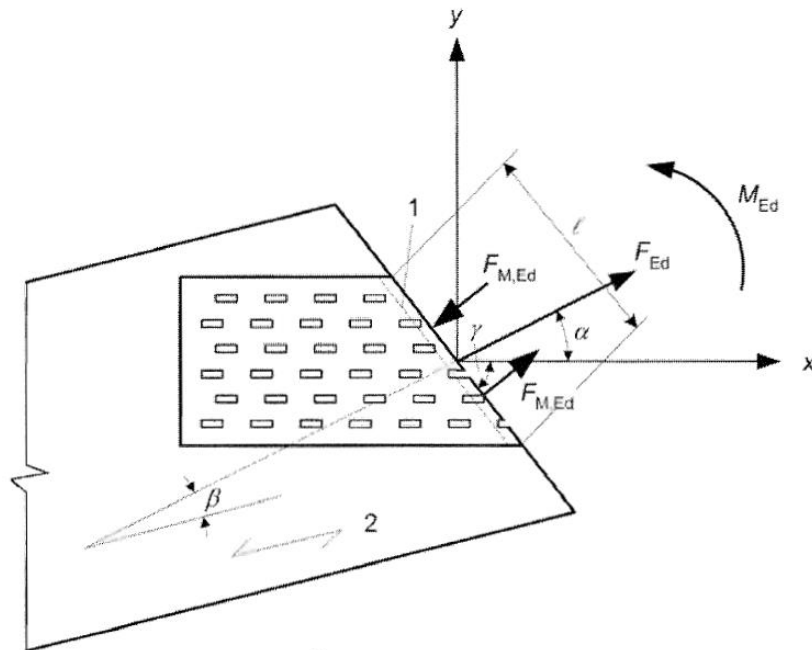
Projekto apimtis ir struktūra. Baigiamojo projekto aiškinamąjį raštą sudaro: įvadas, pagrindiniai trys skyriai (kuriuose yra 38 paveikslėliai ir 10 lentelių), išvados bei literatūros šaltinių sąrašas. Baigiamojo projekto apimtis – 44 psl.

2. TEORINĖ-ANALITINĖ DALIS

2.1. 5 Eurokodas. Medinių konstrukcijų skaičiavimo pagrindai

„5 Eurokode“ pateikta dviejų medinių elementų, sujungtų dantytomis metalinėmis plokštelėmis, skaičiavimų metodika. Naudojamos dantytos metalinės plokštelės, kurių charakteristika aprašoma EN 14545. Plokštelės jungiamos iš abiejų pusių tam, kad nesudarytų papildomos jėgos trečiaja ašimi.

Skaičiavimui naudojami duomenys pavaizduoti 1 pav.



1 pav. Metalinę plokštelę veikiančių apkrovų schema [1]: x ir y – pagrindinės plokštelės ašys; α – kampas tarp x ašies ir ja veikiančios jėgos; β – kampas tarp pluošto krypties ir jėgos; γ – kampas tarp x ašies ir sujungimo linijos; A_{ef} – plokštelės ir jungiamo elemento skaičiuojamasis kontaktinis plotas (jis sumažinamas 5 mm nuo kiekvienos plokštelės kraštinės); l – atstumas lygiagrečiai jungimo linijos

Kitais skaičiavimais nustatomas plokštelės stiprumas, kuris būna pateikiamas gamintojo ir skaičiuojamas pagal formules [1]:

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = \max \left(\begin{array}{l} f_{a,\alpha,0,k} - (f_{a,\alpha,0,k} - f_{a,90,90,k}) \frac{\beta}{45^\circ} \\ f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \sin(\max(\alpha, \beta)) \end{array} \right) \quad \beta \leq 45^\circ, arba \quad (1.1)$$

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \max(\sin(\alpha, \beta)) \quad \beta \leq 45^\circ, \text{ arba } 45^\circ < \beta \leq 90^\circ \quad (1.2)$$

čia $F_{a,\alpha,\beta,k}$ – charakteristinis įtvirtinimo stipris.

Nustatomi plokštelės įlinkiai veikiant ją tam tikra apkrova ir momentu. Plokštelės įlinkiams nustatyti naudojami šie duomenys:

1. Pusė medinį junginį veikiančios apkrovos.
2. Momentas, veikiantis plokštelę ją paveikus apkrovai.
3. Visas plokštelės plotas.
4. Skaičiuotinas plokštelės plotas (atėmus po 5 mm nuo kiekvieno plokštelės krašto).
5. Atstumas tarp efektyvios ir visos plokštelės, tai svorio centro atstumas.
6. Skaičiuojant junginį įvertintas dviejų medinių elementų tarpusavio kontaktas.

Remiantis „5 Eurocode“ metalinės plokštelės stiprio skaičiavimais galima teigti, jog laikomoji galia ir įlinkis priklauso nuo plokštelės efektyviojo ploto.

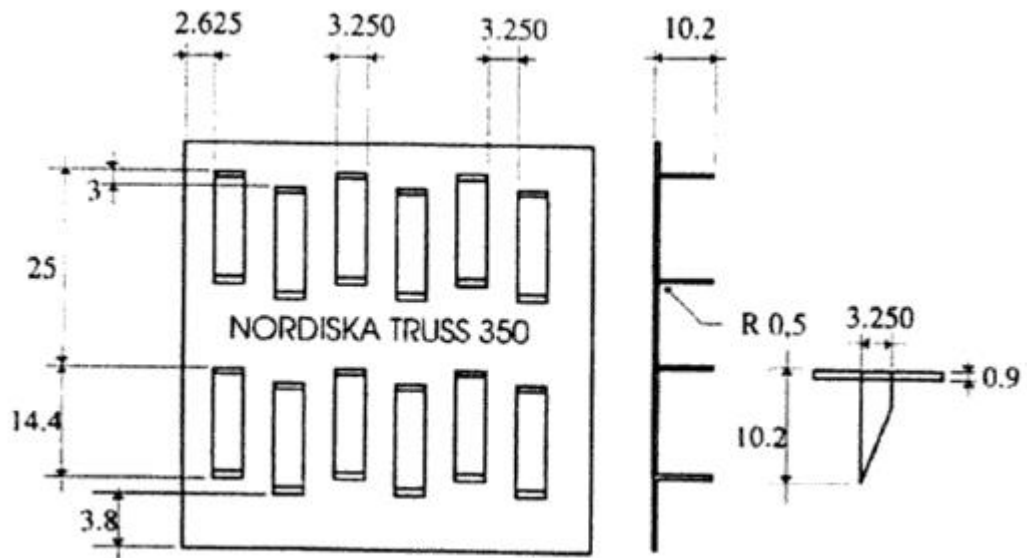
2.2. **Veiksniai, kurie daro įtaką metalinių dantytų plokštelių laikomajai galai**

[5] straipsnio autoriai aprašo **veiksnius**, kurie turi įtakos jungiant dygliuotas plokšteles į medinius elementus. Atliekamas bandymas su dviejų tipų plokštelėmis. Atlikta penki šimtai vienuolika bandymų su įvairiais bandiniais.

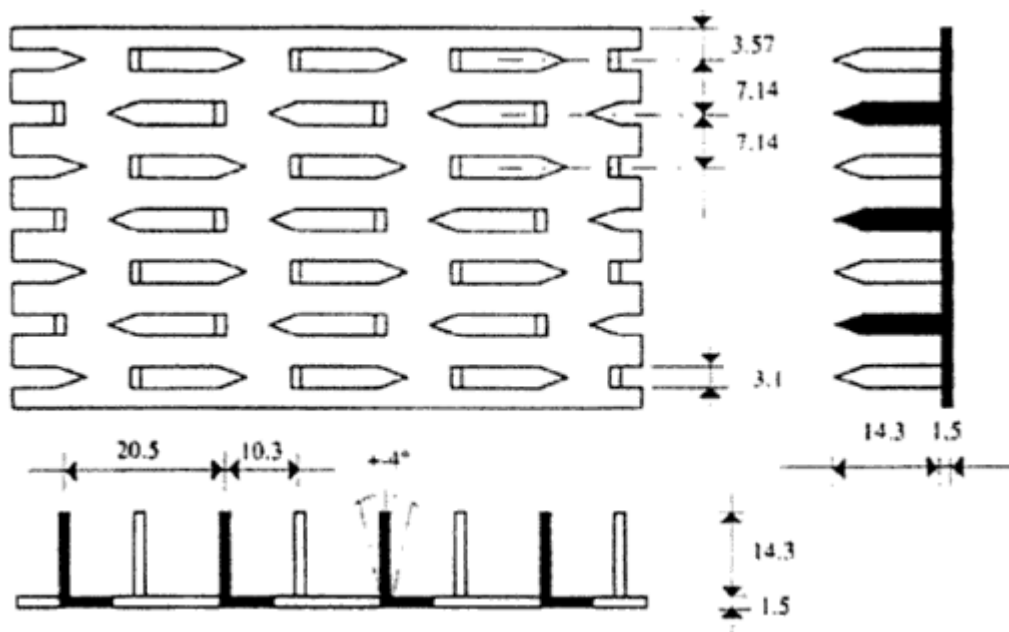
Pabrėžiama, kad plokštelių stiprumas ir kiti **faktoriai** negali būti suskaičiuoti – juos privaloma testuoti. Atsižvelgiama į tai, kad panašūs tyrimai buvo atlikti 1991 metais, kurių metu buvo įtrauktos penkios šiaurinės laboratorijos. Rezultatai skyrėsi 1,4 karto tarp didžiausios ir mažiausios tyrimo rezultato. Autorių manymu, to priežastis yra: medžio fizikinės savybės junginyje ir standartai apribojantys medienos savybių galimybes tyrimuose. Bandymo tikslą autoriai įvardija kaip norą patikslinti dantytų metalinių plokštelių skaičiavimo metodiką.

Medžiagos naudojamos bandymams:

1. Dantytos plokštelės su skirtingais dantimis (ilgiu, forma) ir skirtingu storiu.
Pavaizduota 2 ir 3 pav.
2. Mediena naudojama šiaurinės eglės iš pietvakarių Švedijos. Supjaustoma į mažas juostas $1\ 000 \times 195 \times 45$ mm atsižvelgiant į medžio raštą ir šerdies formą. Bandymo ruošinys buvo apdirbamas taip, kad jo storis būtų 40 mm.



2 pav. Pirmoji dantyta plokštelė [5]



3 pav. Antroji dantyta plokštelė [5]

Atkreipiamas dėmesys į medienos laikymo sąlygas. Atpjauta juosta dalijama per pusę ir sujungiama metalinėmis plokštelėmis. Sujungus plokšteles, jos sandėliuojamos 0° , 40° , 90° kampu.

Bandymo metu autorius keisdavo bandinį veikiančia apkrova. Apkrovą didindavo ir mažindavo laiko intervalu 30 s. Buvo pabrėžiami tokie veiksniai kaip:

1. Medienos struktūra, t. y., ar ant medienos yra šerdis dalelių.
2. Medienos tankio įtaka.
3. Drėgmės sąlygos.
4. Medienos orientyras.

5. Dantukų ištepimas gaminimo metodika.

Atlikus bandymus, rezultatai apie plokštelės dydžio įtaką laikomajai galiai.

Lentelė 1

Tyrimo rezultatų lentelė [5]

$\alpha, ^\circ$	Ilgis, mm	Plotis, mm	Skaičiuotinas plotas, mm ²	Įtvirtinimo jėga padalinta iš skaičiuotino ploto, N/mm ²
0				
a	100	54	4212	3,9
b	100	119	9282	3,3
c	150	80	10240	3,4
d	150	145	18560	3,4
40				
	100	54	3849	3
	100	119	8483	3,2
	150	80	9703	2,2
	150	145	17585	2,7
90				
i	100	54	3200	2,9
j	80	100	6240	2,6
k	106	100	8268	2,9

Iš rezultatų matyti:

$\alpha = 0^\circ$ neturi didelio jėgos skirtumo išskyrus 54 mm pločio plokštelę;

$\alpha = 45^\circ$ 80 × 150 mm plokštelė turi mažiausią laikomąją jėgą;

$\alpha = 90^\circ$ 80 × 100 mm plokštelė turi 10% mažiau laikomosios jėgos nei kitos dvi.

Išvadose autorius pateikia, į ką reikia atkreipti papildomą dėmesį standartizuojant tokius junginius. Atlikdamas bandymus autorius išvelgė tam tikrus dalykus, į kuriuos kiti nebūtų atkreipę dėmesio, pvz.: medienoje esančią šerdį, laikymo sąlygas, plokštelių gamybos ypatumus.

2.3. Dantytos metalinės plokštelės atsparumas kirpimui

Straipsnyje autoriai [6] aprašo dantytos metalinės plokštelės deformaciją vieną jos galą veikiant tam tikra apkrova. Tai atlikta pasitelkiant kompiuterinę simuliacijos programą, naudojant baigtinius elementus ir laboratorijos įrangą. Laboratorijoje atliktas bandymas parodė, kaip deformuojasi plokštelė ją paveikus tam tikra apkrova. Ši deformacija pavaizduota 4 ir 5 pav.



4 pav. Pirmasis bandinys [6]



5 pav. Antrasis bandinys [6]

Autoriai atlikę eksperimentus nustatė, kad plokštelės dantukai neišsitraukinėjo ir neturėjo įtakos plokštelės deformacijai. Plokštelės deformacija priklauso tik nuo plokštelės išdėstymo ir elementų sujungimo linijos.

Kompiuterinė simuliacija atlikta pasitelkiant kompiuterinę programą Abaqus. Bandymas atliktas lygiai tokiu pat principu kaip ir laboratorijoje, bet panaudotos tos pačios plokštelės pakeičiant jų išdėstymą ant medinių blokelių. Plokštelės pasuktos 0° , 30° , 60° , 90° kampu tam, kad būtų nustatyta laikomosios galios priklausomybė nuo sujungimo linijos ilgio.

Atlikus bandymus gauta: norint maksimizuoti plokštelės laikomąją galią, ją reikia sujungti su dviem medžio blokeliais taip, kad ties sujungimo liniją būtų kuo ilgesnė jungimo linija.

2.4. Skaičiuojamasis modeliavimas analizuojant medinio junginio sujungto su dvipuse dygliuota metaline plokšte

Straipsnyje [7] autorius **nurodo**, kad kelis dešimtmečius metalinės dygliuotos viopusės plokštelės buvo naudojamos statybos industrijoje. Kita vertus dvipusė dygliuota plokštelė yra naujiena kuria vis daugiau naudoja statybos įmonių. Pagrindiniai plokštelės privalumai tai:

1. Atsparumas ugniai;

2. Estetinis vaizdas.

Straipsnio autorius aprašo modeliavimo technikas dvipusiai dygliuotai plokštei, atlieka kompiuterinius bandymus. Atliekant bandymus buvo keičiami medžiagų parametrai, taip sužinotas optimalus jungimo būdas.

