

**Termiškai modifikuotos medienos eksploatacinių savybių tyrimas /Magistro projektas/
Autorius – S. Karpavičiūtė/ Vadovas – doc. dr. D. Albrektas/ Kauno technologijos universitetas,
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Medžiagų inžinerijos katedra. Kaunas, 2015 - 47
psl., 22 paveikslų, 21 lentelės.**

SANTRAUKA

Mokslinio darbo tikslas – išsiaiškinti termiškai modifikuotos ąžuolo medienos, klijuojant ją trimis skirtingomis klijų rūšimis (PVA D2, PVA D4, PU), eksploatacines savybes ir įvertinti sanklijos stiprį. Palyginimui, naudojami ąžuolo medienos bandiniai, kurie yra termiškai nemodifikuoti.

Tiriamasis objektas – pjautinės ąžuolo medienos bandiniai. Jiems tyrinėti buvo taikomi skirtingi kaitinimo režimai ir sukurta agresyvi aplinka.

Termiškai modifikuota mediena dėl estetinės išvaizdos ir stabilių matmenų idealiai tinka vidaus ir lauko apdailai, ypatingai pastatų apdailinimui, terasoms, balkonams, tvoroms ir pirtims. Termiškai modifikuoti medienos didelių matmenų sortimentus reikalingi daug didesni kaštai ir yra galimybė, kad tokiuose sortimentuose atsirastų daugiau defektų, pvz. gali atsirasti įskilimų. Dėl šios priežasties, galima kaitinti mažesnių gabaritų sortimentus ir juos klijuoti tarpusavyje. Kadangi termiškai modifikuota mediena yra hidrofobiška, labai svarbu parinkti tinkamus klijus, norint gauti patvarų gaminį.

Tyrimui atlikti buvo naudojami iš ąžuolo medienos išpjauti bandiniai, kurie buvo suskirstyti į 4 grupes, pagal ąžuolo medienos kaitinimo temperatūrą ir kiekviena grupė į 3 pogrupius, pagal naudojamą suklijavimui klijų rūšį. Termiškai apdorotos ir neapdorotos ąžuolo medienos bandiniai buvo suklijuoti. Sudarytos aplinkos pokyčių sąlygos, kuriose buvo laikomi bandiniai. Bandiniai buvo veikiami sudarytomis aplinkos pokyčių sąlygomis, 5 pasikartojančiais ciklais. Suklijavimo kokybė įvertinta statiniu metodu (pagal DIN EN 205 standartą) ir dinamiškai. Išmatavus sanklijos stiprį tyrimas buvo pakartotas, norint įvertinti tyrimo patikimumą. Taip pat, lygiagrečiai buvo padaryti tyrimai rezonansinių virpesių metodu.

Investigation of exploitation properties of thermally modified wood/Master's Thesis / Author – S. Karpavičiūtė / Supervisor – doc. dr. D. Albrektas / Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Kaunas, 2015 - 47 pages, 22 figures, 21 tables.

SUMMARY

The aim of master's theses – to find out exploitation properties of thermally modified oak wood, gluing it with three different glue species (PVA D2, PVA D4, PU) and estimate strength of the bond. For comprising oak wood samples are using which are not thermally modified.

The object of the investigation – oak sawn timber samples. To investigate these samples, they have been exploring with different heating modes and with developed an aggressive environment.

Thermally modified wood for aesthetic appearance and dimensional stability are ideal for indoor and outdoor decoration, especially for buildings plating, terraces, balconies, fences and saunas. To modify large assortments of wood thermally will cost more and it is possible that there will appear some defects, for example, such as cracks. For this reason, it is possible to heat the smaller size assortments and bonding them to each other. As the thermally modified wood is hydrophobic, it is very important to choose the right species of adhesive to obtain a stable product.

For the investigation were used specimens of oak sawn wood, which were divided into 4 groups according heating temperature and each group into 3 subgroups according to the type of adhesive used in bonding. Heat-treated and untreated oak wood samples were glued together. Was created environment conditions in which the samples were stored. Samples were subjected to negotiate of environmental change conditions, 5 recurring cycles. Next step was to determine the bond strength, with a method when samples are pulling along, according to the DIN EN 205 standard. Also, tests were made with resonant vibrations method.

TURINYS

| | |
|--|----|
| SANTRAUKA | 4 |
| SUMMARY | 5 |
| TURINYS | 6 |
| PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS | 7 |
| LENTELIŲ SĄRAŠAS | 8 |
| ĮVADAS | 9 |
| 1. LITERATŪROS APŽVALGA..... | 10 |
| 1.1 AŽUOLO MEDIENA | 10 |
| 1.2 TERMINIS MEDIENOS MODIFIKAVIMAS | 11 |
| 1.2.1 Terminis medienos modifikavimas “Thermowood” metodu | 13 |
| 1.2.2 Termiškai apdorotos medienos panaudojimas architektūroje | 15 |
| 1.2.3 Atmosferos poveikis termiškai modifikuotai medienai | 16 |
| 1.2.4 Termiškai apdorotos medienos tinkamumas klijavimui | 16 |
| 1.3 MEDIENOS PARUOŠIMAS KLIJAVIMUI | 17 |
| 1.3.1 Polivinilacetatinės dispersijos klijai | 18 |
| 1.3.2 Poliuretaniniai klijai | 20 |
| 1.4 DIN EN 205 STANDARTAS | 20 |
| 2. TYRIMŲ METODIKA IR ĮRANGA | 22 |
| 3. TYRIMO REZULTATAI..... | 26 |
| 3.1 STATINIO METODO TYRIMO REZULTATAI | 26 |
| 3.2 DINAMINIO METODO TYRIMO REZULTATAI | 28 |
| IŠVADOS | 32 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS | 33 |
| 1 PRIEDAS | 36 |
| 2 PRIEDAS | 38 |
| 3 PRIEDAS | 42 |

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

| | |
|--|----|
| Pav. 1. Ažuolo mikrostruktūros schema[1] | 10 |
| Pav. 2. Medienos terminio modifikavimo “Thermowood” metodo, kameros principinė schema[7].... | 14 |
| Pav. 3. Kaitinamos medienos ir oro temperatūrinė priklausomybė nuo laiko, [7]. | 14 |
| Pav. 4. Kaitinta mediena panaudota lauko terasose, [4]..... | 15 |
| Pav. 5. Kaitinta mediena panaudota fasado apdailoje, grindų danga ir pirties apdaila, [4]. | 15 |
| Pav. 6. Ilginis bandinys su storu klijų sluoksniu[6]. | 21 |
| Pav. 2.1. Laboratorinė kaitinimo kamera CH0JI-35.3,5.3,5/3M | 22 |
| Pav. 2.2. Spaudimo presas. | 23 |
| Pav. 2.3. Agresyvos aplinkos pokyčių sąlygos, kuriomis buvo veikiami ąžuolo medienos bandiniai. 23 | |
| Pav. 2.4. Tempimo įrenginys “P-0,5”. | 24 |
| Pav. 2.5. Medienos gaminių tyrimo stendas | 25 |
| Pav. 2.6. Bandinys ant tampriųjų elementų medienos gaminių tyrimo stende. | 25 |
| Pav. 3.1. Terminiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos tankis, kg/m^3 | 26 |
| Pav. 3.2. Terminiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos atsiklijavimas. | 27 |
| Pav. 3.3. Terminiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos sanklijos stiprio matavimas, vidut. jėgos priklausomybė nuo klijų rūšies ir medienos kaitinimo temperatūros, tyrimo rezultatų vidurkis. | 27 |
| Pav. 3.4. Terminiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos sanklijos stiprio matavimas, atplyšimo per medieną priklausomybė nuo klijų rūšies ir medienos kaitinimo temperatūros, vidutinių reikšmių įvertinimas, vidurkių rezultatai. | 28 |
| Pav. 3.5. Tampros modulio E_1 , E_2 ir E_3 priklausomybė nuo medienos kaitinimo temperatūros, klijuojant PVA D2 klijais. Čia E_1 , E_2 - bandinio atskirų elementų tampros moduliai ir E_3 – bandinio, kaip vieno kūno, tampros modulis. | 29 |
| Pav. 3.6. Tampros modulio E_1 , E_2 ir E_3 priklausomybė nuo medienos kaitinimo temperatūros, klijuojant PU klijais. | 30 |
| Pav. 3.7. Tampros modulio E_1 , E_2 ir E_3 priklausomybė nuo medienos kaitinimo temperatūros, klijuojant PVA D4 klijais. | 30 |
| P.3.1 Pav. Terminiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D2 klijais, bandinių rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo kaitinimo temperatūros | 45 |
| P.3.2 Pav. Terminiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PU klijais, bandinių rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo kaitinimo temperatūros. | 45 |
| P.3.3 Pav. Terminiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D4 klijais, bandinių rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo kaitinimo temperatūros: | 46 |

LENTELIŲ SĄRAŠAS

| | |
|---|----|
| 1.1 Lentelė. Ažuolo ankstyvosios ir vėlyvosios medienos savybės, [1]. | 11 |
| P.1.1 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, nekaitinti bandiniai. | 36 |
| P.1.2 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, kaitinti bandiniai prie 125°C temperatūros. | 36 |
| P.1.3 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, kaitinti bandiniai prie 170°C temperatūros. | 37 |
| P.1.4 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, kaitinti bandiniai prie 215°C temperatūros. | 37 |
| P.2.1 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D2 klėjais, sanklijos stiprio matavimo duomenys. | 38 |
| P.2.2 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių, suklijuotų PU klėjais, sanklijos stiprio matavimo duomenys. | 38 |
| P.2.3 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D4 klėjais, sanklijos stiprio matavimo duomenys. | 39 |
| P.2.4 Lentelė. Suklijuotų ažuolo medienos bandinių ₁ , vidutinės jėgos reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą. | 39 |
| P.2.5 Lentelė. Suklijuotų ažuolo medienos bandinių ₁ , vidut. atplyšimo per medieną % reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą. | 40 |
| P.2.6 Lentelė. Suklijuotų ažuolo medienos bandinių ₂ , vidutinės jėgos reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą. | 40 |
| P.2.7 Lentelė. Suklijuotų ažuolo medienos bandinių ₂ , vidut. atplyšimo per medieną % reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą, tyrimo rezultatai. | 40 |
| P.2.8 Lentelė. Suklijuotų ažuolo medienos bandinių, vidutinės jėgos ₁₊₂ reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą. | 41 |
| P.2.9 Lentelė. Suklijuotų ažuolo medienos bandinių ₁₊₂ , vidut. atplyšimo per medieną % reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą, tyrimų vidurkio rezultatai. | 41 |
| P.3.1 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ažuolo medienos, suklijuotos PVA D2 klėjais, bandinių parametrai (storis ir masė nesuklijuoto bandinio). | 42 |
| P.3.2 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ažuolo medienos, suklijuotos PU klėjais, bandinių parametrai (storis ir masė nesuklijuoto bandinio). | 42 |
| P.3.3 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ažuolo medienos, suklijuotos PVA D4 klėjais, bandinių parametrai (storis ir masė nesuklijuoto bandinio). | 43 |
| P.3.4 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ažuolo medienos, suklijuotos PVA D2 klėjais, bandinių parametrai. | 43 |
| P.3.5 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ažuolo medienos, suklijuotos PU klėjais, bandinių parametrai. | 44 |
| P.3.6 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ažuolo medienos, suklijuotos PVA D4 klėjais, bandinių parametrai. | 44 |

IVADAS

Termiškai modifikuotos medienos didelių matmenų sortimentus kaitinti, reikalingi daug didesni kaštai ir yra galimybė, kad tokiuose sortimentuose atsirastų daugiau defektų, pvz. gali atsirasti įskilimai. Dėl šios priežasties, galima kaitinti mažesnių matmenų sortimentus ir juos klijuoti tarpusavyje.

Darbo tikslas – išsiaiškinti termiškai modifikuotos ąžuolo medienos eksploatacines savybes, klijuojant ją trimis skirtingomis klijų rūšimis (PVA D2, PVA D4, PU) ir įvertinti sanklijos stiprį. Palyginimui, naudojami ąžuolo medienos bandiniai, kurie yra termiškai nemodifikuoti.

Šiame darbe sprendžiami tokie uždaviniai:

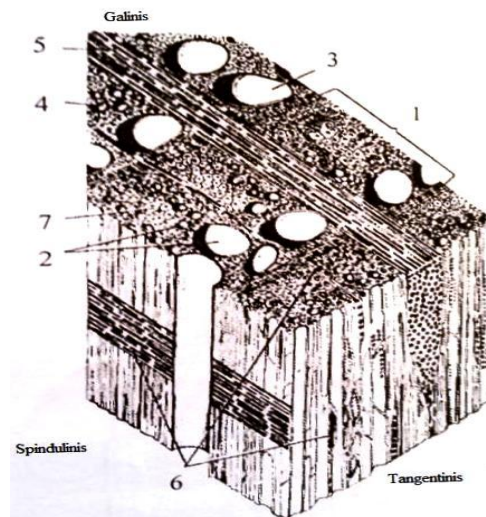
- a) Literatūros apžvalga, tyrimų aprašymas ir rezultatų analizavimas;
- b) ąžuolo medienos bandinių kaitinimas. Bandiniai suskirstyti į 4 grupes, pagal kaitinimo temperatūrą (125°C, 170°C, 215°C, nekaitinta mediena), kaitinimo trukmė 3 val.;
- c) ąžuolo medienos bandinių klijavimas. Kiekviena grupė suskirstyta į 3 pogrupius, pagal naudojamą suklijavimui klijų rūšį (PVA D 2 klijai, PVA D4 klijai, PU klijai);
- d) Sudarytos agresyvios aplinkos pokyčių sąlygos, kuriose laikomi suklijuoti kaitinto ir nekaitinto ąžuolo medienos bandiniai, pasikartojančiais penkiais ciklais;
- e) Sanklijos stiprio matavimas, ąžuolo medienos bandinius tempiant išilgai;
- f) Bandinių tampros modulio nustatymas rezonansinių virpesių metodu ir sanklijos kokybės įvertinimas;
- g) Rezultatų analizė ir išvadų sudarymas.

Nustatyta, kad kuo aukštesnėje temperatūroje buvo kaitinami medienos bandiniai, tuo klijų absorbcija, kartu ir sanklijos stipris, buvo prastesni.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 AŽUOLO MEDIENA

Ažuolas priskiriamas lapuočių grupei. Mediena yra branduolinė, šerdies spinduliai yra platūs, balana – siaura, gelsvos spalvos, o branduolio spalva nuo šviesiai rudos iki tamsiai rudos spalvos. Ažuolo metinės rievės yra gerai matomos visose pjūviuose. Jeigu rievės yra smulkesnės, ažuolo mediena bus minkštesnė ir lengvesnė, tokia mediena vartojama dažniausiai drožto lukšto, parketo ir baldų gamybai. Jeigu rievės yra stambesnės – tai ažuolo mediena yra kietesnė ir sunkesnė. Tokia mediena pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis ir dažniausiai naudojama didelių statinių gamyboje.



Pav. 1. Ažuolo mikrostruktūros schema:

1 – rievė, 2 – indai, 3 – stambus indas ankstyvojoje medienoje, 4 – smulkus indas, 5 – platus šerdies spindulys, 6 – siauras šerdies spindulys, 7 – libriforminis plaušas, [1].

Ažuolo medienos mikrostruktūra sudaryta iš tokių audinių: indai, tracheidės, libriforminis plaušas, šerdies spinduliai ir vertikaloji parenchima (1 pav.). Indai yra plonasieniai elementai, sudaryti iš narelių, kuo jų daugiau, tuo mediena puresnė. Ažuolo ankstyvojoje medienoje stambūs indai sudaro žiedą ir aiškiai atskiria ankstyvąją medieną nuo vėlyvosios. 1.2 lentelėje yra pateiktos ažuolo ankstyvosios ir vėlyvosios medienos savybės. Tracheidės yra sudarytos iš indinių ir plaušinių tracheidžių. Indinė tracheidė yra tarpinė forma tarp tracheidės ir indo narelio. Plaušinė tracheidė turi apvauduotą porą ir jos sienelės yra plonesnės nei libriforminio plaušo tracheidžių. Pagrindinė lapuočių sudedamoji dalis yra libriforminis plaušas, jo sienelės visada būna sumedėjusios. Šerdies spinduliai sudaryti tik iš parenchiminio ląstelių ir pagal plotį skirstomi į vienaeilius ir daugeeilius

(ąžuolas). Ažuolo šerdies spinduliai sudaryti iš 30 eilių. Lapuočiai maisto atsargas kaupia vertikalojoje parenchimoje – tai vertikali parenchiminių ląstelių sistema.

Ažuolas per 150 – 200 metų užauga iki 30 - 40 m aukščio ir 1.5 – 2 m skersmens. Dažniausiai ąžuolas kertamas 120 – 160 m. amžiaus.

1.1 Lentelė. Ažuolo ankstyvosios ir vėlyvosios medienos savybės, [1].

| | Ankstyvoji mediena | Vėlyvoji mediena |
|--|---------------------------|-------------------------|
| Visiškai sausos medienos tankis, g/cm³ | 0.5 | 0.72 |
| f tempiant išilgai pluošto, Mpa | 66 | 150 |
| f lenkiant, Mpa | 70 | 180 |

1.2 TERMINIS MEDIENOS MODIFIKAVIMAS

Termomediena yra karščiu (150-260°C) ir garais apdorota mediena. Terminis medienos modifikavimas negrįžtamai paveikia jos savybes – ji tampa itin patvaria, pagerėja matmenų stabilumas ir termoizoliacija. Tokia mediena beveik nesitraukia ir nesikraipo, ilgiau išlaiko naujumo įspūdį, [2].

Dėl puikios estetiškos išvaizdos ir stabilių matmenų šie gaminiai idealiai tinka tiek vidaus, tiek lauko apdailai. Kadangi terminis medienos apdorojimas vykdomas be jokių cheminių priemonių, tokia mediena yra nekenksminga žmogui ir aplinkai. Terminiškai modifikuota mediena atlaiko didelius temperatūros ir drėgmės pokyčius, todėl tinka pastatų apkalimui, terasoms, balkonams, tvoroms ir pirtims.

Terminio apdorojimo sąlygojami pokyčiai:

1. Suskaidoma hemiceliuliozė, todėl medienoje nebelieka medžiagų, kuriomis maitinasi puviną sukeltantys grybai;
2. Medienos drėgmė sumažėja iki 4-6%, mediena tampa hidrofobiška, todėl žymiai pagerėja matmenų stabilumas ir termoizoliacinės savybės (+25%);
3. Nelieta jokių kenksmingų medžiagų (pvz., formaldehido), todėl termomediena yra ekologiška ir tinkama tiek vidaus, tiek lauko apdailai;
4. Sunaikinamos visos bakterijos, [3].

Mediena termiškai apdorojama tokiais etapais:

1. Mediena džiovinama;
2. Medienos apdorojama karščiu;
3. Mediena sudrėkinama ir atvėsinama, [3].

Visam procesui skiriamas didelis dėmesys, jog karščiu apdorota mediena būtų vienodos kokybės. Svarbiausias šiame procese – medienos kaitinimas, kuomet pasiekama medienos degimo temperatūra ir iš jos yra išgarinamas vanduo.

Termiškai apdorota gali būti bet kuri medienos rūšis. Tai reiškia, jog Lietuvos mediena gali tapti lygiavertė importuojamai kietajai medienai, netgi išvaizdos savybėmis, ir išsaugoti brangią ir nykstančią tropinę kietąją medieną. Taigi, terminis apdorojimas taip pat prisideda prie gamtos resursų išsaugojimo. [3]

Termiškai modikuojama mediena tik ta, kuri yra aukščiausios kokybės, kitaip, esant pažeidimams, pvz. šakoms, esant pelėsiui ar grybui, kaitinimo metu mediena gali įskilti ar nusidažyti spalvinėmis dėmėmis.

Kaitintos medienos kokybę priklauso taip pat ir nuo metinių rėvių krypties sortimente. Metinių rėvių kryptis su sortimento paviršiumi turi sudaryti 45° kampą, kitaip rievės supleišės.

Medienos terminio apdirbimo privalumai ir trūkumai

Ilgamžiškumas. Terminiu būdu modifikuotoje medienoje suardoma hemiceliuliozė, todėl medienoje nelieka medžiagų, kuriomis maitinasi puvinimą sukeltantys grybeliai ir bakterijos. Taip pat, ji tampa atspari vabalams, pvz. ūsuočiams, kirvarpoms ir kitiems medgraužiams. Terminiu būdu apdorotos medienos gaminiai, kaip dailylentės, lauko sąlygomis, tarnauja daugiau nei 30 metų, o terasinės lentos – apie 15 - 20 metų.

Ekologiškumas. Apdorojimo procese nenaudojami jokie cheminiai priedai. Medienos savybes pagerina tiksliai kontroliuojamas karštis ir garai, kaitinimo metu.

Stabilumas. Medienos, apdorotos terminiu būdu, matmenys išlieka stabilūs. Terminis apdorojimas sutraukia medienos poras, jos beveik nebesugeria vandens, todėl akivaizdžiai sumažėja galimybė matmenų pokyčiams.

Estetinė išvaizda. Termiškai apdorotos medienos spalva pakinta per visą sortimento tūrį. Kuo aukštesnė apdorojimo temperatūra, tuo tamsesnė spalva. Medienoje išlieka tik natūralaus medžio spalviniai netolygumai, tokie kaip šakų žymės ir rievės. Tačiau mediena veikiama tiesioginių

ultravioletinių spindulių, pakeičia spalvą į pilkšvai sidabrinį atspalvį, todėl būtina tokią medieną padengti apsauginiu sluoksniu.

Medienos tankis. Esant 6% medienos drėgmei, kai santykinė oro drėgmė siekia 65%, oro temperatūra 20°C, termiškai apdorotos medienos tankis maždaug 10% mažesnis nei neapdorotos medienos.

Patvarumas. Prikalus vinimis termiškai modifikuotą medieną, ji laikosi taip pat tvirtai kaip neapdorota mediena, bet pritvirtinus varžtais, priveržimo stiprumas yra maždaug 20% mažesnis.

Termoizoliacija. Termiškai apdorota mediena praleidžia 20 - 25% mažiau šilumos, lyginant su neapdorota mediena.

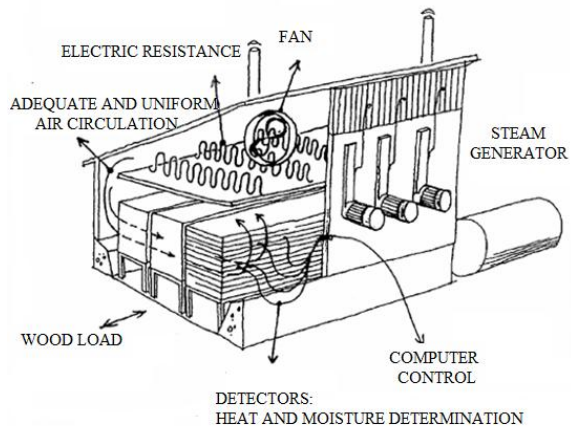
Atsparumas ugniai. Pagal Europos Komisijos (2000/147/EC) nustatytą klasifikaciją, termiškai modifikuota mediena priskiriama D-s2-d0 degumo klasei. Tokią medieną galima padengti ugniai atspariomis medžiagomis ir pasiekti B degumo klasę.