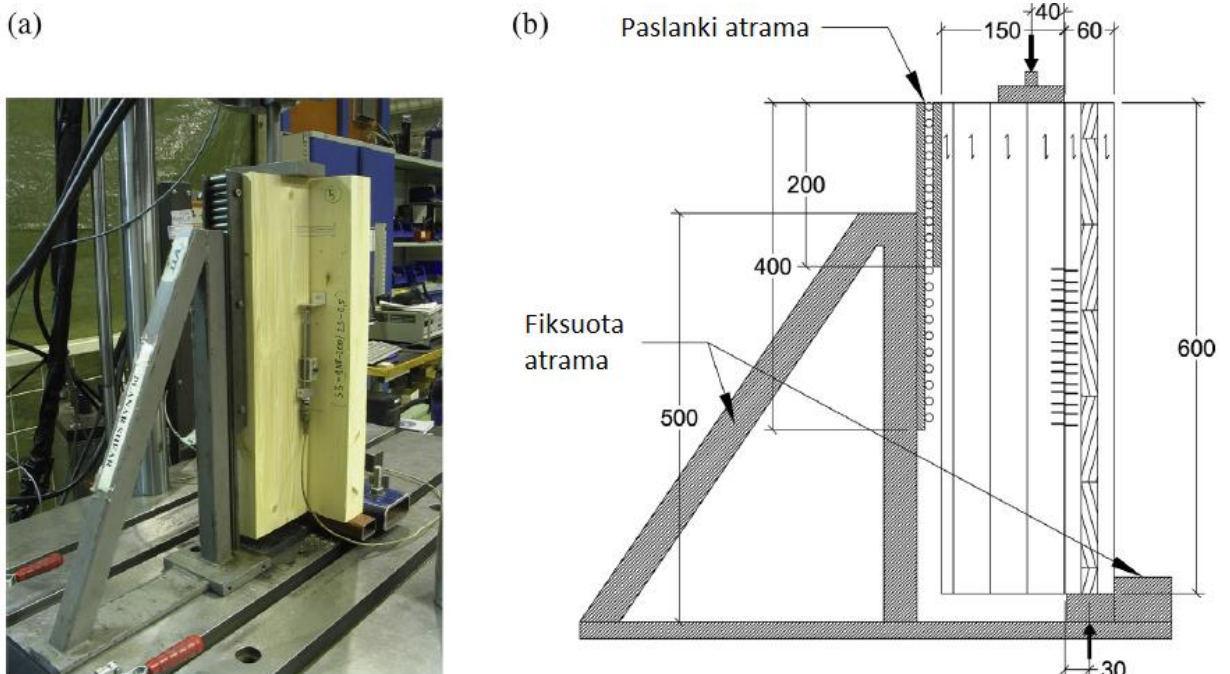
Autoriaus atliktų skaičiavimų bandymų išvados:

1. Metalo stipris turėjo didesnę įtaką dantuko pagrindui, nei tamprumo modulis.
2. Dantuko skerspjūvis turėjo minimalią įtaką laikomajai galiai. Tai įtakoja praktiškumą gaminant plokšteles.
3. Didžiausia poveiki laikomajai galiai turi metalo klasė ir medienos stipris.

2.5. Klijuotos medienos kirpimo tyrimas, jungiant dvipuse dygliuota metaline plokšte ir papildomais varžtais

Tinozivashe Zhou ir Zhongwei Guan atliko bandymus su naujomis jungimo sistemomis, kurios jungė grindims skirtas lentas kurios sudarytos iš kelių sluoksnių klijuotos medienos. Tokio tipo mediena gali būti naudojama daugiaaukščiams mediniams statiniams.

Bandymų vaizduojamoji schema ir bandinio nuotrauka pavaizduota 6 pav.



6 pav. Bandymo schema [2]: a – bandymo nuotrauka; b – bandymo schema

Atlikus visus bandymus straipsnio autorius padarė tokias išvadas:

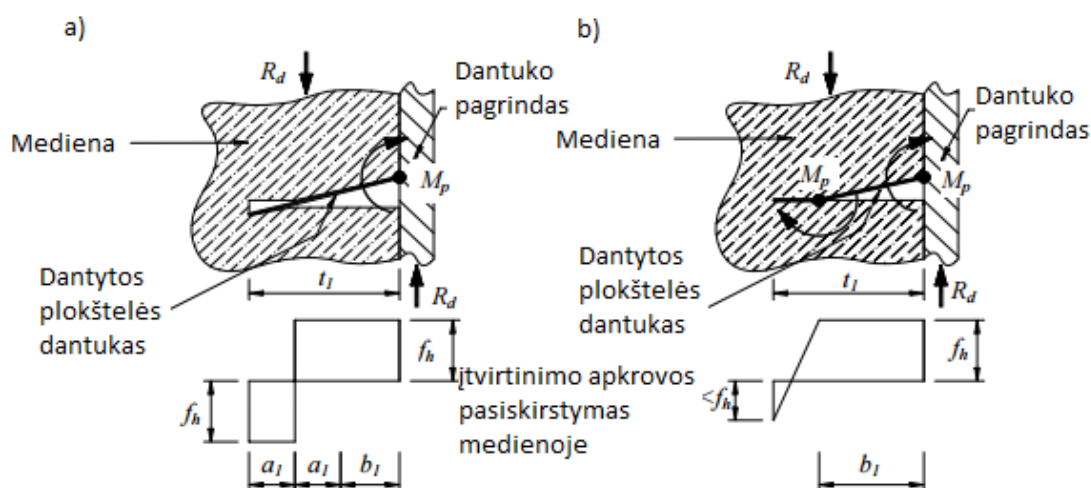
1. Dvipusė metalinė plokštelė yra efektyvus jungiamasis elementas klijuotai medienai.

2. Papildomi varžtai junginyje padidina junginio laikomąją galią. Tai sumažina jungimų kiekį konstrukcijose.

2.6. Metalinė dygli plokštelės ir Johanseno lygtis

Šiame straipsnyje [6] aprašomi pirminiai atlikto tyrimo rezultatai. Palyginamos dantukų stiprumo ir sukibimo charakteristikos su paviršiaus sukibimo charakteristika. Johanseno lygtimi suskaičiuojamas dantuko stiprumas.

Kadangi yra daugybė rušių dygliuotų metalinių plokštelių su skirtingomis geometrijomis, bet dažniausiai naudojamos keturkampės formos plokštelės kurios padarytos iš 1 mm nominalinio storio. Plokštelėje dantukai suskirstyti eilėmis ir iš vienos skylės buna padaryti nuo vieno iki dviejų dantukų, dantukų plotis apie 3 mm ir ilgis nuo 6 mm iki 8 mm. Su šiomis tipinėmis plokštelėmis ir dviem lygtimis galima įvertinti kokia laikomoji dantuko jėga atlaikys 7 pav. pavaizduotas apkrovas.



7 pav. Dantuką veikiančios apkrovos [6]: R_d – dantuko atsparumas kirpimui; f_h – medienos stipris; b – dantuko plotis; b_1 – laikomasis dantuko stipris

Autorius straipsnyje padarė išvadas, kad plokštelės laikomąją galią sumažina montavimo metu padaryta žada plokštelės dantukams.

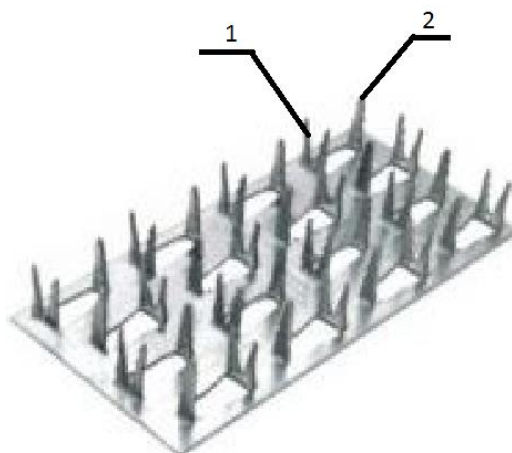
3. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

Ekspimentinis tyrimas atliktas Kauno technologijos universiteto Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto statybinių medžiagų laboratorijoje. Ekspimentinio bandymo tikslas – sužinoti, kokią įtaką turi medinių elementų, sujungtų metalinėmis dygliuotomis plokštelėmis, atsparumui plokštelės padėtis ją bandymo metu kerpanant ir lenkiant. Ekspimento metu buvo ribojama preso judamos dalies, kuri generuoja apkrovą, poslinkis. Kiekvieno kirpimo bandymo trukmė buvo 260 s, o lenkimo – 120 s.

3.1. Tyrimui naudotos medžiagos

Ekspimentiniame tyrime buvo naudojamos :

- Ekspimentiniame tyrime buvo naudojamos 50 mm pločio, 150 mm aukščio ir 200 mm ilgio bei 50 mm pločio, 150 mm aukščio ir 150 mm ilgio medinės kaladėlės. Tyrime naudosime C14 stiprumo klasės eglę, kurios vidutinis tamprumo modulis išilgai pluošto $E = 14$ GPa [2]. Visos naudotos kaladėlės išpjautos iš tos pačios medienos.
- Dygliuotos metalinės plokštelės (6 pav.). Plokštelės matmenys:
 - Plokštelės storis – 1,5 mm,
 - Plokštelės plotis – 70 mm,
 - Plokštelės ilgis – 100 mm,



6 pav. Dygliuota metalinė plokštelė [4] .

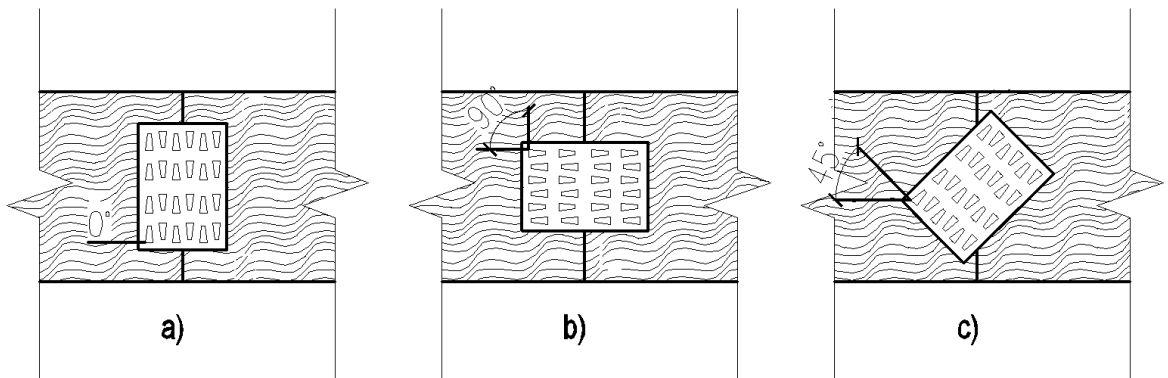
- Plokštelėje yra dviejų tipų dantukai. Pirmas dantukų tipas yra 13 mm ilgio ir 2,5 mm pločio. Jų plokštelėje yra 48. Antro tipo dantukų plokštelėje yra 24 vnt. Jų ilgis – 13mm, plotis – 3mm.

- Plokštelės gaminamos iš cinkuoto lakšto juostų S350GD+Z275-M-A (EN 10346).
- Laboratorinė įranga:
 - Hidraulinis presas, skirtas paveikti bandinį apkrova, kurios dydį galima stebėti hidraulinių presų monitoriuje. Taip pat jame galima stebėti elemento poslinkį, bei jį veikiančią apkrovą. Hidraulinis presas turi 2500 kN testuojamosios galios.



7 pav. 250 tonų hidraulinis presas

- Bandiniai. Atliekant bandymą, kerpant sujungtos trys medinės kaladėlės, kurių matmenys $150 \times 150 \times 50$ mm. Dantytos plokštelės jungiamos skirtingais kampais 0° , 45° , 90° (žr. 8 pav.). Atliekant bandymą kerpant buvo naudojama po vieną bandinį su skirtingais plokštelių išsidėstymais. Buvo tiriami trys bandiniai su keturiomis skirtingomis jungimo kombinacijomis.
- Atliekant bandymą lenkiant buvo naudojamos dvi medinės kaladėlės, kurių matmenys $150 \times 200 \times 50$, kurios jungiamos metalinėmis dygliuotomis plokštelėmis. Dygliuotos plokštelės buvo jungiamos skirtingais kampais 0° , 45° , 90° (žr. 8 pav.). Buvo atlikti 9 bandymai po tris bandinius kiekvienam skirtingam kaladėlių jungimam. Bandiniai buvo laikomi vienodomis sąlygomis, jungiami kalant plaktuku į medieną.



8 pav. Plokštelės dantukų jungimo kampas: a – plokštelė jungiama 0° kampu; b – plokštelė jungiama 90° kampu c - plokštelė jungiama 45°

3.2. Bandymas kerpant

Bandinių bendras ilgis sujungus jį medinėmis kaladėlėmis 450 mm , plotis – 50 mm, aukštis – 150 mm.

Bandinių atramoms buvo naudojamos metalinės plokštelės. Hidraulinio presu stovė metalinės kaladėlės išdėstomos simetriškai taip, kad atstumas tarp jų būtų 160 mm. Bandiniai padedami taip, kad vidinė bandinio kaladėlė nelieštų atramų. Ant bandinių vidinės kaladėlės papildomai uždedama metalinė plokštelė, kuri tolygiai paskirsto apkrovą per visą bandinio vidinės kaladėlės ilgį (žr. 9, 12, 17, 21 pav.).