Plastinės savybės. Prie aukštesnių temperatūrų apdorota mediena, praranda plastiškumą ir tampa trapesne, todėl iš jos nerekomenduojama statyti apkrovas patiriančių konstrukcijų, nebent papildomai jas sutvirtinant, [2].

1.2.1 Terminis medienos modifikavimas „Thermowood” metodu

Medienos terminis modifikavimas „Thermowood“ metodu, atliekamas medieną kaitinant atmosferiniu slėgiu vandens garų aplinkoje. Taip termiškai modifikuojama mediena be jokių cheminių priedų.

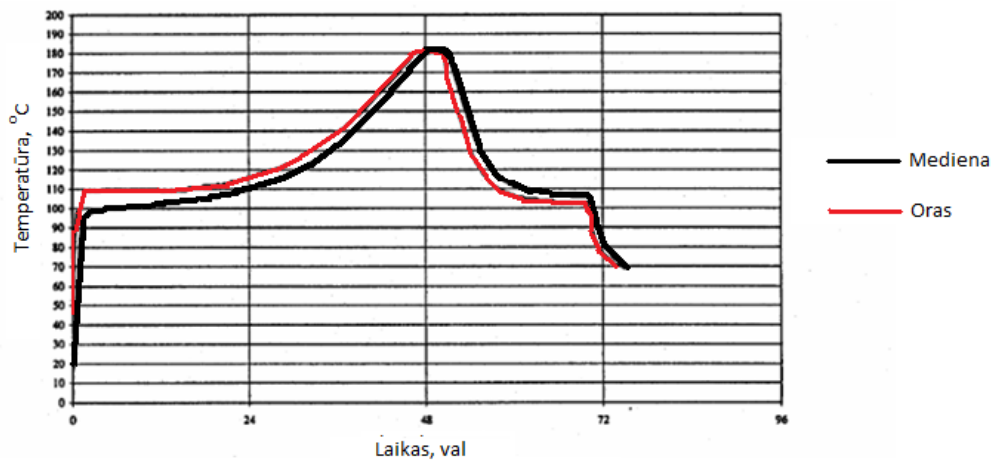
Kaitinimo kamerą sudaro oro kaitinimo tenai, ventiliatorius, kuris cirkuliuoja orą 10 m/s greičiu, garo generatorius, kuris vandens garais apsaugo medienos paviršių nuo apdegimų, drėgnio ir temperatūros davikliai (pav. 2). Medienos apdirbimo kokybė priklauso nuo kameroje esančių garų kiekio, jų turi būti apie 3 - 5 % visos kameros tūrio.



Pav. 2. Medienos terminio modifikavimo “Thermowood” metodo, kameros principinė schema, kurią sudaro: medienos pakrovimo talpykla, oro kaitinimo tenai, ventiliatorius, garo generatorius, valdymo pultelis, temperatūros ir drėgnio matavimo davikliai, [7].

Kaitinimo procesas vyksta trimis etapais (pav. 3):

1. Medienos kaitinimas 48 val.:
 - 1.1. mediena laikoma 100°C temperatūroje;
 - 1.2. temperatūra keliama iki 150°C;
2. Medienos kaitinimas 150-240°C temperatūroje, išlaikant nuo 0,5 iki 4 val.;
3. Medienos aušinimas, trunkantis 24 val..



Pav. 3. Kaitinamos medienos ir oro temperatūrinė priklausomybė nuo laiko, [7].

1.2.2 Terminiškai apdorotos medienos panaudojimas architektūroje

Architektūroje, ypačiai skandinavijoje, termiškai modifikuota mediena vis dažniau naudojama fasadų apdailai ir lauko terasoms. Jau nuo seno yra žinomi kaitintos medienos privalumai, todėl tokia mediena buvo naudojama lauko statiniams. Terminiškai apdorotą medieną galima naudoti tiek lauke, tiek drėgnose patalpose, be papildomo impregnavimo.

Mediena, apdorota vidutine kaitinimo temperatūra, įgauna nuo šviesiai iki vidutiniškai rudos spalvą, kuri išryškina natūralų medienos struktūros grožį. Tokia mediena yra tinkama vidaus apdailai, pvz., grindims ir dailylentėms. Norint kaitintą medieną naudoti pastatų išorės apdailai, mediena turėtų būti kaitinama aukštesnėje temperatūroje, prie intensyvesnių režimų. Tokia mediena dažniausiai yra naudojama terasinėms lentoms, lauko dailylentėms ir masyvo grindims. Dėl termoizoliacinių savybių, kaitinta mediena puikiai tinka šildomoms grindims. Priklausomai nuo medienos rūšies ir apdorojimo būdo, medienos spalva gali būti nuo vidutiniškai rudos iki prabangiai tamsios rudos spalvos.



Pav. 4. Kaitinta mediena panaudota lauko terasose, [4].

Dažnai termiškai modifikuotos medienos gaminiams suteikiama 25 metų rašytinė garantija, pvz. uosio lentoms. Dėl daugelio išvardintų savybių ši mediena sulaukia didelio populiarumo pasaulyje ir tampa alternatyva tropiniam kietmedžiui.



Pav. 5. Kaitinta mediena panaudota fasado apdailoje, grindų danga ir pirties apdaila, [4].

Terasos lentų patvarumas buvo pasiektas, medieną kaitinant intensyviu režimu. Terasos lentos gali būti skirtingų matmenų ir profilių, su galimybe pritaikyti matomas ir nepastebimas priveržimo ir fiksavimo sistemas.

Fasado apdailos elementai, pagaminti iš termiškai apdoroto uosio medienos, rombo profilio dailylenčių, sukuria nepaprastai gražų vaizdą ir šie elementai gali būti naudojami išorės fasadų apdailai, tvoroms, pergolėms ir t.t...

Medžio masyvo grindims gaminti naudojami du medienos apdorojimo režimai. Intensyvus terminis medienos apdorojimas, skirtas grindims, pasižymi matmenų ir formos stabilumu. Tokios grindys gali būti montuojamos su grindinio šildymo sistemomis. Grindys, kurios yra vidutinio terminio apdorojimo, yra tinkamos vidaus apdailai, tačiau spalvinė jų gama yra šviesių, auksinių tonų, [4].

1.2.3 Atmosferos poveikis termiškai modifikuotai medienai

Veikiant neapdorotą medieną sudarytomis aplinkos pokyčių sąlygomis, priklausomai nuo medienos rūšies, tamprumo modulis lenkiant paprastai, sumažėja, o termiškai apdorotos medienos tamprumo modulis padidėja.

Eksploatuojant termiškai apdorotą medieną lauko sąlygomis, medienos sortimento spalva nepakitus išlieka ilgiau nei neapdorotos medienos, paviršiai išlieka glotnesni ir mediena yra atsparesnė aplinkos poveikiui, lyginant su neapdorota mediena. Pagal atliktus tyrimus, nustatyta, kad termiškai apdorota mediena maksimaliai praranda stiprumą, ją veikiant dirbtine atmosfera, po 1600 h.

Termiškai apdorotos lapuočių medienos, veikiamos aplinkos pokyčių sąlygomis, mechaninės savybės išlieka geresnės, lyginant su spygliuočių mediena. Taip pat atliktais tyrimais buvo nustatyta, jog termiškai apdorota mediena nėra pilnai apsaugota nuo aplinkos poveikio padarinių, [8].

1.2.4 Termiškai apdorotos medienos tinkamumas klįjavimui

Termiškai modifikuota mediena lėtai absorbuoja vandenį ir vandens pagrindu pagamintus klįjus, tokius kaip PVAc. Todėl klįjuojant termiškai apdorotą medieną, sortimentus reikia suspaustus palaikyti daug ilgiau, nei klįjuojant neapdorotą medieną. Labiausiai tinkamos klįjų rūšys termiškai apdorotai medienai yra rezorcinolio-fenolis, poliuretaliniai klįjai, ir kiti dvi-komponenčiai klįjai, [9].

Medienos paviršius tampa hidrofobiškas ir klįjų bei lakų absorbcija yra daug lėtesnė, nei neapdorotos medienos, kai ji yra termiškai modifikuota prie 200°C. Mokslininkas Pincelli (2002)

atliko termiškai apdorotos medienos klijavimo tyrimus prie 120°C ir 180°C, klijuojant ją trimis klijų rūšimis: rezorcinolio-fenolio-formaldehidu, modifikuotu polivinilacetatu ir karbamido formaldehidu. Didelių skirtumų tarp modifikuotos ir nemonifikuotos medienos klijavimo nepastebėjo, neskaitant šlyties įtempių. Klijų siūlė atlaikė, todėl šie aukščiau išvardinti klijai puikiai tinka termiškai apdorotai medienai. Mokslininkas Bengtssonas 2003 m. atliko tyrimus su PRF ir PVAc klijais, jo gauti rezultatai parodė, jog PRF sanklijos kokybė buvo gera, tačiau PVAc yra netinkami klijuoti termiškai modifikuotą medieną. Mokslininkas Sernekas 2008 metais tyrimus tęsė su šiomis klijų rūšimis: MUF, PRF ir PU. Jo atlikti tyrimai parodė, kad PU ir MUF klijai yra labiau tinkami klijuoti termiškai apdorotą medieną, negu PRF, [10].

1.3 MEDIENOS PARUOŠIMAS KLIJAVIMUI

Adhezija yra tokia būklė, kurios metu du paviršiai laikomi kartu sulipę tarpusavyje veikiančių jėgų dėka, kurios gali būti valentinė jėga, sukibimas arba abu kartu. Adhezyvas yra sluoksnis, laikantis kitą sluoksnį rišamąja medžiaga. Mechaninis sukibimas yra pagrindinis reiškinys, kurio dėka rišamosios medžiagos prikimba prie porėtų struktūrų, tokių kaip mediena. Efektyvus mechaninis sukibimas yra tada, kai rišamoji medžiaga prasiskverbia per paviršiaus nelygumus ir pažeistus plaušus į sveiką medieną dviejų – šešių ląstelių gylyje, [5].

Klijuojant medieną, klijai suteka į ląstelių ertmes, taip suformuojant artimesnį kontaktą su medienos paviršiumi. Prastas paviršių sukibimas gaunamas tada, kai klijai neįsiskverbia į medienos paviršių. Taip pat, prastas sukibimas gali būti ir dėl kietmedžių ir ąžuolo rūšių turimų ekstrahuojamųjų medžiagų, kurios trukdo cheminiam rišamųjų medžiagų prikibimui, [5].

Mediena klijavimui turi būti paruošta prieš 24 val. prieš klijavimą. Nuo klijuojamo paviršiaus turi būti pašalinti visi nešvarumai ar medžiagos, turinčios įtakos klijavimo efektyvumui.

Sunkumų klijuojant kelia ir medienos tankis, nes kuo medienos tankis didesnis, tuo mediena sunkiau klijuoti. Didelio tankio medienoje, kaip kad ąžuole, yra daug tanidinių medžiagų, kurios taip pat apsunkina klijavimo procesą. Pagal medienos rūšies gebėjimą klijuotis, ąžuolo mediena priskiriama kategorijai, kuri klijuojasi patenkinamai su geros kokybės rišamosiomis medžiagomis gerai kontroliuojant klijavimo sąlygas. Kadangi ąžuolo medienos indai išsidėstę žiedu, tai rišamosios medžiagos gali sukelti perteklinį srautą ir per didelį įsiskverbimą. Rišamosios medžiagos turi būti specialiai naudojamos pagal medienos rūšį ar tam tikras savybes, kitaip klijavimo kokybė bus prasta.

Medienos sanklija vertinama trijuose lygmenyse: makroskopiniame, mikrometriniame ir nanometriniame. Makroskopiniame lygmenyje išnagrinėjami atsiklijavimo procesai, kokie įtempiai juos veikė, išnagrinėjami įtrūkimai, atsisluoksniavimai ir atliekamas įvertinimas vizualiai. Mikrometriniame lygmenyje yra vertinamas sienelių drėkinimas ir sanklijos zonų susilpnėjimas, klijų su mediena sandūros viduje. Nanometriniame lygmenyje analizuojamas klijų skverbimasis į ląstelių sieneles, [5].

1.3.1 Polivinilacetatinės dispersijos klijai

Polivinilacetatinės dispersijos klijai yra naudojami medienos apdirbimo pramonėje klijuoti dyginius junginius, surenkant medienos detales ir gaminius, klijuojant tašelius ir panašiai.

PVA dispersijos klijai yra baltos spalvos ir turi silpną acto kvapą. Klijuojant PVA dispersijos klėjais, klėjavimo metu iš dispersijos pašalinamas skystis ir polimero detalės suartėja, sulimpa ir susilieja į vientisą skaidrią plėvelę.

PVA dispersijos klėjais klijuotų siūlių stiprumas priklauso nuo plastifikatoriaus kiekio dispersijoje, klėjavimo temperatūros, drėgmės poveikio. Plastifikatorius dispersijoje užtikrina klijų siūlės homogeniškumą, elastingumą, adheziją ir atsparumą drėgmei.

PVA dispersijos klėjai yra neatsparūs drėgmei, todėl yra netinkami klijuoti gaminius, kurie veikiami drėgmės. PVA D2 klasės klijų klijuotas sujungimas išlieka kokybiškas esant trumpalaikiam pratekančio vandens arba vandens garų poveikiui ir trumpalaikiai didelei oro drėgmei, kurios poveikyje medienos drėgmė padidėja ne daugiau kaip 18%. D4 klasės klėjams taikomi dar griežtesni reikalavimai nei D2 klėjai. Tokiais klėjais suklijuotos medienos sujungimas turi išlikti kokybiškas esant dažnam stipriam pratekančio vandens arba vandens garų poveikiui, tačiau reikalinga papildoma apsauga: dažymas, lakavimas ir panašiai, [5].

Vieni daugiausiai Lietuvos rinkoje naudojamų PVA D2 klijų yra „Traelim D2 Inde 490“ (Dana Lim, Suomija) klėjai. Tai - universalūs klėjai medienai vidaus darbams. Medienos klėjai „D2 490“ - greitai stingstantys ir stiprūs PVAc klėjai medienai universaliam naudojimui patalpų viduje. Naudojami medienos ir baldų pramonėje surinkimo, masyvo klėjavimo, faneravimo darbams. Naudojami spaudžiant šaltu arba karštu būdu, taip pat aukšto dažnio presu. Klėjai „D2 490“ atitinka D2 klasės reikalavimus pagal EN 204/205 standartą. Klėjai atsparūs trumpalaikiam vandens poveikiui. Klėjai užtikrina stiprią ir elastingą jungtį. Cheminė sudėtis: PVAc dispersija. Naudojimo būdas: klijuojami paviršiai turi būti sausi ir švarūs, dulkės pašalintos. Geriausi rezultatai gaunami, klijuojant šviežiai apdirbtą medieną. Klijuojant kietmedį, reikia sutepti, klijuojamų sortimentų, abu paviršius ir suspausti

ne vėliau kaip per 5 min. Detales suspaustas reikia laikyti ne mažiau nei 15 min. Pilnas siūlės stiprumas gaunamas po 1 paros.

AB „Achema“ gamina PVA kljus. Vienas iš jų yra „Lipalas D4“, kuris atitinka D4 medienos kljų klasę (LST EN 204/205 standartai). Tai dvikomponenčiai, drėgmei atsparūs kljai (modifikuota dispersija „MD - G“ ir kietiklis „K - 17“), kuriais suklijuoti gaminiai gali būti eksploatuojami drėgnose patalpose bei lauke. Kljai naudojami baldų, durų, langų, laiptų, balkonų, terasų, parketo, laminuotų ar drožlių plokščių, grindų, dyginių ir kaištinių sujungimų, minkštų ir kietų medienos rūšių, masyvų bei kitų medienos gaminių eksploatuojamų lauke kljavimui.

Kljų "Lipalas D4" bandymus atliko KTU medienos mechaninės technikos katedra ir pateikė teigiamus produkto įvertinimus pagal visus D4 klasės medienos kljų techninius parametrus. "Baldų sertifikavimo centras" išdavė šiems kljams kokybės pažymėjimą (Nr. 055).

Kljų siūlės savybės: kljai "Lipalas D4" atitinka LST EN 204/205 standarto D4 klasei keliamus reikalavimus. Kljų siūlė bespalvė.

Naudojimo nurodymai: kljų kompoziciją sudaro du atskirai gaminami ir pakuojami komponentai: modifikuota dispersija „MD - G“ ir kietiklis „K - 17“. Prieš vartojimą kljai paruošiami sumaišius modifikuotą dispersiją su kietikliu santykiu 100:5 (svorio dalys). 1 pakuotei dispersijos reikia 1 pakuotės kietiklio. Kljuojamos medienos paviršiai turi būti nušlifuoti ir be riebalų dėmių. Kljuojant kietmedžių medieną ar sunkiai besiklijuojančias medienos rūšis, kljus reikia tepti ant abiejų paviršių. Kljai nekeičia medienos spalvos, tačiau dirbant su daug taninų turinčiomis medienos rūšimis (ąžuolu, uosiu ir kt.), rekomenduojama atlikti bandomuosius kljavimus. Kljai tepami kljų tepimo mašina, rankiniu voleliu, dantytu glaistytuvu, teptuku arba kitais įrankiais. Kljavimo priemonės, tepimo mašinos, tara iškart po darbo lengvai išplaunami vandeniu. Sudžiūvusius kljus tirpinti acetonu, etilo alkoholiu ar panašiais tirpikliais.

Presavimo temperatūra: 20 - 70 °C. Atviro išlaikymo trukmė: ne daugiau 8 min. Uždaro išlaikymo trukmė: ne daugiau 12 min. Medienos drėgmė: 5 - 15 %. Presavimo trukmė: 5 - 30 min., esant 0,3 - 1,0 MPa slėgiui. Kljų sąnaudos: 120 - 200 g/m² tepant ant vieno paviršiaus. Kljuojant kietmedžio medieną ar sunkiai susiklijuojančias medienos rūšis, reikia tepti ant abiejų paviršių. Sandėliavimas: kljai ir kietiklis laikomi sandariai uždarytoje taroje, esant ne žemesnei nei 0°C ir ne aukštesnei nei 30°C temperatūrai.

1.3.2 Poliuretaniniai klijai

Poliuretaniniai klijai naudojami įvairių medžiagų klijavimui, kaip: metalų, plastmasių, sintetinių kaučiukų, medienos ir kt. Pagal būvį, šie klijai skirstomi į 2 grupes:

1. skystų ir klampiųjų klijų pavidalo;
2. lydomųjų klijų pavidalo.

Pirmos grupės klijai gali būti vienkomenčiai arba dvikomenčiai. Vienkomenčiai PU klijai kietėja dėl laisvų izocianatinių grupių reakcijos su vandens molekulėmis, taip sudarydami karbamidinius tiltelius. Taigi, kuo drėgnesnis pagrindas, tuo tvirtesnis sujungimas gaunamas.

Tokie klijai gali klijuoti šlapią ar higroskopiškumo ribą viršijančią medieną. Lietuvoje daugiausiai naudojami laikančių medinių konstrukcijų – sijų gamyboje. Didesniam drėgmės atsparumui gauti į klijus yra įvedami kietikliai – ddvikomenčiai klijai, [5].

Šiame tyrime naudojami klijai „PUR 501“ (Kleiberit, Vokietija) - kietėjantys nuo aplinkos drėgmės, universalūs poliuretaniniai klijai, ypatingai atsparūs drėgmei ir temperatūros poveikiui. Poliuretaniniai klijai ypatingai atsparūs drėgmei ir temperatūros poveikiui. Suklijavimo apkrovų grupė atitinka D4 (EN 204 standartas) klasę, atsparumas temperatūrai pagal WATT91. Panaudojimas: Medienos, langų ir durų kljavimas; statybinių mineralinių medžiagų kljavimas; keramikos, kietų putų polistirolo plokščių kljavimas; įvairių plastmasių, skardos, metalų ir kitų medžiagų kljavimas; OSB ir kitų plokščių kljavimas prie betoninio pagrindo. Privalumai: universalus ir nesudėtingas naudojimas; klijai vieno komponento (galimas atviras išlaikymas iki 30min); kietėdami truputį plečiasi, tuo užtikrindami geresnį kontaktą klijuojant nelygius paviršius.

1.4 DIN EN 205 STANDARTAS

DIN EN 205 standartas aprašo klijų, skirtų medienai ir medienos gaminiams, išskyrus atsparumą įvairiems fizikiniams veiksniams, bandymus. Šis standarto metodas įvertina klijų, skirtų medienai ir medienos gaminiams, tinkamumą ir kokybę bei atsparumą suklijavimui, [6].

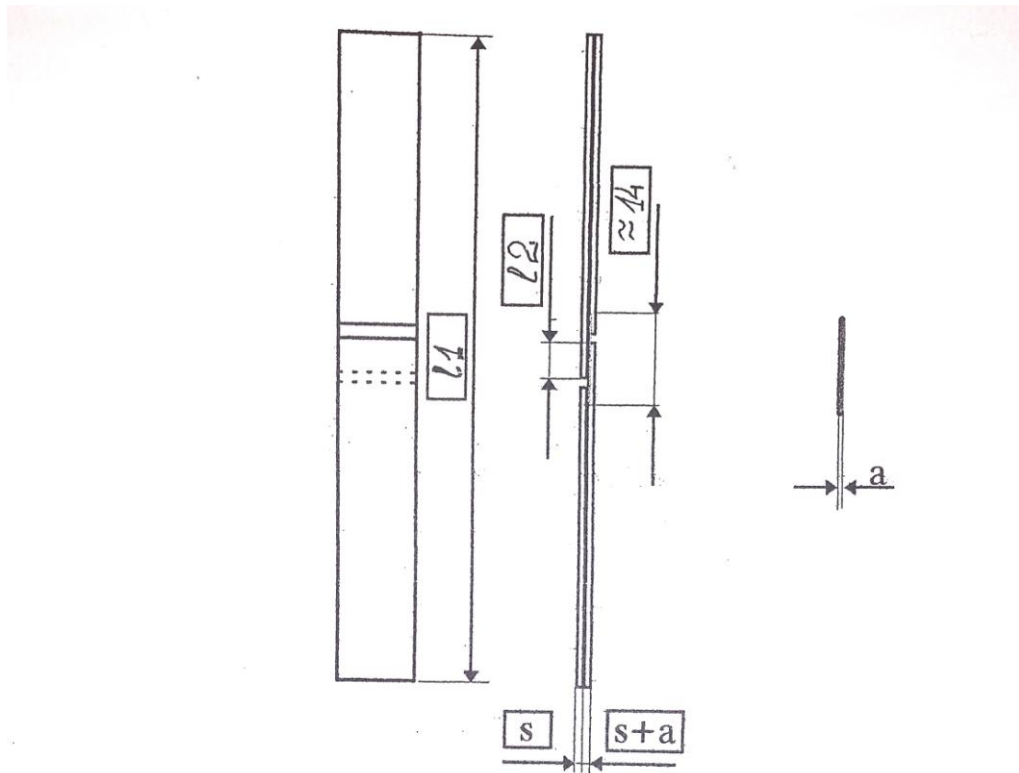
Atliekant tyrimą buvo laikomasi DIN EN 205 standarte nustatyta tyrimui atlikti reikalinga eiga.