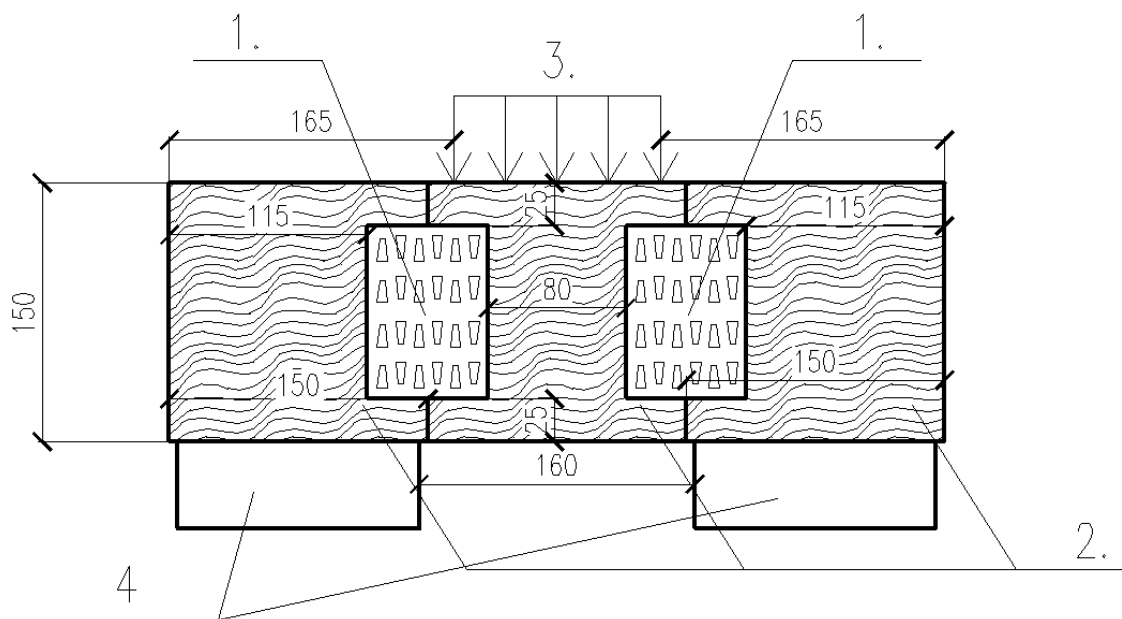
3.2.1. Pirmasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 0° kampu

Dantytos plokštelės sujungtos 0° kampu išilgai medžio pluošto. Bandymo metu naudojami trys bandiniai. Bandinys pavaizduotas 9 pav.



9 pav. Bandinys Nr.1

Skaičiuojamoji schema pavaizduota 10 pav.



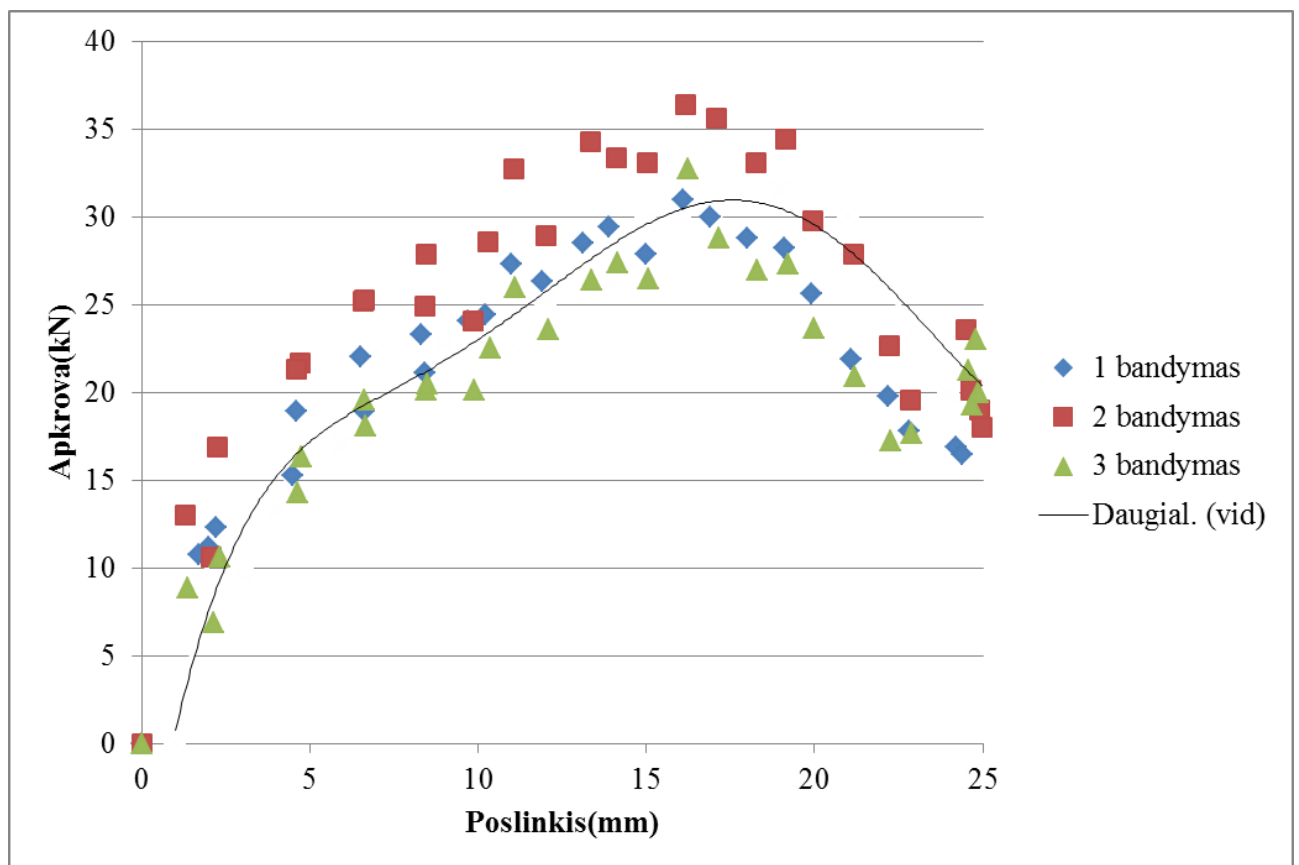
10 pav. Pirmojo bandinio skaičiuojamoji schema, jungiant plokštelę 0° kampu, atsižvelgiant į rievės padėtį medinėje kaladėlėje: 1 – metalinė dygliuota plokštelė; 2 – medinės kaladėlės; 3 – apkrova; 4 – atramos.

Pradinėje bandymo stadijoje didžiausią įtaką laikomajai galiai turėjo medienos standumas išilgai pluošto. Bandymo metu pasiekus maksimalią laikytiną apkrovą, iš medžio kaladėlės išsitraukė dygliuotos plokštelės dantys. Dantys buvo ištraukti iš vidurinėje kaladėlėje esančios plokštelės. Pasiekus 25 mm poslinkį – bandymas baigiamas. Bandinys po eksperimento pavaizduotas 11 pav.



11 pav. Metalinės dygliuotos plokštelės deformacija atlikus pirmąjį bandymą.

Atlikus tris bandymus sujungtus plokšteles 0° kampu išilgai medžio pluošto, rezultatai pateikti 2 lent. ir pavaizduoti 12 pav.



12 pav. Kerпамų bandinių, sujungtų plokštelėmis, kurių kampas lygus 0° , poslinkių-apkrovos kreivės

1,2 ir 3 bandymo rezultatų lentelė.

1 bandymas			2 bandymas			3 bandymas		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
0	0	0,0	0	0	0	0	0	0,00
10	10,8	1,7	10	13	1,3	10	8,9	1,37
20	11,2	2,0	20	10,6	2,08	20	6,9	2,14
30	12,3	2,2	30	16,9	2,26	30	10,6	2,32
40	18,9	4,6	40	21,7	4,69	40	16,3	4,75
50	15,3	4,5	50	21,3	4,59	50	14,3	4,65
60	22	6,5	60	25,2	6,58	60	19,6	6,63
70	18,9	6,6	70	25,3	6,62	70	18,1	6,67
80	23,3	8,3	80	24,9	8,4	80	20,1	8,45
85	21,1	8,4	85	27,9	8,44	85	20,5	8,49
90	24,1	9,7	90	24,1	9,85	90	20,1	9,90
100	24,4	10,2	100	28,6	10,3	100	22,5	10,36
110	27,3	11,0	110	32,7	11,06	110	26	11,11
120	26,3	11,9	120	28,9	12,03	120	23,6	12,08
130	28,5	13,1	130	34,3	13,33	130	26,4	13,39
140	29,4	13,9	140	33,4	14,1	140	27,4	14,15
150	27,9	15,0	150	33,1	15,01	150	26,5	15,06
160	31	16,1	160	36,4	16,17	160	32,7	16,22
170	30	16,9	170	35,6	17,09	170	28,8	17,14
180	28,8	18,0	180	33,1	18,24	180	26,95	18,29
190	28,2	19,1	190	34,4	19,15	190	27,3	19,20
200	25,6	19,9	200	29,75	19,93	200	23,675	19,99
210	21,9	21,1	210	27,9	21,15	210	20,9	21,20
220	19,8	22,2	220	22,7	22,21	220	17,25	22,26
230	17,8	22,8	230	19,6	22,85	230	17,7	22,90
240	16,9	24,2	240	23,6	24,51	240	21,25	24,57
242	16,5	24,4	245	20,1	24,63	245	19,3	24,68
			250	19	24,9	250	23	24,79
			255	18	24,98	255	20	24,88

Iš diagramų ir lentelės galima nustatyti:

- Didžiausią laikomąją galią – 36,4 kN turėjo antras bandinys.
- Mažiausią laikomąją galią – 31 kN turėjo pirmasis bandinys.

3.2.2. Antrasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 45° kampu

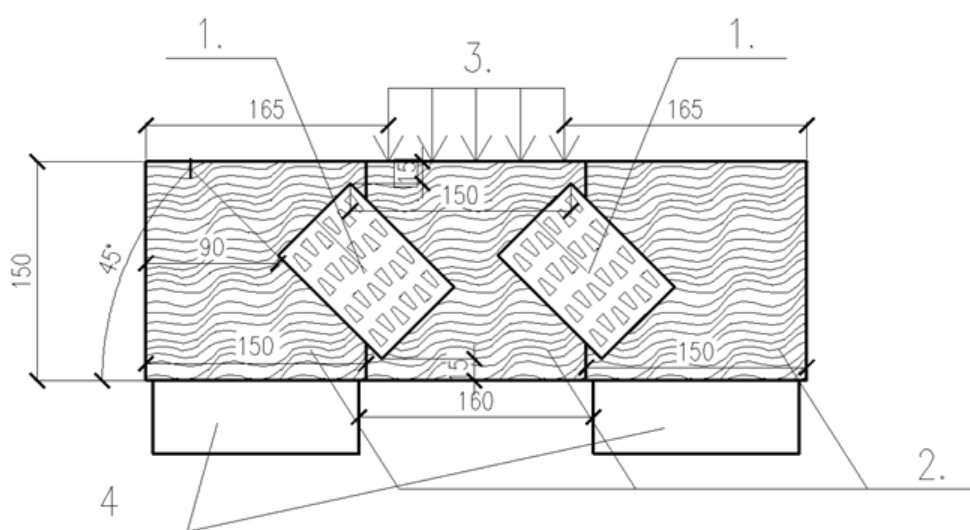
Dantytos plokštelės sujungtos 45° kampu išilgai medžio pluošto. Bandinys pavaizduotas 13 pav.



13 pav. Bandinys sujungtas 45° kampu medinės kaladėlės rievės atžvilgiu.

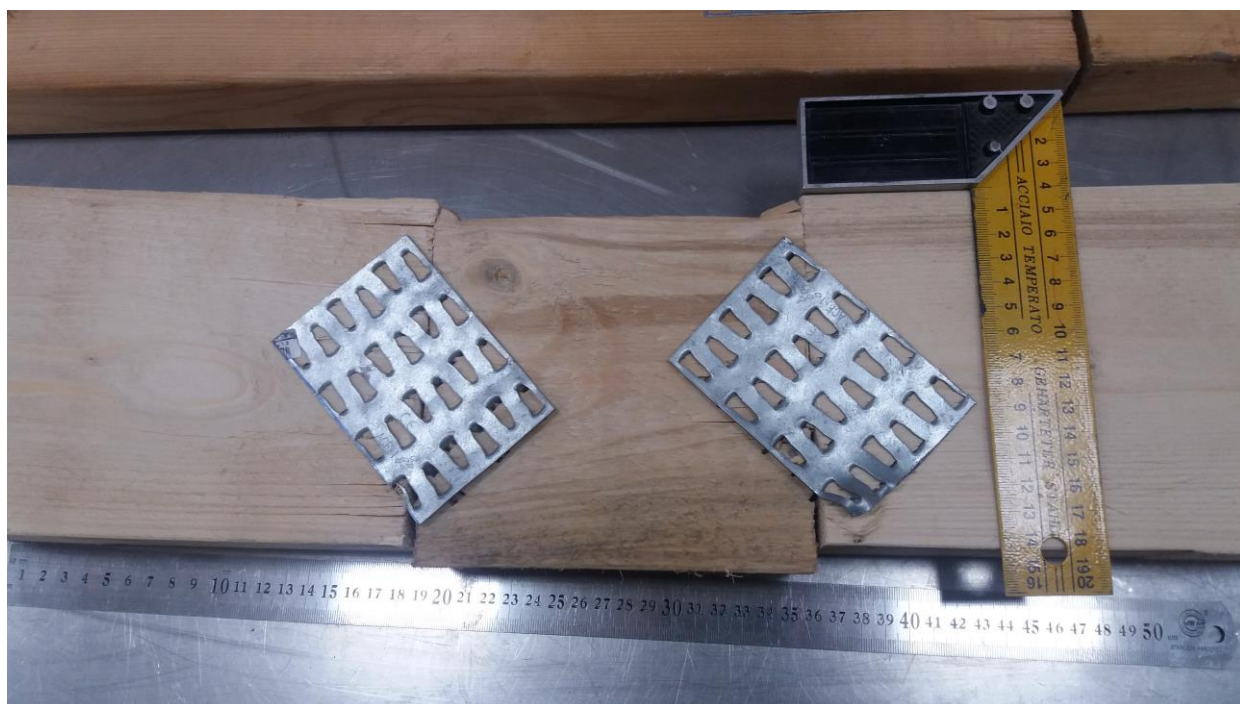
Skaičiuojamoji schema pavaizduota 14 pav.

Pradinėje bandymo stadijoje, kaip ir pirmojo bandymo metu, didžiausią įtaką poslinkiui turėjo medienos stipris išilgai pluošto. Bandymo metu, pasiekus maksimalią laikytiną apkrovą, iš medžio kaladėlės pradėjo trauktis dantys. Priešingai negu pirmojo bandymo metu, dantys pradėjo trauktis iš abiejų medinių kaladėlių tolygiai.



14 pav. Antrojo bandinio skaičiuojamoji schema, jungiant plokštelę 45° kampu, atsižvelgiant į rievės padėtį medinėje kaladėlėje: 1 – metalinė dygliuota plokštelė; 2 – medinės kaladėlės; 3 – apkrova; 4 – atramos.