6 pav. pateikta bandinių suklijavimo schema, kuri reikalinga išmatuoti ir įvertinti sanklijos stipriui, [6].

Pagal DIN EN 205 standartą bandiniai paruošiami kaip pateikta 6 pav. Bandinių storis 20 mm ir ilgis $l_1=150$ mm. Įpjovimai turi būti simetriški ir riboti bandomojo paviršiaus ilgį $l_2=10$ mm. Darant

įpjovas, reikia stebėti, kad jos visai neperskirtų bandinių suklijavimo sluoksnio. Pagaminti bandiniai laikomi įvairiomis sąlygomis.

Atsparumo tempimui bandymas atliekamas tokia seka: bandinio galai įtvirtinami tempimo įrenginio gnybtuose ir bandinys apkraunamas iki suirimo. Nustatoma didžiausia jėga F . Bandiniai bandomi įrenginiu, esant greičiui apie 50 mm/min, [6].



Pav. 6. Ilginis bandinys su storu klijų sluoksniu, čia l_1 - bandinio ilgis, mm; l_2 – bandomojo paviršiaus ilgis, mm; s – bandinio storis, mm, a – sanklijos storis, mm, $s+a$ – bandinio ir sanklijos storis, mm, [6].

2. TYRIMŲ METODIKA IR ĮRANGA

Tyrimui atlikti buvo naudojami 260 vnt. bandinių, išpjautų iš ąžuolo medienos, kurių matmenys buvo 300×30×10 mm. Bandiniai buvo laikomi 7 dienas klimatinėje kameroje, kurioje temperatūra 27-28°C ir drėgnis 55 ± 5 %. Po džiovinimo ąžuolo medienos bandinių drėgnis buvo 8.0 – 8.5 %.

Po džiovinimo proceso bandiniai buvo suskirstyti į 4 grupes (1, 2, 3, 4) po 65 vnt. Pirmos grupės bandiniai buvo nekaitinti, 2 – mediena kaitinta 125°C temperatūroje, 3 – mediena kaitinta 170°C temperatūroje, 4 – mediena kaitinta 215°C temperatūroje. Kaitinimo trukmė 3 val.. Kaitinta laboratorinėje kaitinimo kameroje *CH0JI-35.3,5.3,5/3M* (pav. 2.1).

Po kaitinimo, kiekvienos grupės medienos bandinių matmenys (plotis, storis, ilgis) buvo išmatuoti skaitmeniniu slankmačiu MT1003 (matavimo tikslumas ± 0,02 mm) ir nustatyta masė, sveriant elektroninėmis svarstyklėmis KERN EW 3000-2M (matavimo tikslumas ± 0.02 g). Nustatytas bandinių tankio pokytis.

Visi bandiniai, kaitinti ir nekaitinti, buvo patalpinti į klimatinę kamerą ir laikyti savaitę laiko 27-28°C temperatūroje ir 55 ± 5 % drėgnio.



Pav. 2.1. Laboratorinė kaitinimo kamera *CH0JI-35.3,5.3,5/3M*: kairėje – kaitinimo kameros bendras vaizdas; dešinėje – į kaitinimo kamerą sukrauti bandiniai.

Kiekviena grupė buvo suskirstyta į 3 pogrupius, pagal naudojamą suklijavimui klijų rūšį (.1 – PVA D2 klijai, .2 – PU klijai, .3 – PVA D4 klijai). Kiekvienos grupės ir pogrupio po 20 vnt. ąžuolo medienos bandinių buvo paruošti klijavimui - bandinių klijuojami paviršiai nušlifuoti ir nuvalyti. Suskirsčius į pogrupius bandius, kiekvienos grupės 5 vienetai bandinių buvo palikti atsargai.

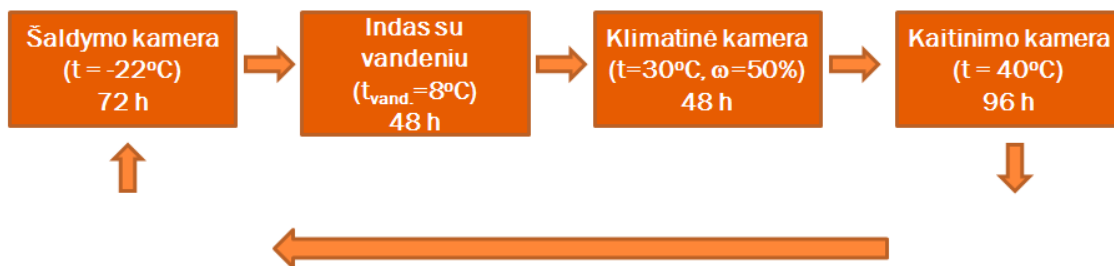
Bandiniai buvo sužymėti. Kiekvieno pogrupio klizai (PUR 501, Kleiberit, Traelim D2 Inde 490, Dana Lim, Lipalas D4, Achema) buvo užnešti voleliu ant kiekvienos grupės bandinių klizavimo paviršių. Suklijuoti bandiniai buvo laikomi suspausti prese 1 val. (pav. 2.2).

Suklijavus bandinius, jie buvo patalpinti į klimatinę kamerą 14 dienų, 27 - 28°C temperatūroje ir 55 ± 5 % drėgnio.



Pav. 2.2. Spaudimo presas.

Norint įvertinti termiškai apdorotos ir neapdorotos ąžuolo medienos eksploatacines savybes, buvo sudarytos agresyvios aplinkos pokyčių sąlygos, kurių parametrų schema pateikta 2.3 pav.. Visi bandiniai buvo veikiami sudarytomis aplinkos pokyčių sąlygomis, 5 pasikartojančiais ciklais. Po 5 ciklų, bandiniai buvo kondicionuojami klimatinėje kameroje 14 dienų, 27-28°C temperatūroje ir 55 ± 5 % drėgnio.



Pav. 2.3. Agresyvios aplinkos pokyčių sąlygos, kuriomis buvo veikiami ąžuolo medienos bandiniai.

Po kondicionavimo klimatinėje kameroje bandiniai buvo suskirstyti į dvi grupes sanklijos stipriui tirti. Vienos grupės bandinių sanklijos kokybė buvo įvertinta tempimo metodu, tempiant išilgai, kitos – rezonansinių dažnių metodu, įvertinant tampros modulį.

Pirmos grupės bandiniai buvo supjauti matmenimis $150 \times 30 \times 20$ mm, pagal DIN EN 205 standarto reikalavimus. Nustatomas sanklijos stipris tempimo būdu, tempiant išilgai, universaliu tempimo įrenginiu “P-0,5” (pav. 2.4).



Pav. 2.4. Tempimo įrenginys “P-0,5”.

Šio tyrimo metu buvo įvertinta jėga F , N, reikalinga nutraukti bandiniui ir atliktas vizualinis sanklijos įvertinimas, kiek % bandinys plyšo per medieną.

Antros grupės bandiniai buvo testuojami rezonansinių virpesių metodu. Bandinių matmenys buvo $300 \times 30 \times 10$ mm. Tampros modulis įvertinamas panaudojant garsinio dažnio virpesius. Principinė stendo schema pavaizduota pav. 2.5, o pav. 2.6 – matomi tyrimui naudojami įrengimai. Tampros modulis apskaičiuojamas, pagal formulę 2.1:

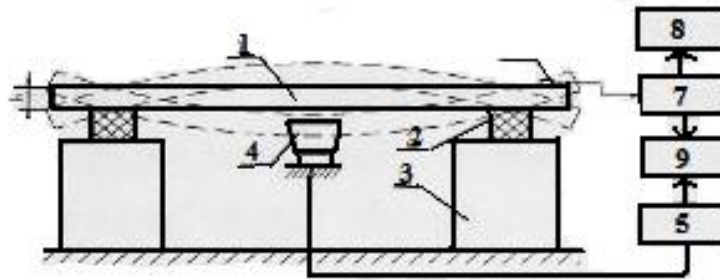
$$E = \frac{f_n^2 \times 4 \times \pi^2 \times \rho \times s \times l^4}{I \times A^2} \quad (2.1)$$

čia f - rezonansinis dažnis; l – bandinio ilgis; s – bandinio skerspjūvio plotas; I – skerspjūvio inercijos momentas; A – koeficientas, priklausantis nuo bandinio tvirtinimo būdo ir išlinkimo formos.

Rezonansinis dažnis yra nustatomas iš bandinio virpesių amplitudinės – dažninės charakteristikos. Analizuojant ją, matome, kad savaisiais dažniais virpa kaip atskiri bandinio elementai

– suklijuoti tašeliai, taip ir visas bandinys. Nustačius modas, analogiškas teorinio izotropinio strypo modoms, gali būti apskaičiuojamas tampros modulis kaip atskirų elementų, taip ir viso bandinio.

Tyrimui atlikti naudojamo stendo schema pavaizduota pav. 2.5.



Pav. 2.5. Medienos gaminių tyrimo stendas: 1 – bandinys ir jo išlinkimo pobūdis; 2 – tamprūs elementai; 3 – masyvios atramos; 4 – akustinis vibratorius; 5 – elektrinių svyravimų generatorius; 6 – matavimo prietaisas; 7 – oscilografas; 8 – fazometras.

Bandinys laisvai uždedamas ant dviejų tampriųjų elementų 2, kurie yra pagaminti iš porolono ir pritvirtinti prie masyvių atramų 3. Akustiniu vibratoriumi 4, kuris valdomas elektrinių signalų generatoriumi 5, sužadinami tiriamojo bandinio 1 rezonansiniai virpesiai. Virpesiai fiksuojami jutikliu, kuris yra pritvirtintas ant bandinio. Keičiant generatoriaus dažnį, yra sužadinami rezonansiniai tiriamojo objekto virpesiai, kurie išmatuojami matavimo prietaisu 7, o jų forma matoma oscilografo ekrane. Fazometru 9 yra matuojama virpesių fazė (2.5 ir 2.6 pav.).

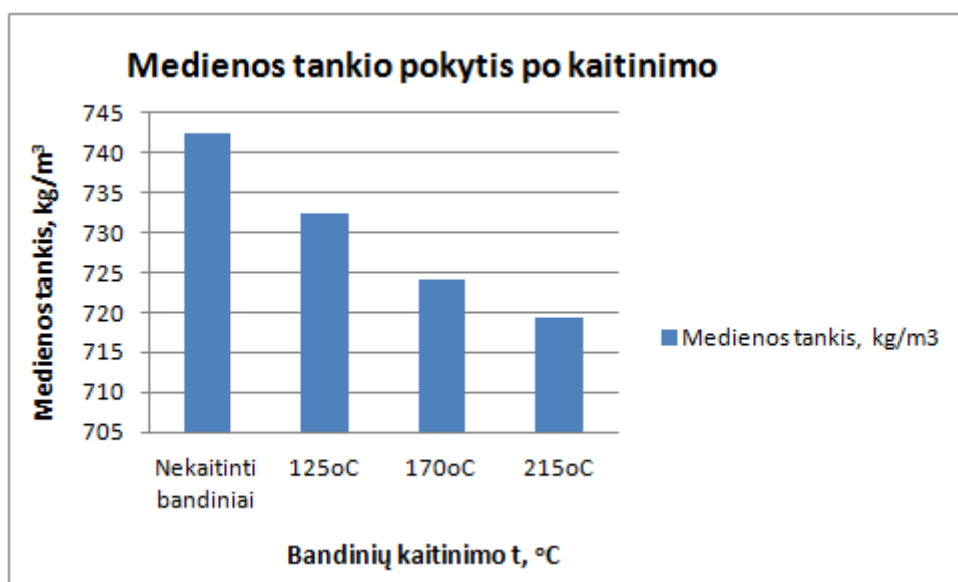


Pav. 2.6. Bandinys ant tampriųjų elementų medienos gaminių tyrimo stende..

3. TYRIMO REZULTATAI

Šiame skyriuje bus aptarti tyrimų eigoje gautų duomenų rezultatai, nagrinėjamos grafinės ir skaitinės išraiškos.

Po ąžuolo medienos kaitinimo bandiniai buvo pasverti ir išmatuoti, nustatytas bandinių tankio pokytis, kg/m^3 . Palygintas medienos bandinių tankis nekaitintos medienos ir kaitintos įvairiose temperatūrose (pav. 3.1). Didžiausias ąžuolo medienos tankis yra tada, kai mediena yra nekaitinta, o mažiausias tada, kai medienos kaitinimo temperatūra buvo 215°C . Lyginant su nekaitinta, kaitintos 125°C temperatūroje medienos tankis buvo 1.32% mažesnis, o kaitintų 170°C ir 215°C temperatūroje atitinkamai 2.45% ir 3.07%.

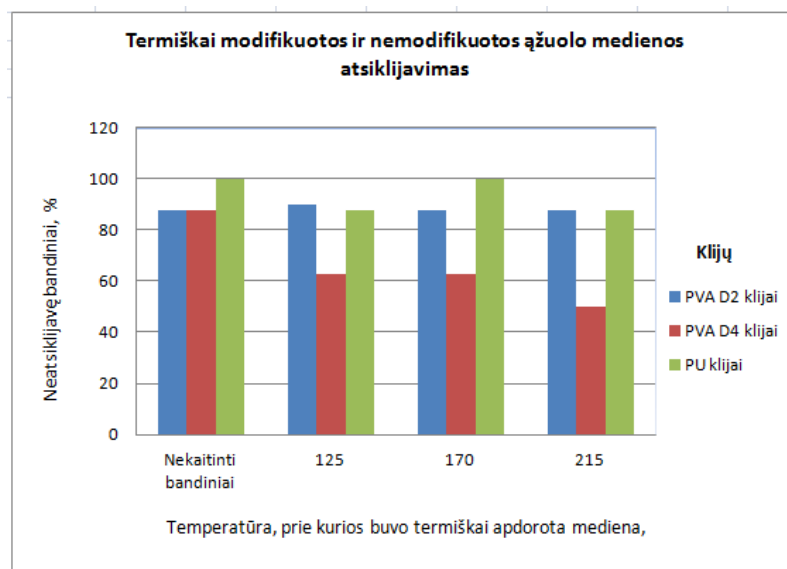


Pav. 3.1. Termiškai modifikuotos ir nmodifikuotos ąžuolo medienos tankis, kg/m^3 .

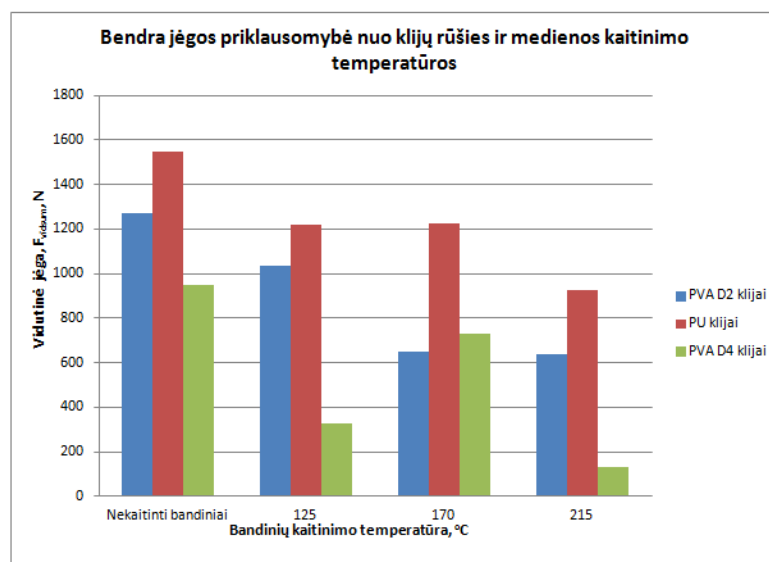
3.1 STATINIO METODO TYRIMO REZULTATAI

Aptarsime gautus statinio metodo tyrimo rezultatus. Didžioji bandinių dalis, suklijuotų PVA D4 klizais atsiklijavo, supjovimo metu, dar dalis bandinių neatlaikė varginimo ciklo ir taip pat atsiklijavo. 3.2 pav. matome kiek bandinių atlaikė supjovimo ir varginimo procesą. Prie visų kaitinimo temperatūrų geriausiai atlaikė PU klizai, kai tuo tarpu PVA D4 klizai tendencingai pagal kaitinimo temperatūrą atsiklijavo, kuo aukštesnėje temperatūroje buvo kaitinta šių bandinių grupė, tuo daugiau bandinių atsiklijavo.

Tempiant bandinius išilgai, buvo nustatyta jėga, kuri reikalinga nutraukti bandinį. Bendri jėgos rezultatai F, N pateikti 3.3 pav. Didžiausia jėga, reikalinga suardyti sanklija gaunama bandiniams suklijuotiems PU klijais. Mažiausia jėga, suardyti sankliją, reikalinga PVA D4 klijams, nors, kaitintų bandinių 170°C temperatūroje, jėga buvo didesnė, nei kaitintų 125°C. Taigi, įvertinus gautus jėgos duomenis, N, galime teigti, jog kuo aukštesnė kaitinimo temperatūra, tuo jėga, reikalinga suardyti sanklija, bus mažesnė.

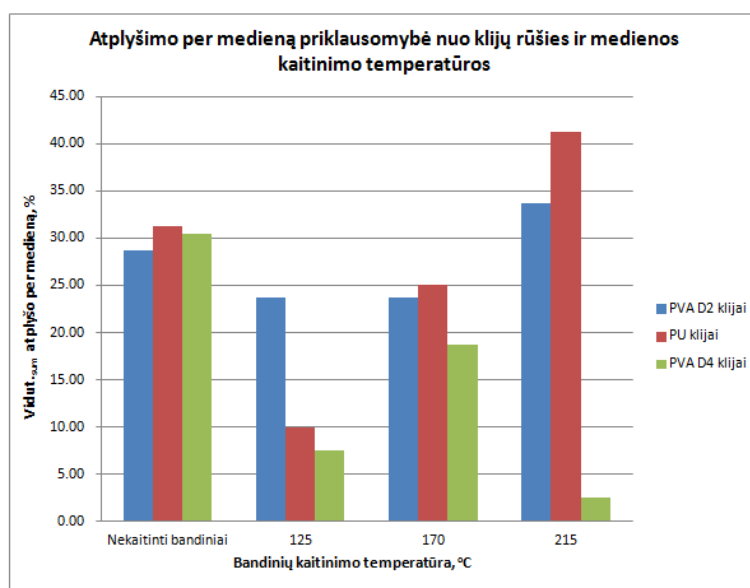


Pav. 3.2. Terminiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ąžuolo medienos atsiklijavimas.



Pav. 3.3. Terminiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ąžuolo medienos sanklijos stiprio matavimas, vidut. jėgos priklausomybė nuo klijų rūšies ir medienos kaitinimo temperatūros, tyrimo rezultatų vidurkis.

Įvertinus bandinių atplyšimą, tempiant bandinius išilgai, gavome, jog nekaitintų bandinių grupėje, tvirčiausia sanklija buvo bandinių, klijuotų PU klėjais, prasčiausia PVA D2 klėjais (pav. 3.4.). Kaitinat bandinius 125°C, geriausia sanklija buvo bandinių, suklijuotų PVA D2 klėjais, o prasčiausia sanklija PVA D4 klėjais suklijuotų bandinių. Kaitinant medieną 170°C, geriausia sanklija buvo bandinių, suklijuotų PU klėjais, prasčiausia – PVA D4 klėjais suklijuotų bandinių. Kaitinant 215°C, geriausia sanklija gauta taip pat PU klėjais suklijuotų bandinių, o prasčiausia PVA D4 klėjais suklijuotų bandinių. Vertinant pagal atpyšimą per medieną %, PU klėjai iš visų kaitinimo, ir lyginant netgi su nekaitinta mediena, temperatūrų, geriausia sanklija gauta prie 215°C.



Pav. 3.4. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ąžuolo medienos sanklijos stiprio matavimas, atplyšimo per medieną priklausomybė nuo klijų rūšies ir medienos kaitinimo temperatūros, vidutinių reikšmių įvertinimas, vidurkių rezultatai.

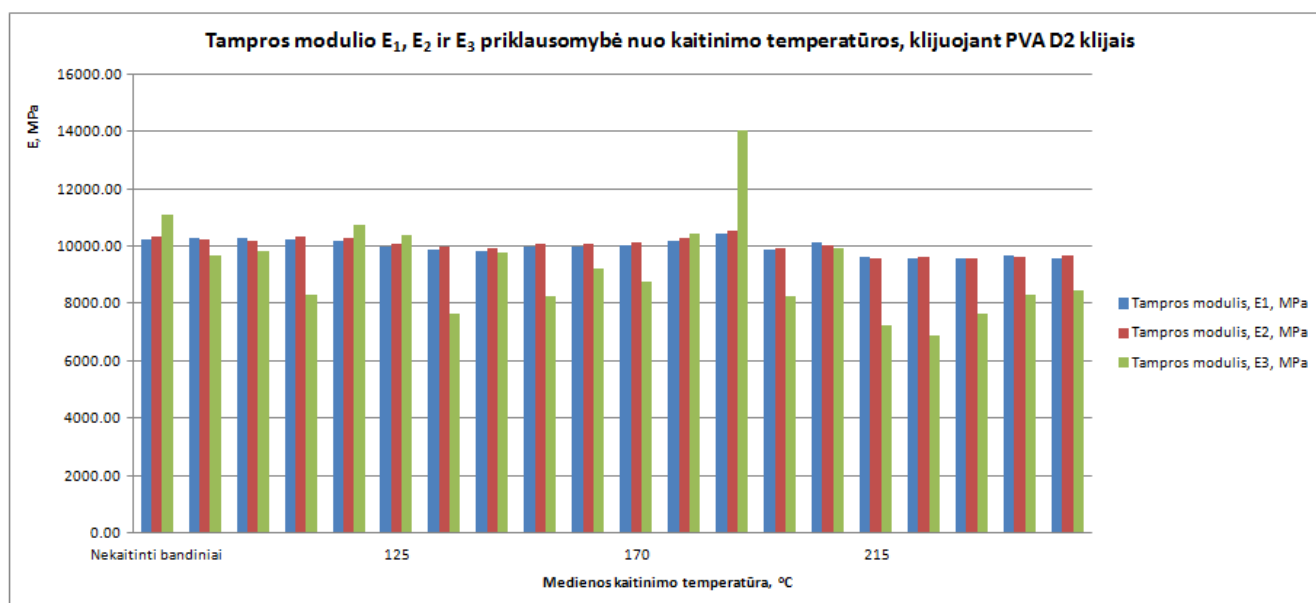
3.2 DINAMINIO METODO TYRIMO REZULTATAI

Atlikus tyrimą rezonansinio dažnio metodu, gavome, jog PVA D2 klijų sanklijos kokybė geriausia, kai mediena yra nekaitinta, toliau seka, kai mediena kaitinta 170°C, ir prasčiausia sanklijos kokybė, kai mediena kaitinta 215°C temperatūroje.

Nagrinėjant PU klėjus, pagal gautus rezultatus gavome, jog geriausia sanklijos kokybė tada, kai PU klėjais klijuojama mediena kaitinta 125°C temperatūroje, toliau seka nekaitinta mediena ir prasčiausia sanklijos kokybė, prie aukščiausios kaitinimo temperatūros.