Pasiekus 25 mm poslinkį bandymas baigiamas. Bandinio deformacijos pavaizduotos 15 pav.



15 pav. Metalinės dygliuotos plokštelės deformacija atlikus antrąjį bandymą.

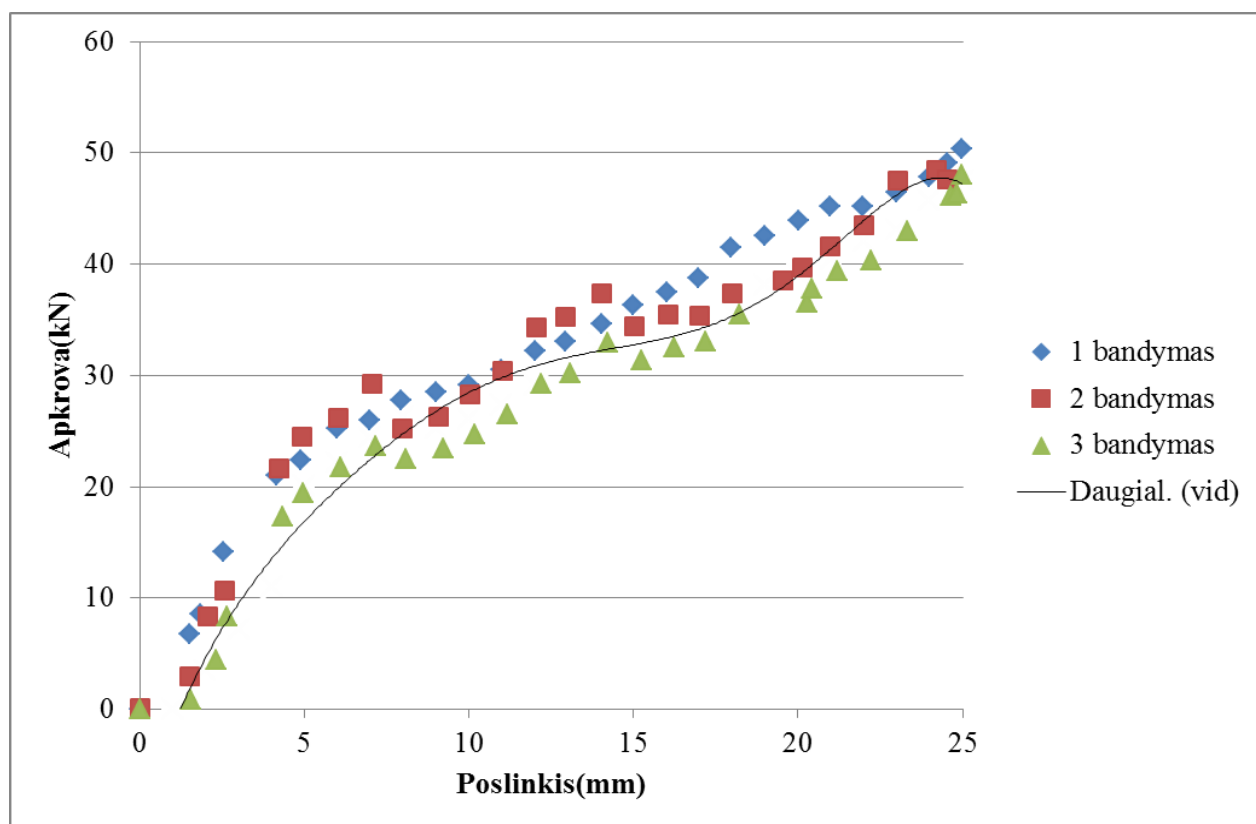
Atlikus antrąjį bandymą kerpant, sujungus plokšteles 45° kampu išilgai medžio pluošto ir jį atlikus su trimis bandiniais rezultatai pateikta 3 lentelėje ir pavaizduota 16 pav.

3 lentelė

1,2 ir 3 bandymo rezultatų lentelė.

1 bandinys			2 bandinys			3 bandinys		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	6,80	1,50	10,00	2,92	1,51	10,00	0,86	1,54
20,00	8,60	1,83	20,00	8,34	2,06	20,00	4,47	2,31
30,00	14,10	2,53	30,00	10,61	2,58	30,00	8,36	2,66
40,00	21,00	4,17	40,00	21,68	4,24	40,00	17,34	4,35
50,00	22,40	4,90	50,00	24,52	4,91	50,00	19,46	4,97
60,00	25,20	6,00	60,00	26,22	6,03	60,00	21,71	6,12
70,00	26,00	7,00	70,00	29,23	7,05	70,00	23,62	7,17
80,00	27,80	7,95	80,00	25,26	7,98	80,00	22,53	8,09
90,00	28,50	9,02	90,00	26,28	9,07	90,00	23,39	9,21
100,00	29,10	10,01	100,00	28,30	10,04	100,00	24,70	10,17
110,00	30,50	10,97	110,00	30,41	11,02	110,00	26,46	11,18

1 bandinys			2 bandinys			3 bandinys		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
120,00	32,20	12,03	120,00	34,34	12,06	120,00	29,27	12,21
130,00	33,10	12,93	130,00	35,22	12,94	130,00	30,16	13,08
140,00	34,60	14,02	140,00	37,38	14,05	140,00	32,99	14,22
150,00	36,30	14,99	150,00	34,40	15,04	150,00	31,35	15,24
160,00	37,50	16,02	160,00	35,52	16,05	160,00	32,51	16,24
170,00	38,80	16,99	170,00	35,34	17,00	170,00	33,07	17,18
180,00	41,50	17,97	180,00	37,41	18,00	180,00	35,46	18,21
190,00	42,50	18,98	190,00	38,58	19,53	190,00	36,54	20,28
200,00	43,90	20,02	200,00	39,73	20,13	200,00	37,82	20,44
210,00	45,20	20,98	210,00	41,59	20,99	210,00	39,39	21,21
220,00	45,20	21,96	220,00	43,55	21,99	220,00	40,38	22,24
230,00	46,50	22,98	230,00	47,52	23,03	230,00	43,01	23,31
240,00	47,80	24,00	240,00	48,51	24,21	240,00	46,16	24,66
250,00	49,10	24,52	250,00	47,60	24,55	250,00	46,35	24,83
260,00	50,40	24,97	260,00	47,62		260,00	48,01	24,99



16 pav. Kerпамų bandinių, sujungtų plokštelėmis, kurių kampas lygus 45°, poslinkių-apkrovos kreivės

Iš diagramų ir lentelės galima nustatyti:

- Didžiausią laikomąją galią – 50,4 kN turėjo pirmasis bandinys.
- Mažiausią laikomąją galią – 48,1 kN turėjo pirmasis bandinys.
- Vidutinė laikomoji galia – 48,97 kN.

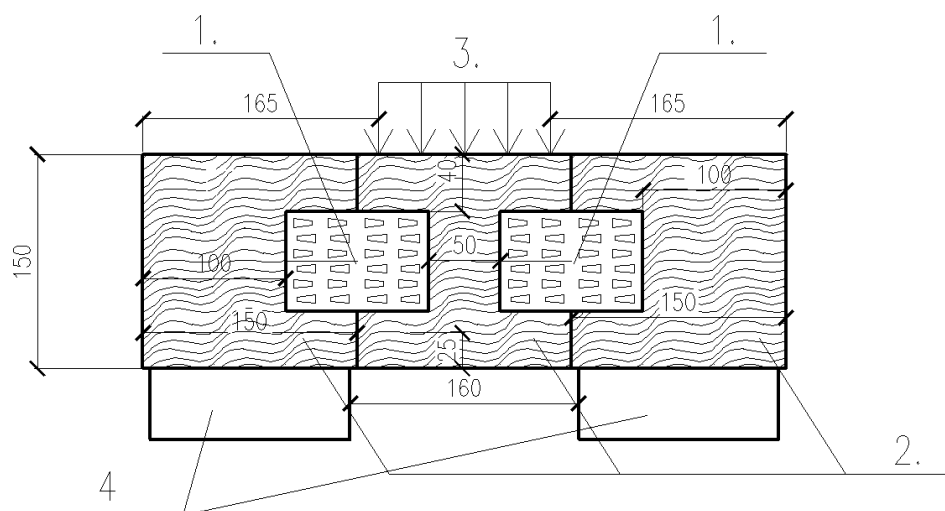
3.2.3. Trečiasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 90° kampu

Dantytos plokštelės buvo sujungtos 90° kampu išilgai medžio pluošto. Bandinys pavaizduotas 17 pav.

Skaičiuojamoji schema pavaizduota 18 pav.



17 pav. Bandinys sujungtas 90° kampu medinės kaladėlės rievės atžvilgiu.



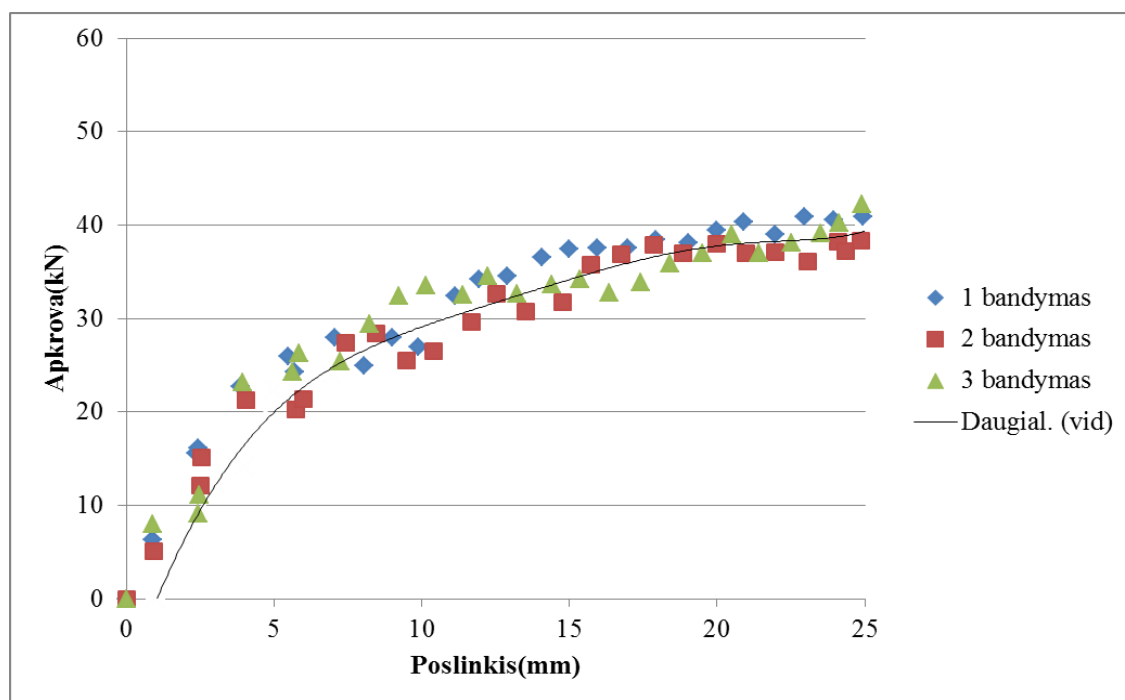
18 pav. Trečiojo bandinio skaičiuojamoji schema, jungiant plokštelę 90° kampu, atsižvelgiant į rievės padėtį medinėje kaladėlėje: 1 – metalinė dygliuota plokštelė; 2 – medinės kaladėlės; 3 – apkrova; 4 – atramos.

Pasiekus 25mm poslinkį bandymas baigiamas. Bandinio deformacijos pavaizduotos 19 pav.



19 pav. Metalinės dygliuotos plokštelės deformacija atlikus trečiąjį bandymą.

Atlikus trečiąjį bandymą kerpant, sujungus plokšteles 90° kampu išilgai medžio pluošto, gauti rezultatai pateikta 4 lentelėje ir pavaizduota 20 pav.



20 pav. Kerpamų bandinių, sujungtų plokštelėmis, kurių kampas lygus 90°, poslinkių-apkrovos kreivės

1,2 ir 3 bandymo rezultatų lentelė.

1 bandinys			2 bandinys			3 bandinys		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	6,30	0,88	10,00	5,12	0,93	10,00	8,04	0,90
20,00	15,60	2,37	20,00	12,12	2,49	20,00	9,12	2,43
30,00	16,10	2,42	30,00	15,19	2,54	30,00	11,12	2,48
40,00	22,70	3,86	40,00	21,27	4,05	40,00	23,19	3,95
50,00	26,00	5,48	50,00	20,29	5,75	50,00	24,27	5,61
60,00	24,30	5,71	60,00	21,35	5,99	60,00	26,29	5,85
70,00	28,00	7,06	70,00	27,40	7,41	70,00	25,35	7,23
80,00	25,00	8,04	80,00	28,45	8,44	80,00	29,40	8,24
90,00	28,00	9,02	90,00	25,49	9,47	90,00	32,45	9,24
100,00	27,00	9,90	100,00	26,56	10,39	100,00	33,49	10,14
110,00	32,40	11,12	110,00	29,60	11,68	110,00	32,56	11,40
120,00	34,20	11,94	120,00	32,64	12,54	120,00	34,60	12,24
130,00	34,60	12,89	130,00	30,70	13,53	130,00	32,64	13,21
140,00	36,50	14,06	140,00	31,75	14,76	140,00	33,70	14,41
150,00	37,50	14,99	150,00	35,80	15,74	150,00	34,25	15,37
160,00	37,60	15,95	160,00	36,85	16,75	160,00	32,80	16,35
170,00	37,60	16,99	170,00	37,90	17,84	170,00	33,85	17,42
180,00	38,40	17,94	180,00	36,95	18,83	180,00	35,90	18,39
190,00	38,10	19,02	190,00	38,00	19,97	190,00	36,95	19,50
200,00	39,40	19,99	200,00	37,05	20,99	200,00	39,00	20,49
210,00	40,40	20,91	210,00	37,10	21,95	210,00	37,05	21,43
220,00	39,00	21,95	220,00	36,15	23,05	220,00	38,10	22,50
230,00	40,90	22,95	230,00	38,20	24,10	230,00	39,15	23,52
240,00	40,60	23,95	240,00	37,25	24,35	240,00	40,20	24,15
250,00	40,85	24,94	250,00	38,29	24,87	250,00	42,25	24,91

Iš diagramų ir lentelės galima nustatyti:

- Didžiausią laikomąją galią – 40,25 kN turėjo trečiasis bandinys.
- Mažiausią laikomąją galią – 38,29 kN turėjo antrasis bandinys.
- Vidutinė laikomoji galia– 40,48 kN.

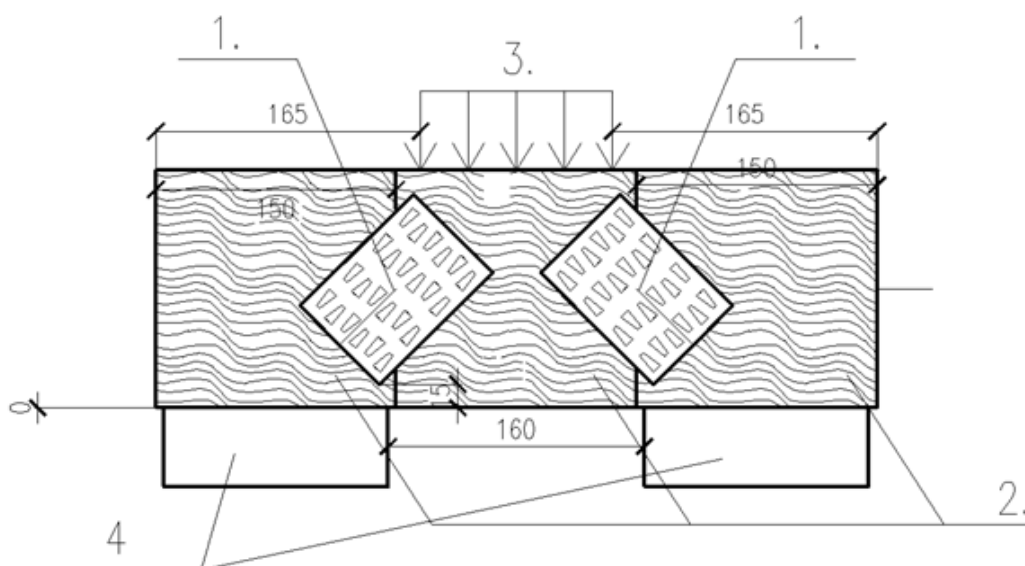
3.2.4. Ketvirtasis bandymas kerpant sujungus medinius elementus 45° ir 135° kampu

Dantytos plokštelės buvo sujungtos 45° ir 135° kampais išilgai medžio pluošto. Bandinys pavaizduotas 21 pav.



21 pav. Bandinys sujungtas 45° ir 135° kampais medinės kaladėlės rievės atžvilgiu.

Skaičiuojamoji schema pavaizduota 22 pav.



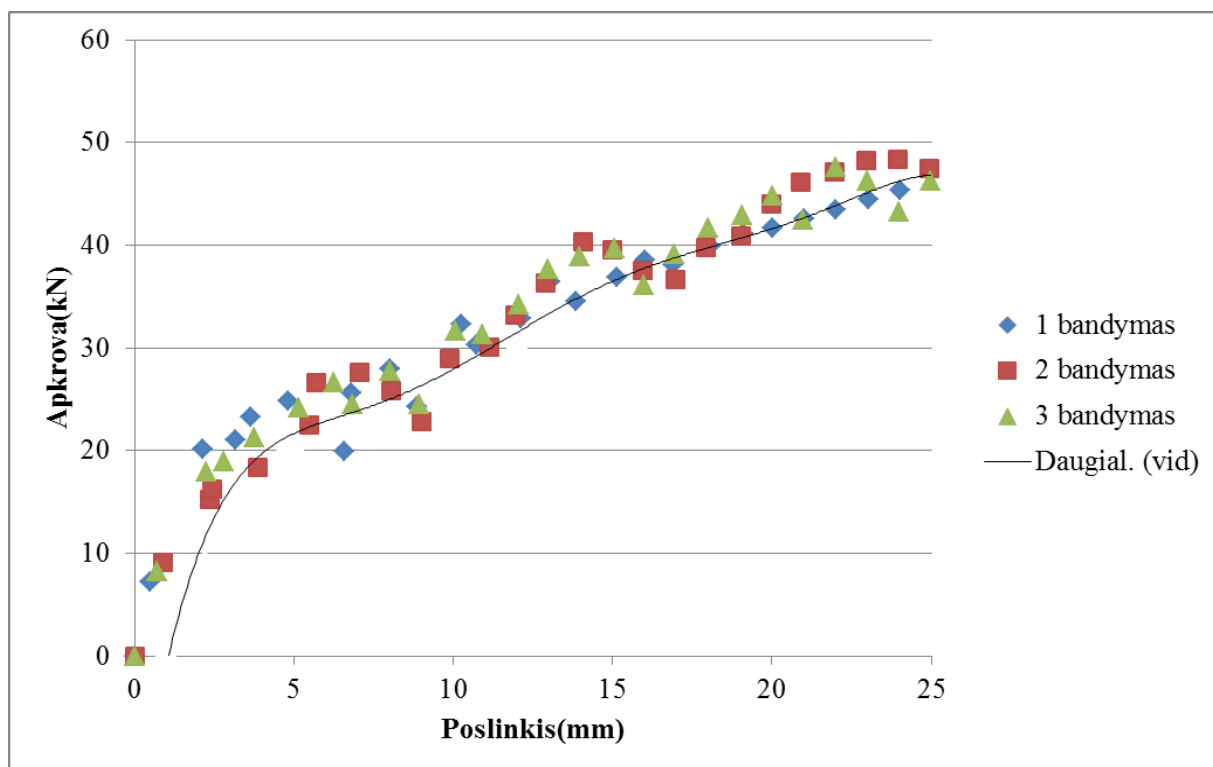
22 pav. Ketvirtojo bandinio skaičiuojamoji schema, jungiant plokštelę 0° kampu, atsižvelgiant į rievės padėtį medinėje kaladėlėje: 1 – metalinė dygliuota plokštelė; 2 – medinės kaladėlės; 3 – apkrova; 4 – atramos.

Pasiekus 25 mm poslinkį bandymas baigiamas. Bandinio deformacijos pavaizduotos 23 pav.



23 pav. Metalinės dygliuotos plokštelės deformacija atlikus ketvirtąjį bandymą.

Atlikus ketvirtąjį bandymą kerpant, sujungus plokšteles 45° ir 135° kampais išilgai medžio pluošto, gauti rezultatai pateikta 5 lentelėje ir pavaizduota 24 pav.



24 pav. Kerpamų bandinių, sujungtų plokštelėmis, kurių kampas lygus 45° ir 135° , poslinkių-apkrovos kreivės

1,2 ir 3 bandymo rezultatų lentelė.

1 bandinys			2 bandinys			3 bandinys		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	7,20	0,50	10,00	9,07	0,88	10,00	8,22	0,69
20,00	20,20	2,14	20,00	15,23	2,37	20,00	17,95	2,25
30,00	21,00	3,17	30,00	16,28	2,42	30,00	18,88	2,79
40,00	23,30	3,65	40,00	18,38	3,86	40,00	21,22	3,75
50,00	24,80	4,82	50,00	22,51	5,48	50,00	24,21	5,15
60,00	25,60	6,80	60,00	26,63	5,71	60,00	26,68	6,26
70,00	19,90	6,59	70,00	27,68	7,06	70,00	24,50	6,82
80,00	28,00	8,01	80,00	25,80	8,04	80,00	27,70	8,02
90,00	24,30	8,84	90,00	22,89	9,02	90,00	24,50	8,93
100,00	32,30	10,24	100,00	29,01	9,90	100,00	31,64	10,07
110,00	30,30	10,72	110,00	30,09	11,12	110,00	31,31	10,92
120,00	32,90	12,14	120,00	33,20	11,94	120,00	34,25	12,04
130,00	36,40	13,03	130,00	36,30	12,89	130,00	37,64	12,96
140,00	34,60	13,84	140,00	40,40	14,06	140,00	38,90	13,95
150,00	36,90	15,12	150,00	39,51	14,99	150,00	39,70	15,06
160,00	38,60	16,01	160,00	37,60	15,95	160,00	36,15	15,98
170,00	38,10	16,89	170,00	36,69	16,99	170,00	39,10	16,94
180,00	39,90	18,08	180,00	39,80	17,94	180,00	41,64	18,01
190,00	41,10	19,09	190,00	40,91	19,02	190,00	42,90	19,06
200,00	41,64	20,02	200,00	44,00	19,99	200,00	44,82	20,01
210,00	42,57	21,02	210,00	46,10	20,91	210,00	42,50	20,96
220,00	43,49	22,02	220,00	47,20	21,95	220,00	47,54	21,99
230,00	44,42	23,02	230,00	48,30	22,95	230,00	46,25	22,99
240,00	45,34	24,02	240,00	48,40	23,95	240,00	43,22	23,98
250,00	46,27	25,02	250,00	47,50	24,94	250,00	46,21	24,98

Iš diagramų ir lentelės galima nustatyti:

- Didžiausią laikomąją galią – 48,40 kN turėjo antrasis bandinys.
- Mažiausią laikomąją galią – 46,27 kN turėjo pirmasis bandinys.
- Vidutinė laikomoji galia – 47,40 kN.

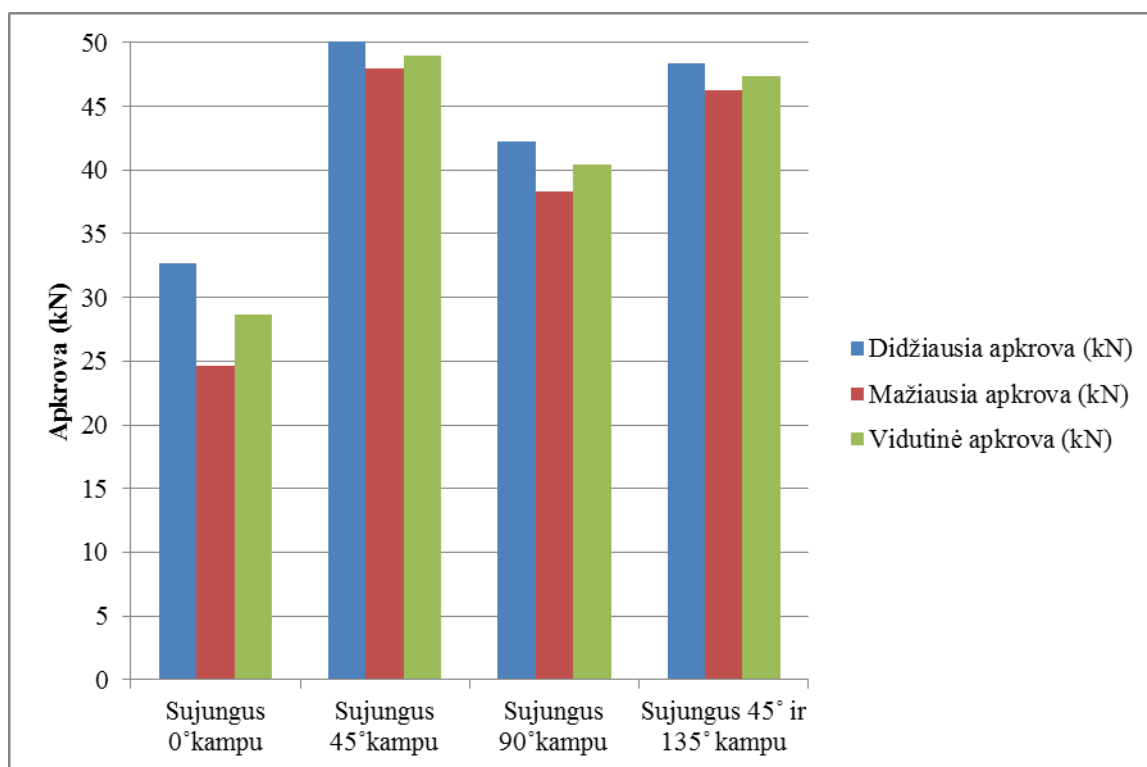
3.2.5. Eksperimento kerpanų rezultatų analizė

Atlikus eksperimentą su dvylika bandinių su keturiais skirtingais jungimo būdais rezultatai pateikti 6 lentelėje ir pavaizduoti 25 pav.

6 lentelė

Bandymo kerpanų rezultatų lentelė.

Bandinys	Sujungus 0° kampu	Sujungus 45° kampu	Sujungus 90° kampu	Sujungus 45° ir 135° kampu
Didžiausia apkrova (kN)	32,7	50,4	42,25	48,4
Mažiausia apkrova (kN)	24,63	48,01	38,29	46,27
Vidutinė apkrova (kN)	33,36	48,97	40,48	47,4



25 pav. Bandymų kerpanų suvestinė diagrama

Pasinaudojus 6 lentelės ir 5 diagramos duomenimis galima daryti išvadas, kad prasčiausias jungimo būdas yra 0° kampu, o geriausias jungimo būdas yra 45° kampu. Palyginus visus jungimo būdus su prasčiausiu jungimo būdu gauname, kad pasukus plokšteles 45° kampu rezultatai skiriasi 1,54 karto, 90° kampu 1,29 karto, o 45° ir 135° kampu 1,48 karto.

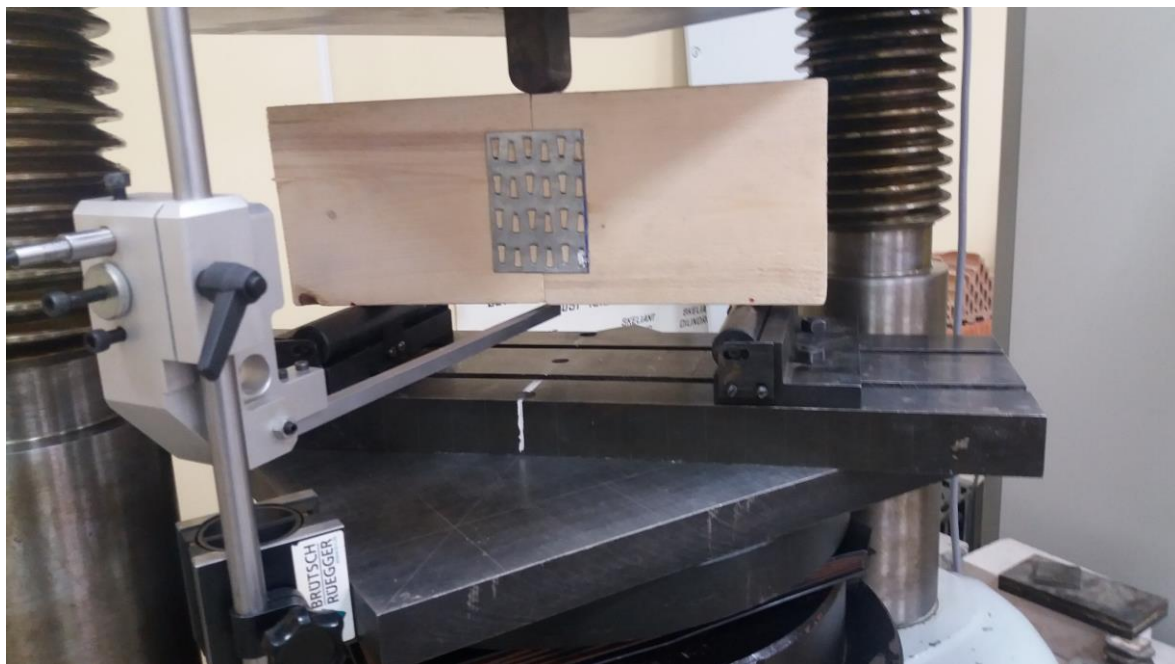
3.3. Eksperimentas lenkiant

Bandinių bendras ilgis sujungus jį medinėmis kaladėlėmis 400 mm , plotis – 50mm, aukštis – 150mm.