PVA D4 klėjai parodė labai prastą klėjavimąsi su termiškai apdorota mediena, ją tiriant statiniu metodu. Tiriant bandinius dinamiu metodu, gavome, jog geriausia sanklijos kokybė yra medieną kaitinant 125°C temperatūroje, toliau 170°C ir prasčiausia, kai mediena yra nekaitinama.

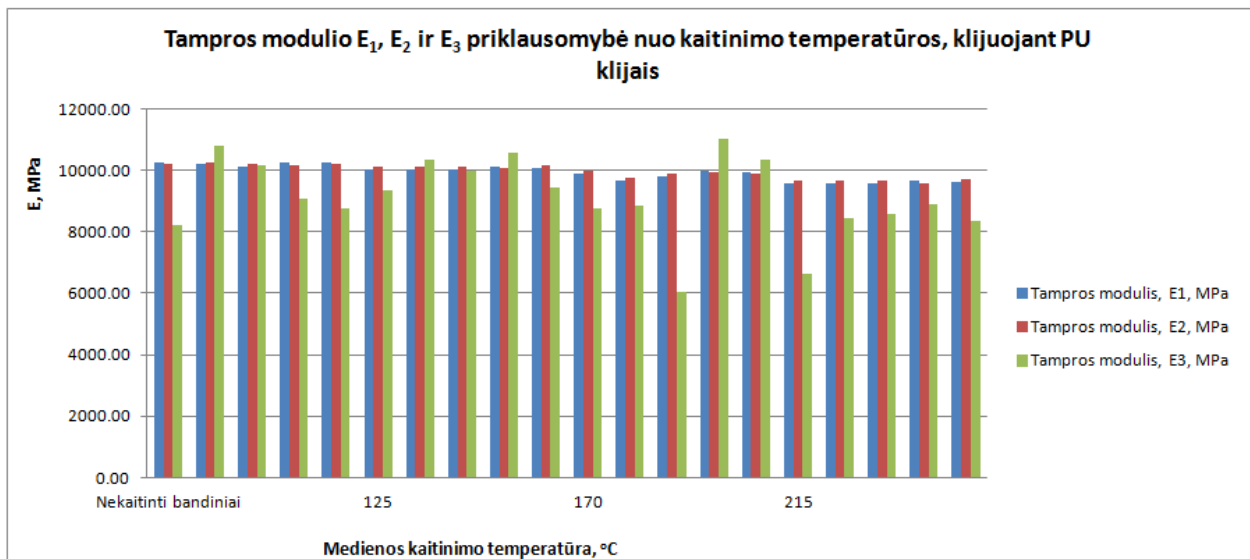
Pav. 3.5, 3.6 ir 3.7 matome kaip pasiskirsto tampros modulis E , Mpa (apskaičiuoti pagal formulę 2.1) ąžuolo medienos bandinių suklijuotų trimis klėjų rūšimis, kaitintų skirtingose temperatūrose.



Pav. 3.5. Tampros modulio E_1, E_2 ir E_3 priklausomybė nuo medienos kaitinimo temperatūros, klėjaujant PVA D2 klėjais. Čia E_1, E_2 - bandinio atskirų elementų tampros moduliai ir E_3 – bandinio, kaip vieno kūno, tampros modulis.

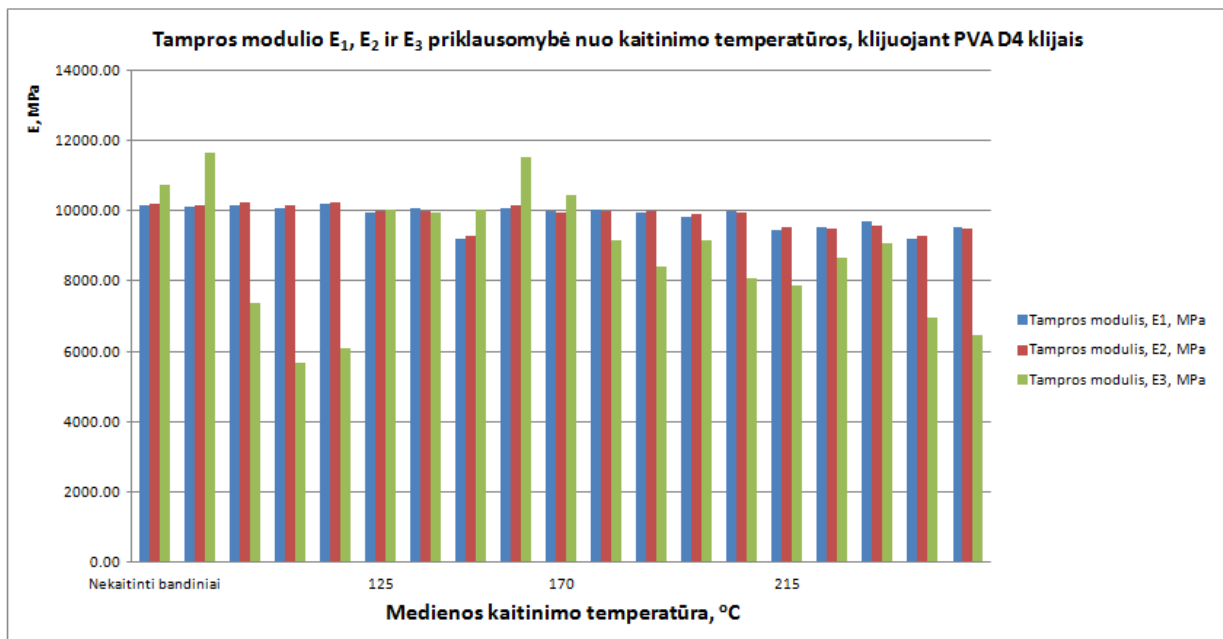
Tiriant bandinius rezonansinių virpesių metodu, nustatėme bandinio atskirų elementų ir bandinio, kaip vieno kūno, dažnius, kuriems esant sortimentai išlanko moda, analogiška izotropinio strypo modai ir pagal formulę (2.1) apskaičiuoti medienos tampros moduliai E_1, E_2 ir E_3 . Čia E_1 ir E_2 – bandinio atskirų elementų tampros modulis, E_3 – bandinio, kaip vieno kūno, tampros modulis.

3.5 pav. matome, jog ąžuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D2 klėjais, tampros modulio E_1 ir E_2 reikšmės yra praktiškai vienodos, tačiau bandinio, kaip vieno kūno, tampros modulio reikšmės E_3 pasiskirsto nevienodai. Įvertinus grafinį vaizdą ir skaitines reikšmes, darome išvadą, jog geriausia sanklijos kokybė ąžuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D2 klėjais, bus tada, kai bandiniai yra kaitinti 170°C temperatūroje ir nekaitinti, o prasčiausia sanklijos kokybė, kai kaitinimo temperatūra yra 215°C.



Pav. 3.6. Tampros modulio E₁, E₂ ir E₃ priklausomybė nuo medienos kaitinimo temperatūros, klijuojant PU klįjais.

3.6 pav. matome, jog ąžuolo medienos bandinių, suklijuotų PU klįjais, tampros modulio E₁ ir E₂ reikšmės yra taip pat praktiškai vienodos, tačiau bandinio, kaip vieno kūno, tampros modulio reikšmės E₃ pasiskirsto irgi nevienodai, kaip kad ir bandinių suklijuotų PVA D2 klįjais. Įvertinus grafinį vaizdą ir skaitines reikšmes, darome išvadas, jog geriausia sanklijos kokybė ąžuolo medienos bandinių, suklijuotų PU klįjais, bus tada, kai bandiniai yra kaitinti 125°C temperatūroje ir nekaitinti, o prasčiausia sanklijos kokybė, kai kaitinimo temperatūra yra 215°C.



Pav. 3.7. Tampros modulio E₁, E₂ ir E₃ priklausomybė nuo medienos kaitinimo temperatūros, klijuojant PVA D4 klįjais.

3.7 pav. matome, jog ąžuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D4 klėjais, tampros modulio E_1 ir E_2 reikšmės yra taip pat praktiškai vienodos, tačiau bandinio, kaip vieno kūno, tampros modulio reikšmės E_3 pasiskirsto irgi nevienodai, kaip kad ir bandinių suklijuotų PVA D2 ir PU klėjais. Įvertinus grafinį vaizdą ir skaitines reikšmes, darome išvadą, jog geriausia sanklijos kokybė ąžuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D4 klėjais, bus tada, kai bandiniai yra kaitinti 125°C temperatūroje ir nekaitinti, o prasčiausia sanklijos kokybė, kai kaitinimo temperatūra yra 215°C .

Apibendrinus gautus rezultatus, darome išvadą, jog prasčiausia sanklijos kokybė bus tada, kai medienos sortimentai yra kaitinami 215°C temperatūroje. ąžuolo medienos bandinių, suklijuotų PU ir PVA D4 klėjais, geriausia sanklijos kokybė buvo tada, kai medienos bandiniai buvo kaitinti 125°C temperatūroje, kai tuo tarpu bandinių, suklijuotų PVA D2 klėjais, geriausia sanklija gauta, bandinių kaitintų 170°C temperatūroje. Tačiau bendrai visų klijų grupių bandinių sanklijos kokybė buvo geriausia tada, kai medienos bandiniai buvo nekaitinti.

Terminiškai apdorota mediena yra hidrofobiška, todėl suprastėja ir sanklijos kokybė. Kuo aukštesnėje temperatūroje bus kaitinta mediena, tuo prastesnė bus sanklijos kokybė. Kaitintos medienos sortimentai, suklijuoti PVA D4 klėjais, yra netinkami eksploatuoti lauko sąlygomis, nors klėjai tam skirti.

IŠVADOS

1. Medienos tankio sumažėjimas tiesiogiai proporcingas kaitinimo temperatūrai. Medieną pakaitinus 170°C temperatūros tankis sumažėjo 2.45% , o pakaitinus 215°C temperatūroje - 3.07%;
2. Gauta, kad blogiausiai kaitintą medieną klijuoja PVA D4 klasės klijai. Tokie klijai neturėtų būti naudojami ten, kur medieną veikia drėgmė, temperatūrų svyravimas ir kt.;
3. Parodyta, kad aplinkos poveikiui labiausiai atsparūs PU klijai tiek nekaitintos, tiek kaitintos aukštesnėje temperatūroje medienos atvejais;
4. Nustatyta, kad PVA D2 klasės klijai suklijuoja tiek termiškai modifikuotą, tiek nemodifikuotą medieną, tačiau sanklija neatspari aplinkos poveikiui;
5. Galima teigti, kad kintamo drėgnio ir temperatūros aplinkoje geriausiai tinka PU klijai klijuoti tiek termiškai modifikuotą, tiek nemodifikuotą medieną.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Jakimavičius Č., Medienotyra. Kaunas. Technologija, 2006: 10, 18, 40, 221-222 p.
2. www.brolistimber.eu/termo-mediena.
3. <http://www.protingosmedziagos.lt/straipsniai/?p=190>.
4. <http://www.pilotas.lt/index.php/lt/vitrina/item/2565-termomediena-pradeda-ir-laimi/technologijos-i%C5%A1-esm%C4%97s-kei%C4%8Dia-medienos-s%C4%85vybes?tmpl=component&print=1>.
5. Albrektas D., Baltrušaitis A., Juodeikienė I., Keturakis G., Minelga D., Norvydas V., Pranckevičienė V., Ukvalbergienė K., Medienos inžinerija. Kaunas. Technologija, 2011.
6. DIN EN 205 standartas.
7. Syrjänen T., Kestopuu O., Heat treatment of wood in Finland state of the art, Nordic wood. <http://www.thermotreatedwood.com>.
8. S. Yildiz, E. D. Tomak, U. C. Yildiz, D. Ustaomer, Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood, *Polymer Degradation and Stability*, No. 98, 2013, 1419-1427 p.
9. <http://www.thermotreatedwood.com/Worldwide/Finland.pdf>.
10. file:///C:/Users/Avitela/Desktop/BioRes_04_1_0370_Esteves_P_Wood_Mod_Heat_Treatment_Rev_367.pdf .
11. S. Saha, D. Kocaefe, Y. Boluk, V. Mshvildadze, J. Legault, A. Pichette, Boreal forest conifer extracts: potential natural additives for acrylic polyurethane coatings for the protection of heat-treated jack pine, *J. Coat. Technol. Res.*, Vol. 10, No. 1, 2013, 109–122 p.
12. S. Saha, D. Kocaefe, D. K. Sarkar, Y. Boluk, A. Pichette, Effect of TiO₂-containing nano-coatings on the color protection of heat-treated jack pine, *J. Coat. Technol. Res.*, Vol. 8, No. 2, 2011, 183–190p.
13. R. A. Garcia, B. Riedl, A. Cloutier, Chemical modification and wetting of medium density fibreboard produced from heat-treated fibres, *J Mater Sci*, Vol. 43, 2008, 5037–5044 p.
14. H. R. Taghiyari , A. Enayati, H. Gholamiyan, Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods, *Wood Sci Technol*, Vol. 47, 2013, 467–480 p.
15. X. Huang, D. Kocaefe, Y. Kocaefe, Y. Boluk, A. Pichette, Changes in wettability of heat-treated wood due to artificial weathering, *Wood Sci Technol*, Vol. 46, 2012, 1215–1237 p.