Bandinių atramos buvo naudojamos metalinės plokštelės. Hidraulinio preso stovė metalinės kaladėlės išdėstomos simetriškai taip, kad atstumas tarp jų būtų 300 mm. Ant bandinių vidurio papildomai uždėdama metalinę plokštelę, kuri tolygiai paskirsto apkrovą per bandinio vidurinę dalį (žr. 25, 29, 33,pav.).

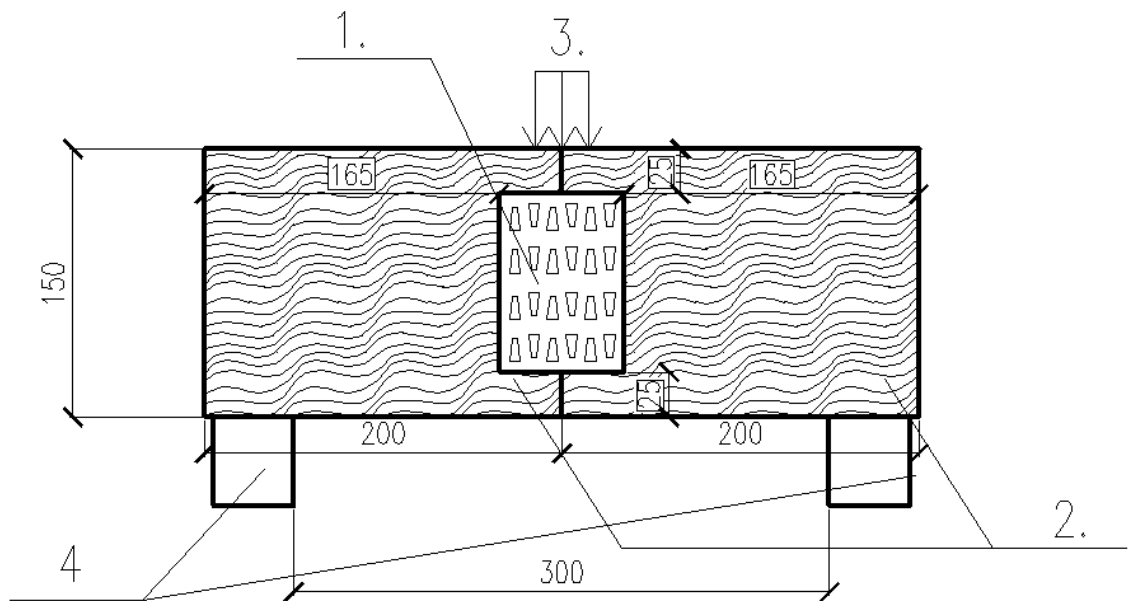
3.3.1. Pirmasis bandymas lenkiant sujungus medinius elementus 0° kampu

Dantytos metalinės plokštelės buvo sujungtos 0° kampu išilgai medžio pluošto. Lenkiamas bandinys pavaizduotas 26 pav.



26 pav. Bandinys 1 sujungtas metalinėmis plokštelėmis 0° kampu išilgai medžio pluošto.

Medinės kaladėlės hidrauliniam prese įstatytos lygiai per preso vidurį ir suteikiamos atramos, kurios yra atitolusios viena nuo kitos per 300 mm ir tolygiai nutolusios nuo bandinio centro per 150 mm. Ant bandinio buvo uždėta metalinė plokštelė, kuria paveikus apkrovai sukuriamas lenkimas. Skaičiuojamoji schema pavaizduota 27 pav.



27 pav. Pirmojo bandinio lenkiant skaičiuojamoji schema, jungiant plokštelę 0° kampū, atsižvelgiant į rievės padėtį medinėje kaladėlėje: 1 – metalinė dygliuota plokštelė; 2 – medinės kaladėlės; 3 – apkrova; 4 – atramos.

Kaip ir bandymo kerpant medžio standumas turėjo įtakos poslinkiui. Eksperimento metu pasiekus didžiausia laikomąją galią iš medžio kaladėlių pradėjo išsitraukinėti metalinės plokštelės dantukai. Besitraukdami dantukai pradėjo deformuoti plokštelę. Pasiekus 12mm poslinkį bandymas sustabdomas. Bandinio deformacijos pavaizduotos 28 pav.

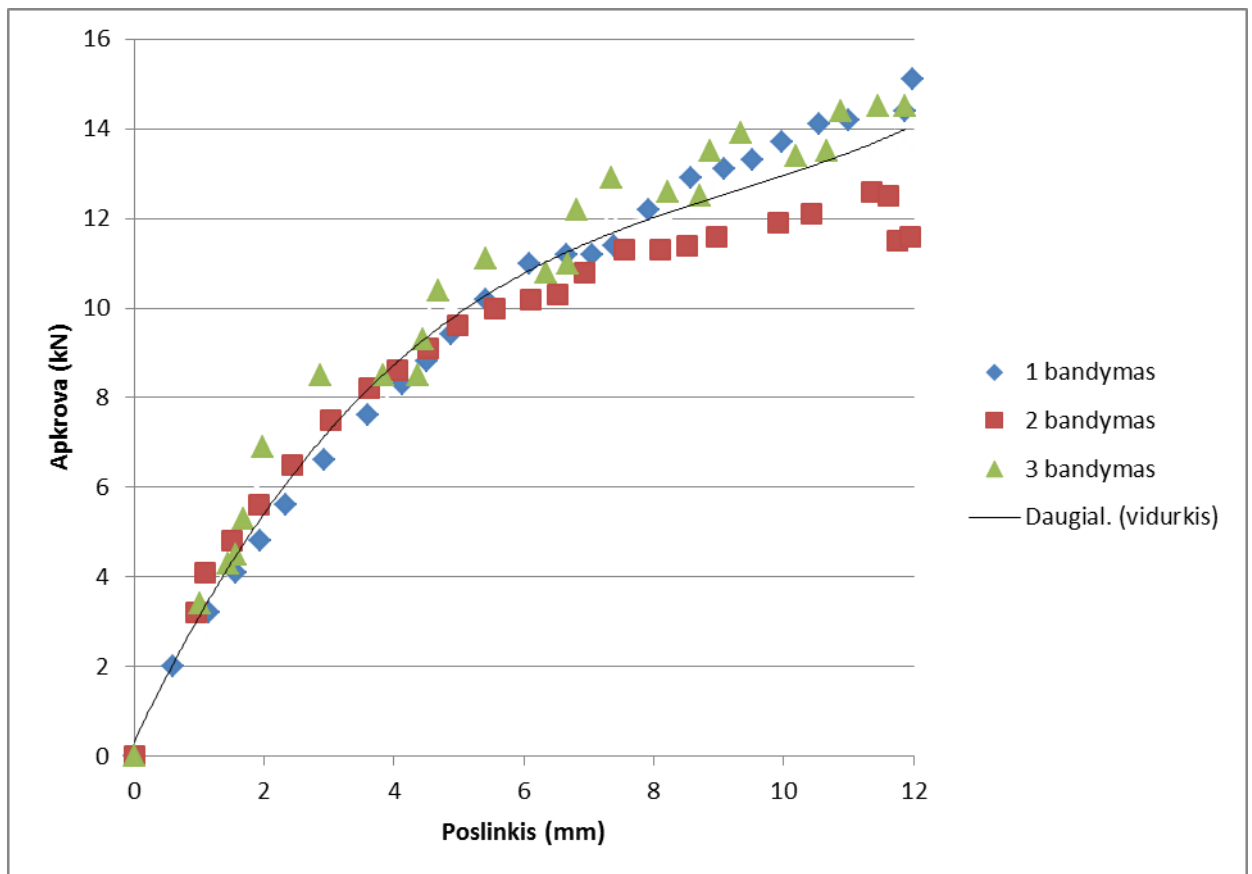


28 pav. Metalinės dygliuotos plokštelės deformacija atlikus pirmąjį bandymą.

Pirmojo bandymo lenkiant rezultatai. Atlikus bandymą lenkiant, sujungus plokšteles 0° kampū išilgai medžio pluošto, visų trijų bandinių gauti rezultatai pateikti 7 lentelėje ir pavaizduoti 29 pav.

1,2 ir 3 bandymo rezultatų lentelė.

1 bandymas			2 bandymas			3 bandymas		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	2,00	0,60	5,00	3,20	0,96	5,00	3,40	1,02
10,00	3,20	1,15	10,00	4,10	1,09	10,00	4,30	1,44
15,00	4,10	1,56	15,00	4,80	1,51	15,00	4,50	1,56
20,00	4,80	1,94	20,00	5,60	1,92	20,00	5,30	1,68
25,00	5,60	2,34	25,00	6,50	2,44	25,00	6,90	1,98
30,00	6,60	2,93	30,00	7,50	3,02	30,00	8,50	2,86
35,00	7,60	3,59	35,00	8,20	3,62	35,00	8,50	3,84
40,00	8,30	4,13	40,00	8,60	4,05	40,00	8,50	4,36
45,00	8,80	4,50	45,00	9,10	4,53	45,00	9,30	4,45
50,00	9,40	4,89	50,00	9,60	4,99	50,00	10,40	4,68
55,00	10,20	5,42	55,00	10,00	5,56	55,00	11,10	5,42
60,00	11,00	6,09	60,00	10,20	6,10	60,00	10,80	6,34
65,00	11,20	6,65	65,00	10,30	6,52	65,00	11,00	6,67
70,00	11,20	7,06	70,00	10,80	6,93	70,00	12,20	6,82
75,00	11,40	7,39	75,00	11,30	7,54	75,00	12,90	7,35
80,00	12,20	7,92	80,00	11,30	8,10	80,00	12,60	8,21
85,00	12,90	8,57	85,00	11,40	8,51	85,00	12,50	8,72
90,00	13,10	9,08	90,00	11,60	8,96	90,00	13,50	8,88
95,00	13,30	9,52	95,00	11,90	9,92	95,00	13,90	9,35
100,00	13,70	9,98	100,00	12,10	10,42	100,00	13,40	10,19
105,00	14,10	10,55	105,00	12,60	11,35	105,00	13,50	10,66
110,00	14,20	11,00	110,00	12,50	11,62	110,00	14,40	10,88
115,00	14,40	11,88	115,00	11,50	11,75	115,00	14,50	11,45
120,00	15,10	11,98	120,00	11,60	11,95	120,00	14,50	11,88



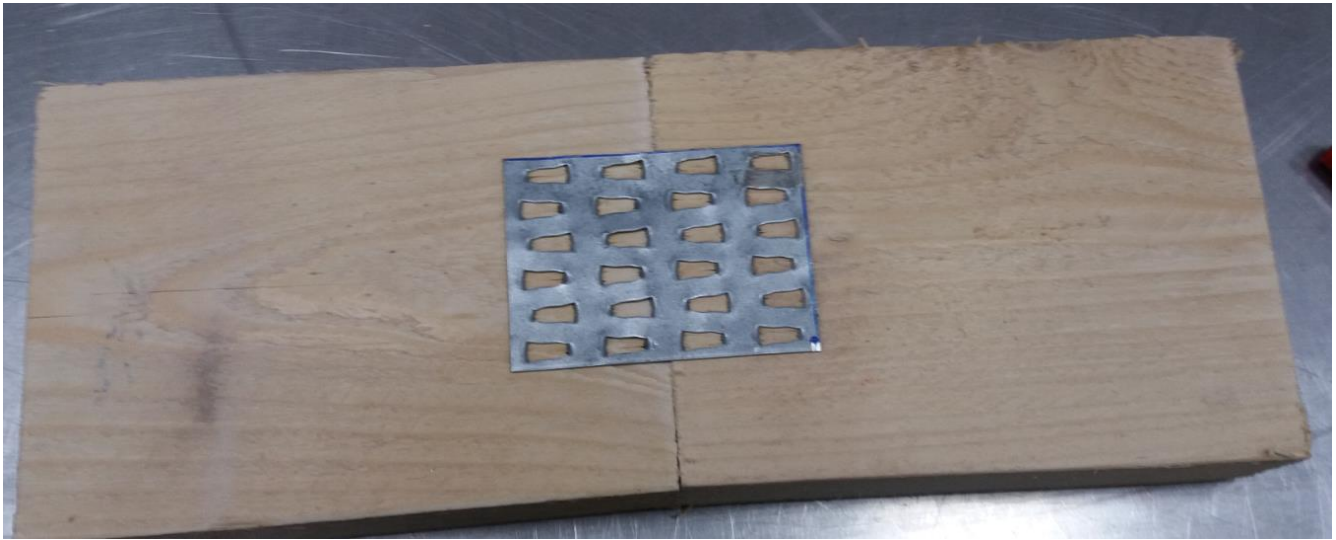
29 pav. Pirmojo bandymo lenkiant rezultatų diagrama. Atlikus bandymą lenkiant, sujungus plokšteles 0° kampui išilgai medžio pluošto

Iš diagramų ir lentelės galima nustatyti:

- Didžiausią laikomąją galią – 15,1 kN turėjo pirmasis bandinys.
- Mažiausią laikomąją galią – 12,6 kN turėjo antrasis bandinys.

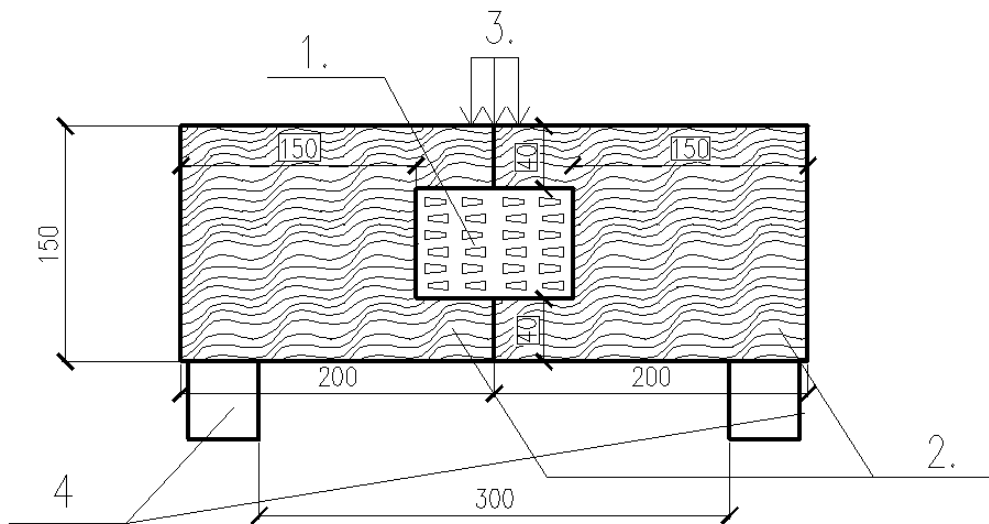
3.3.2. Antrasis bandymas lenkiant sujungus medinius elementus 90° kampui

Dantytos metalinės plokštelės buvo sujungtos 90° kampui išilgai medžio pluošto. Lenkiamas bandinys pavaizduotas 30 pav.



30 pav. Bandinys 1 sujungtas metalinėmis plokštelėmis 90° kampu išilgai medžio pluošto

Skaičiuojamoji schema pavaizduota 31 pav.



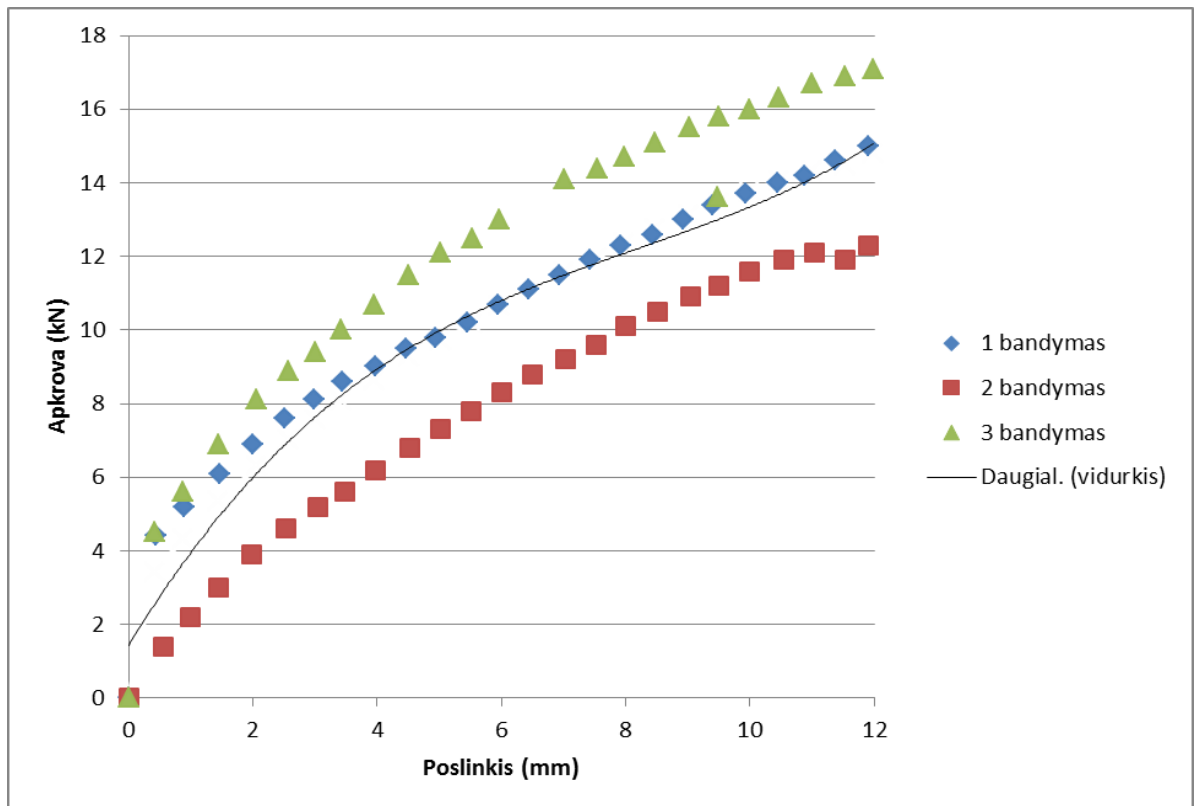
31 pav. Antrojo bandinio lenkiant skaičiuojamoji schema, jungiant plokštelę 90° kampu, atsižvelgiant į rievės padėtį medinėje kaladėlėje: 1 – metalinė dygliuota plokštelė; 2 – medinės kaladėlės; 3 – apkrova; 4 – atramos.

Bandinio deformacijos pavaizduotos 32 pav.



32 pav. Metalinės dygliuotos plokštelės deformacija atlikus antrąjį bandymą.

Atlikus bandymą lenkiant, sujungus plokšteles 90° kampu išilgai medžio pluošto, visų trijų bandinių gauti rezultatai pateikti 8 lentelėje ir pavaizduoti 33 pav.



33 pav. Antrojo bandymo lenkiant rezultatų diagrama. Atlikus bandymą lenkiant, sujungus plokšteles 90° kampu išilgai medžio pluošto

1,2 ir 3 bandymo rezultatų lentelė.

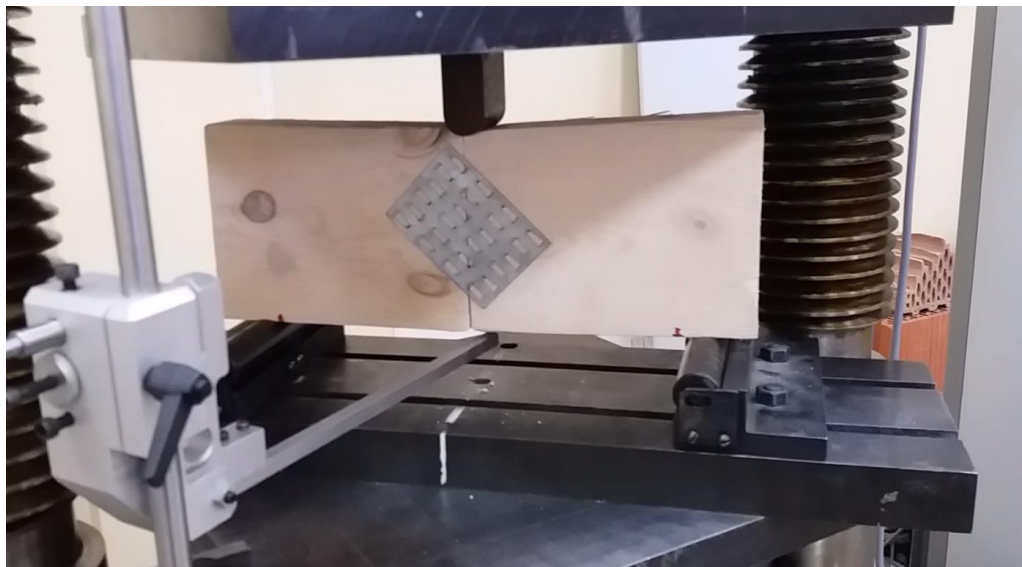
1 bandymas			2 bandymas			3 bandymas		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	4,40	0,44	5,00	1,40	0,55	5,00	4,50	0,42
10,00	5,20	0,90	10,00	2,20	0,99	10,00	5,60	0,88
15,00	6,10	1,46	15,00	3,00	1,44	15,00	6,90	1,45
20,00	6,90	2,00	20,00	3,90	1,99	20,00	8,10	2,06
25,00	7,60	2,52	25,00	4,60	2,54	25,00	8,90	2,58
30,00	8,10	2,98	30,00	5,20	3,05	30,00	9,40	3,01
35,00	8,60	3,44	35,00	5,60	3,49	35,00	10,00	3,43
40,00	9,00	3,97	40,00	6,20	3,98	40,00	10,70	3,95
45,00	9,50	4,46	45,00	6,80	4,53	45,00	11,50	4,51
50,00	9,80	4,94	50,00	7,30	5,02	50,00	12,10	5,03
55,00	10,20	5,45	55,00	7,80	5,51	55,00	12,50	5,54
60,00	10,70	5,95	60,00	8,30	6,00	60,00	13,00	5,96
65,00	11,10	6,44	65,00	8,80	6,51	65,00	13,60	6,48
70,00	11,50	6,94	70,00	9,20	7,04	70,00	14,10	7,01
75,00	11,90	7,43	75,00	9,60	7,52	75,00	14,40	7,54
80,00	12,30	7,93	80,00	10,10	8,01	80,00	14,70	7,98
85,00	12,60	8,44	85,00	10,50	8,52	85,00	15,10	8,48
90,00	13,00	8,92	90,00	10,90	9,05	90,00	15,50	9,02
95,00	13,40	9,40	95,00	11,20	9,51	95,00	15,80	9,50
100,00	13,70	9,94	100,00	11,60	9,99	100,00	16,00	10,00
105,00	14,00	10,44	105,00	11,90	10,55	105,00	16,30	10,47
110,00	14,20	10,89	110,00	12,10	11,05	110,00	16,70	11,00
115,00	14,60	11,37	115,00	11,90	11,53	115,00	16,90	11,53
120,00	15,00	11,92	120,00	12,30	11,92	120,00	17,10	11,99

Iš diagramų ir lentelės galima nustatyti:

- Didžiausią laikomąją galią – 17,1 kN turėjo antras bandinys.
- Mažiausią laikomąją galią – 12,3 kN turėjo pirmasis bandinys.

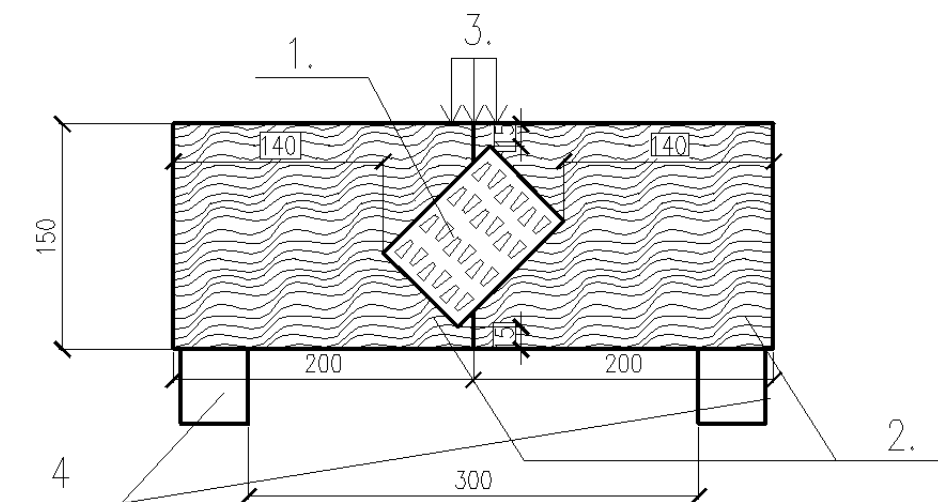
3.3.3. Trečiasis bandymas lenkiant sujungus medinius elementus 45° kampu

Dantytos metalinės plokštelės buvo sujungtos 45° kampu išilgai medžio pluošto. Lenkiamas bandinys pavaizduotas 34 pav.



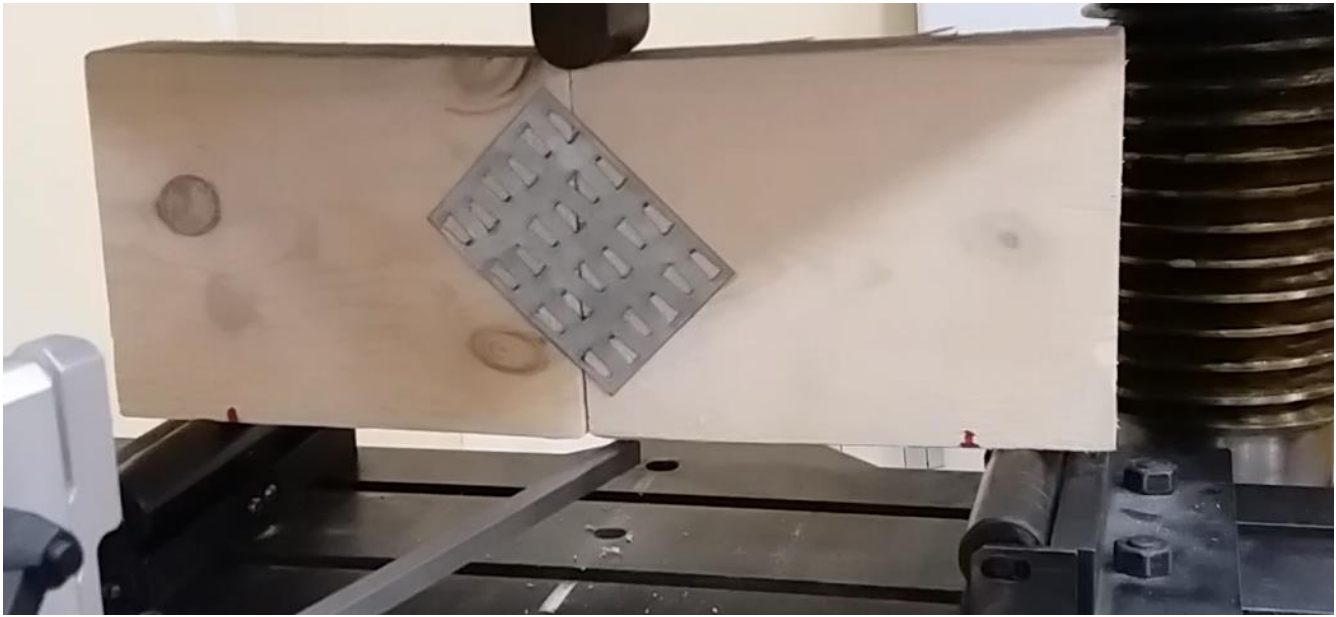
34 pav. Bandinys 1 sujungtas metalinėmis plokštelėmis 45° kampu išilgai medžio pluošto

Skaičiuojamoji schema pavaizduota 35 pav.



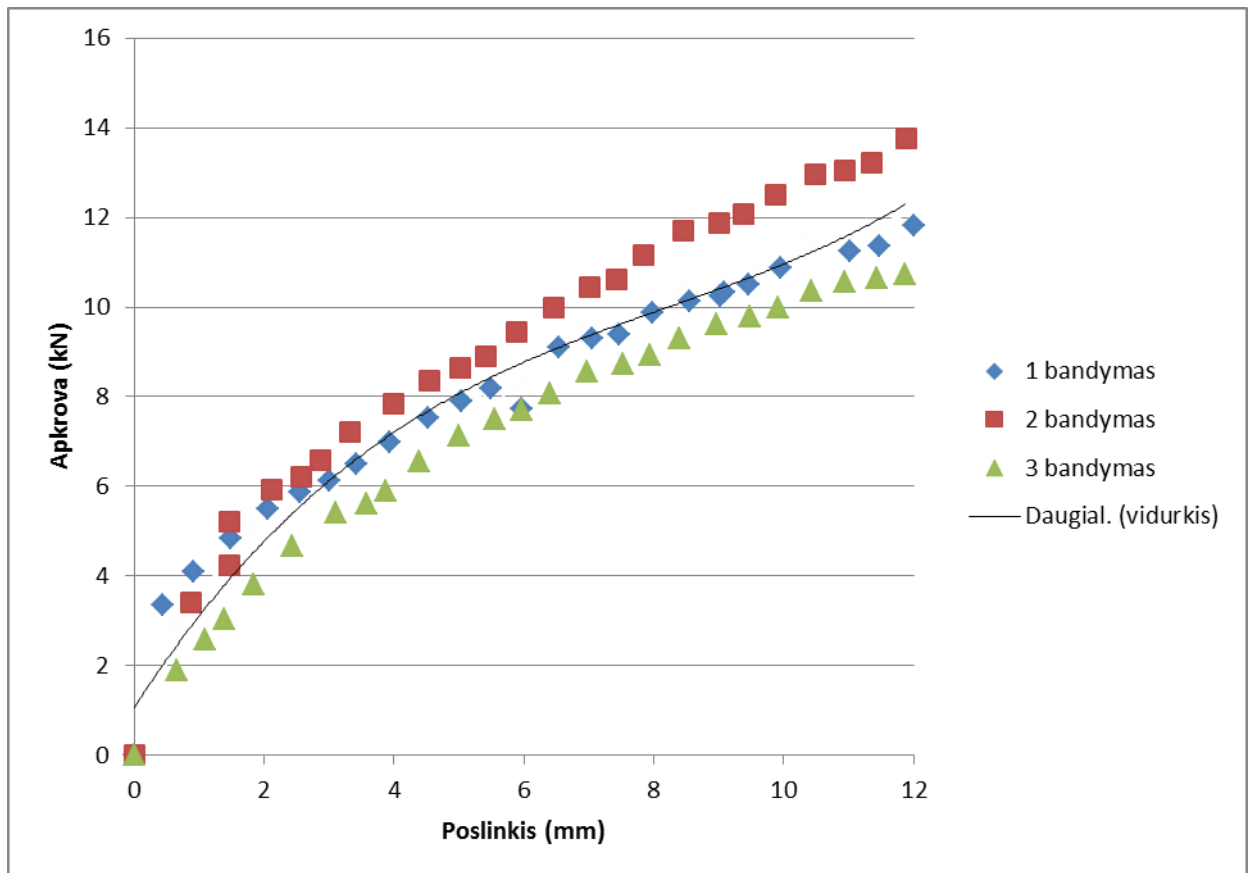
35 pav. Trečiojo eksperimento lenkiant skaičiuojamoji schema, jungiant plokštelę 45° kampu, atsižvelgiant į rievės padėtį medinėje kaladėlėje: 1 – metalinė dygliuota plokštelė; 2 – medinės kaladėlės; 3 – apkrova; 4 – atramos.

Bandinio deformacijos pavaizduotos 36 pav.



36 pav. Metalinės dygliuotos plokštelės deformacija atlikus trečiąjį bandymą

Atlikus bandymą lenkiant, sujungus plokšteles 45° kampu išilgai medžio pluošto, visų trijų bandinių gauti rezultatai pateikti 9 lentelėje ir pavaizduoti 37 pav



37 pav. Trečiojo bandymo lenkiant rezultatų diagrama. Atlikus bandymą lenkiant, sujungus plokšteles 45° kampu išilgai medžio pluošto

1,2 ir 3 bandymo rezultatų lentelė

1 bandymas			2 bandymas			3 bandymas		
Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm	Laikas, s	Apkrova, kN	Poslinkis, mm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	3,35	0,45	5,00	3,42	0,87	5,00	1,90	0,66
10,00	4,09	0,91	10,00	4,23	1,46	10,00	2,57	1,10
15,00	4,84	1,48	15,00	5,22	1,46	15,00	3,04	1,38
20,00	5,49	2,06	20,00	5,94	2,12	20,00	3,80	1,84
25,00	5,86	2,56	25,00	6,21	2,57	25,00	4,66	2,43
30,00	6,14	3,01	30,00	6,57	2,87	30,00	5,42	3,10
35,00	6,51	3,42	35,00	7,20	3,32	35,00	5,61	3,58
40,00	6,98	3,93	40,00	7,83	4,00	40,00	5,89	3,88
45,00	7,53	4,53	45,00	8,37	4,54	45,00	6,56	4,39
50,00	7,91	5,05	50,00	8,64	5,03	50,00	7,13	5,01
55,00	8,18	5,50	55,00	8,91	5,41	55,00	7,51	5,56
60,00	7,72	5,96	60,00	9,45	5,88	60,00	7,70	5,96
65,00	9,11	6,54	65,00	9,99	6,46	65,00	8,08	6,41
70,00	9,30	7,06	70,00	10,44	7,02	70,00	8,55	6,98
75,00	9,39	7,47	75,00	10,62	7,42	75,00	8,74	7,52
80,00	9,86	7,98	80,00	11,16	7,85	80,00	8,93	7,94
85,00	10,14	8,55	85,00	11,70	8,45	85,00	9,31	8,39
90,00	10,23	9,03	90,00	11,88	9,01	90,00	9,60	8,96
95,00	10,32	9,08	95,00	12,06	9,39	95,00	9,79	9,48
100,00	10,51	9,47	100,00	12,51	9,87	100,00	9,98	9,92
105,00	10,88	9,96	105,00	12,96	10,48	105,00	10,36	10,42
110,00	11,25	11,03	110,00	13,05	10,95	110,00	10,55	10,95
115,00	11,35	11,47	115,00	13,23	11,35	115,00	10,64	11,44
120,00	11,81	12,00	120,00	13,77	11,90	120,00	10,74	11,88

Iš diagramų ir lentelės galima nustatyti:

- Didžiausią laikomąją galią – 13,77 kN turėjo antras bandinys.
- Mažiausią laikomąją galią – 10,74 kN turėjo trečiasis bandinys.

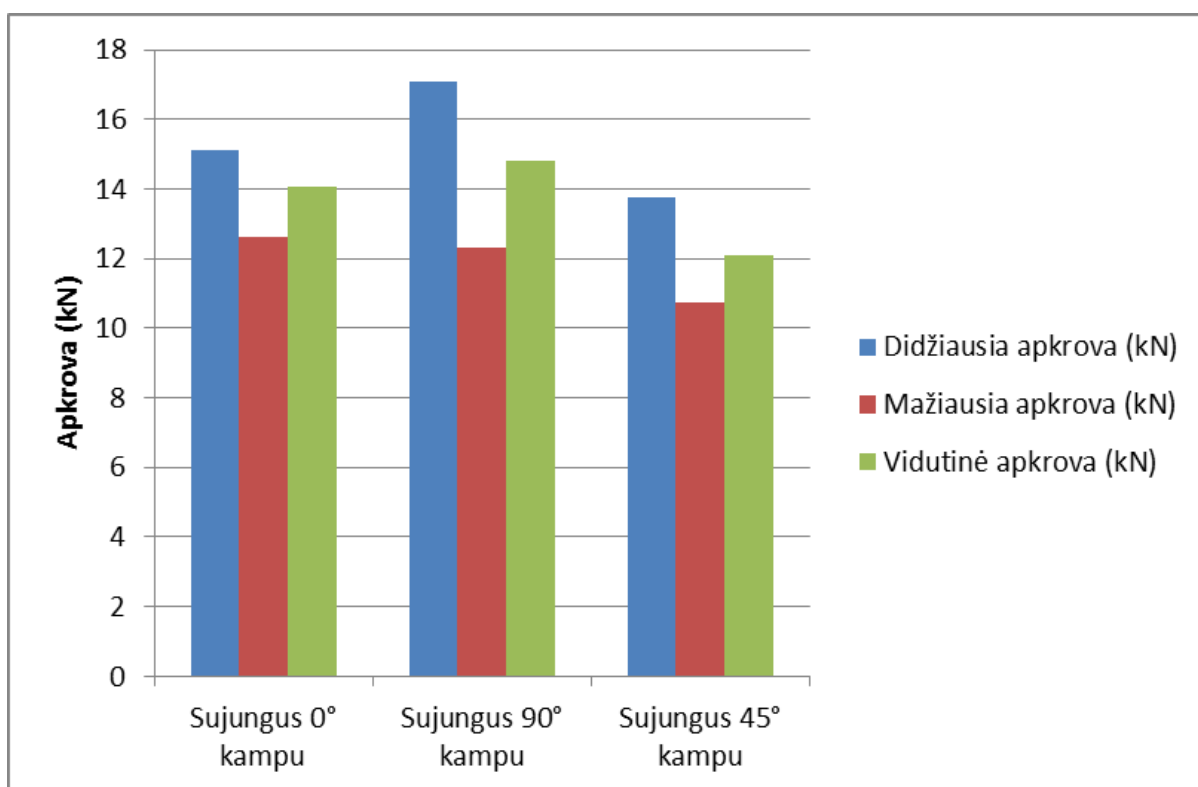
3.3.4. Eksperimento lenkiant rezultatų analizė

Atlikus eksperimentą su devyniais bandiniais su trimis skirtingais jungimo būdais rezultatai pateikti 6 lentelėje ir pavaizduoti 38 pav.

10 lentelė

Bandymo lenkiant rezultatų lentelė

Bandinys	Sujungus 0° kampu	Sujungus 90° kampu	Sujungus 45° kampu
Didžiausia apkrova (kN)	15,1	17,1	13,77
Mažiausia apkrova (kN)	12,6	12,3	10,74
Vidutinė apkrova (kN)	14,07	14,80	12,11



38 pav. Bandymo lenkiant rezultatų diagrama. Atlikus visus tris bandymus

Pasinaudojus 10 lentelės ir 9 diagramos duomenimis galima daryti išvadas, kad prasčiausias jungimo būdas yra 45° kampu. Jungiant 0° kampu ir 90° kampu didelio skirtumo nebuvo. Palyginus visus jungimo būdus su prasčiausiu jungimo būdu gauname, kad pasukus plokšteles 0° kampu rezultatai skiriasi 1,09 karto, 90° kampu 1,24 karto.

4. IŠVADOS

Atlikus eksperimentą sujungiant medinius elementus metalinėmis dygliuotomis plokštelėmis galima teigti, kad laikomoji galia priklauso nuo to, kokių kampų bus jungiamos plokštelės. Atlikti rezultatai parodė, kad :

1. Kerpant prasčiausias jungimo būdas yra 0° kampu, o geriausias jungimo būdas yra 45° kampu. (Jungimo kampai pavaizduoti 17 puslapyje 8 pav.). Palyginus visus jungimo būdus su prasčiausiu jungimo būdu gauname, kad pasukus plokšteles 45° kampu rezultatai skiriasi 1,54 karto, 90° kampu 1,29 karto, o 45° ir 135° kampu 1,48 karto.
2. Lenkiant prasčiausias jungimo būdas yra 45° kampu. Jungiant 0° kampu ir 90° kampu didelio skirtumo nebuvo. Palyginus visus jungimo būdus su prasčiausiu jungimo būdu gauname, kad pasukus plokšteles 0° kampu rezultatai skiriasi 1,09 karto, 90° kampu 1,24 karto.

Atliekant eksperimentą kerpant plokštelės simetriškumas neturėjo įtakos bandymo rezultatams.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. STR 2.05.07:2005 „Medinių konstrukcijų projektavimas“.
2. Nicolas Jacquier. (2016). Tests on glulam–CLT shear connections with double-sided punched metal plate fasteners and inclined screws. Luleå University of Technology Sweden.
3. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings.
4. Metalistas. Tvirtinimo detalės. Prieiga per internetą: <<http://www.metalistas.lt/lt.php/produktai/tvirtinimo-detales/ploksteles>> [žiūrėta 2016-10-29]
5. Roger Anneling, Honning Duwe. (1999). Factors affecting the anchorage capacity of punched nail plates in nordic spruce timber. 1-St rilem symposium on timber engineering. Sweden.
6. Z. W. Guan, D. J. Pope. (2016). Modeling of shear behaviour of punched metal plate timber fasteners. Liverpool.
7. Tinozivashe Zhou, Zhongwei Guan. (2010). Numerical modelling for sensitivity analysis of wood joints made with double – sided punched metal plate fasteners. United Kingdom, Liverpool.
8. Blass, H.J, Aune, P Choo, B.S., Görlacher, R, Griffiths, D.R, Hilson, B.O, Racher, P, and Steck, G. (1995). Timber Engineering STEP1. Centrum Hout, Netherlands. ISBN 90-5645-001-8.
9. H. Duwe. (1996). “Factors Affecting the Anchorage Capacity of Nail Plates in Nordic Spruce“. Swedish National Testing and Research Institute. Sweden.
10. P. Ellegaard. (2006). Finite-element modeling of timber joints with punched metal plate fasteners. Journal of Structural Engineering-ASCE.
11. V.G Kochkin, J.R Loferski. (2005). Modeling the nonlinear moment-rotation relationship of a nail plate connector. Wood and Fiber Science.
12. R.O Foschi. (1977). Analysis of wood diaphragms and trusses. Part II: Truss-plate connections. Canadian Journal of Civil Engineering.Canada.
13. R.W Wolfe D.C Stahl and S.M Cramer. (1996). Experimental assessment of wood trusses with square-end webs. Forest Products Laboratory, USDA, Madison W1, USA.
14. Constantini. (2004) .The effect of nail profile on the embedment strength and stiffness of timber. University of Brighton final year Project. School of the Environment.