16. R. A. Garcia, A. M. d. Carvalho, J. V. d. F. Latorraca, J. L. M. d. Matos, W. A. Santos, R. F. d. M. Silva, Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method, *Wood Sci Technol*, Vol. 46, 2012, 41–52 p.
17. B. Esteves, R. Videira, H. Pereira, Chemistry and ecotoxicity of heat-treated pine wood extractives, *Wood Sci Technol*, Vol. 45, 2011, 661–676 p.
18. H. R. Taghiyari, Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated *Populus nigra*, *Wood Sci Technol*, Vol. 45, 2011, 399–404 p.
19. L. Awoyemi, M. C. Jarvis, A. Hapca, Effects of preboiling on the acidity and strength properties of heat-treated wood, *Wood Sci Technol*, Vol. 43, 2009, 97–103 p.
20. M. J. Boonstra, J. Blomberg, Semi-isostatic densification of heat-treated radiata pine, *Wood Sci Technol*, Vol. 41, 2007, 607–617 p.
21. G. Nguila Inari, M. Petrissans, P. Gerardin, Chemical reactivity of heat-treated wood, *Wood Sci Technol*, Vol. 41, 2007, 157–168 p.
22. B. M. Malek, M. G. Kookande, H. R. Taghiyari, S. A. Mirshokraie, Effects of silver nanoparticles and fungal degradation on density and chemical composition of heat-treated poplar wood (*Populus euroamerica*), *Eur. J. Wood Prod.*, Vol. 71, 2013, 491–495 p.
23. X. Huang, D. Kocaefe, Y. Boluk, Y. Kocaefe, A. Pichette, Effect of surface preparation on the wettability of heat-treated jack pine wood surface by different liquids, *Eur. J. Wood Prod.*, Vol. 70, 2012, 711–717 p.
24. M. K. Dubey, S. Pang, J. Walker, Oil uptake by wood during heat-treatment and post-treatment cooling, and effects on wood dimensional stability, *Eur. J. Wood Prod.*, Vol. 70, 2012, 183–190 p.
25. M. K. Dubey, S. Pang, JohnWalker, Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated *Pinus radiata*, *Eur. J. Wood Prod.*, Vol. 69, 2011, 255–262 p.
26. T. Ding, L. Gu, T. Li, Influence of steam pressure on physical and mechanical properties of heat-treated Mongolian pine lumber, *Eur. J. Wood Prod.*, Vol. 69, 2011, 121–126 p.
27. M. Borrega, P. P. Kärenlampi, Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood, *Eur. J. Wood Prod.*, Vol. 68, 2010, 233–235 p.
28. B. Esteves, H. Pereira, Quality assessment of heat-treated wood by NIR spectroscopy, *Holz Roh Werkst*, Vol. 66, 2008, 323–332 p.
29. M. Sernek, M. Boonstra, A. Pizzi, A. Despres, Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives, *Holz Roh Werkst*, Vol. 66, 2008, 173–180 p.

30. D. P. Kamdem, A. Pizzi, A. Jermannaud, Durability of heat-treated wood, *Holz Roh Werkst*, Vol. 60, 2002, 1–6 p.
31. X. Yan-jun, L. Yi-xing, S. Yao-xing, Heat-treated wood and its development in Europe, *Journal of Forestry Research*, Vol. 13, No. 3, 2002, 224-230 p.
32. Y. Kubojima, T. Okano, M. Ohta, Bending strength and toughness of heat-treated wood, *J Wood Sci*, Vol. 46, 2000, 8-15 p.
33. L. Denes, E. M. Lang, Photodegradation of heat treated hardwood veneers, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Vol. 118, 2013, 9–15 p.
34. T. Priadi, S. Hiziroglu, Characterization of heat treated wood species, *Materials and Design*, No. 49, 2013, 575–582 p.
35. K. Candelier, S. Dumarçay, A. Pétrissans, P. Gérardin, M. Pétrissans, Comparison of mechanical properties of heat treated beech wood cured under nitrogen or vacuum, *Polymer Degradation and Stability*, No. 98, 2013, 1762-1765 p.
36. S. Tiryaki, C. Hamzaçebi, Predicting Modulus of Rupture (MOR) and Modulus of Elasticity (MOE) of Heat Treated Woods by Artificial Neural Networks, PII: S0263-2241(13)00616-7, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2013.12.004>; Reference: MEASUR 2649.
37. <http://www.thermotreatedwood.com/How%20to%20work.html>.
38. <http://www.pristineblue.lt/lt/termo-mediena.html>.
39. X. Huang, D. Kocaefe, Y. Kocaefe, Y. Boluk, A. Pichette, A spectrophotometric and chemical study on color modification of heat-treated wood during artificial weathering, *Applied Surface Science*, No. 258, 2012, 5360– 5369 p.
40. T. Dilik, S. Hiziroglu, Bonding strength of heat treated compressed Eastern redcedar wood, *Materials and Design*, No. 42, 2012, 317–320 p.
41. P. Kasemsiria, S. Hiziroglu, S. Rimdusit, Characterization of heat treated eastern redcedar (*Juniperus virginiana* L.), *Journal of Materials Processing Technology*, No. 212, 2012, 1324–1330 p.
42. L. Kokko, H. Tolvanen, K. Haïmaïlaïnen, R. Raiko, Comparing the energy required for fine grinding torrefied and fast heat treated pine, *Biomass and bioenergy*, No. 42, 2012, 219-223 p.
43. X. Huang, D. Kocaefe, Y. Kocaefe, Y. Boluk, A. Pichette, Study of the degradation behavior of heat-treated jack pine (*Pinus banksiana*) under artificial sunlight irradiation, *Polymer Degradation and Stability*, No. 97, 2012, 1197-1214 p.

1 PRIEDAS

P.1.1 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, nekaitinti bandiniai.

| Bandinio žymėjimas | Ilgis, mm | Plotis, mm | Storis, mm | Masė, kg | Tankis, kg/m ³ |
|---------------------------|-----------|------------|------------|----------------|---------------------------|
| 1.1 | 300 | 30 | 10 | 0.06598 | 733.111 |
| 1.2 | 300 | 30 | 10 | 0.06017 | 668.556 |
| 1.3 | 300 | 30 | 10 | 0.07563 | 840.333 |
| 1.4 | 300 | 30 | 10 | 0.06012 | 668 |
| 1.5 | 300 | 30 | 10 | 0.0606 | 673.333 |
| 1.6 | 300 | 30 | 10 | 0.06861 | 762.333 |
| 1.7 | 300 | 30 | 10 | 0.06959 | 773.222 |
| 1.8 | 300 | 30 | 10 | 0.07437 | 826.333 |
| 1.9 | 300 | 30 | 10 | 0.06451 | 716.778 |
| 1.10 | 300 | 30 | 10 | 0.06846 | 760.667 |
| Masės vidurkis, kg | | | | 0.06680 | 742.267 |

P.1.2 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, kaitinti bandiniai prie 125°C temperatūros.

| Bandinio žymėjimas | Ilgis, mm | Plotis, mm | Storis, mm | Masė, kg | Tankis, kg/m ³ |
|---------------------------|-----------|------------|------------|----------------|---------------------------|
| 2.1 | 299 | 30.0 | 10 | 0.06212 | 692.531 |
| 2.2 | 299 | 30.0 | 10 | 0.06901 | 769.342 |
| 2.3 | 299 | 29.8 | 10 | 0.06713 | 753.406 |
| 2.4 | 299 | 29.9 | 10 | 0.06666 | 745.629 |
| 2.5 | 299 | 29.9 | 10 | 0.06477 | 724.489 |
| 2.6 | 299 | 29.8 | 10 | 0.07058 | 792.126 |
| 2.7 | 299 | 29.9 | 10 | 0.05436 | 608.047 |
| 2.8 | 299 | 29.8 | 10 | 0.06127 | 687.639 |
| 2.9 | 299 | 29.8 | 10 | 0.06795 | 762.609 |
| 2.10 | 299 | 29.9 | 10 | 0.07053 | 788.917 |
| Masės vidurkis, kg | | | | 0.06544 | 732.474 |

P.1.3 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, kaitinti bandiniai prie 170°C temperatūros.

| Bandinio žymėjimas | Ilgis, mm | Plotis, mm | Storis, mm | Masė, kg | Tankis, kg/m ³ |
|---------------------------|-----------|------------|------------|----------------|---------------------------|
| 3.1 | 299 | 29.0 | 10 | 0.05963 | 687.695 |
| 3.2 | 299 | 29.6 | 10 | 0.06550 | 740.08 |
| 3.3 | 299 | 29.0 | 10 | 0.07104 | 819.283 |
| 3.4 | 299 | 29.5 | 10 | 0.05823 | 660.167 |
| 3.5 | 299 | 30.0 | 10 | 0.05802 | 646.823 |
| 3.6 | 299 | 29.6 | 10 | 0.05833 | 659.066 |
| 3.7 | 299 | 29.6 | 10 | 0.06612 | 747.085 |
| 3.8 | 299 | 29.5 | 10 | 0.05512 | 624.908 |
| 3.9 | 299 | 29.5 | 10 | 0.07150 | 810.612 |
| 3.10 | 299 | 29.4 | 10 | 0.07432 | 845.449 |
| Masės vidurkis, kg | | | | 0.06378 | 724.117 |

P.1.4 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių parametrai, kaitinti bandiniai prie 215°C temperatūros.

| Bandinio žymėjimas | Ilgis, mm | Plotis, mm | Storis, mm | Masė, kg | Tankis, kg/m ³ |
|---------------------------|-----------|------------|------------|----------------|---------------------------|
| 4.1 | 299 | 29 | 10 | 0.04846 | 558.874 |
| 4.2 | 299 | 29 | 10 | 0.06919 | 797.947 |
| 4.3 | 299 | 29 | 10 | 0.06355 | 732.903 |
| 4.4 | 299 | 29 | 10 | 0.06604 | 761.619 |
| 4.5 | 299 | 29 | 10 | 0.0672 | 774.997 |
| 4.6 | 299 | 29 | 10 | 0.07396 | 852.958 |
| 4.7 | 299 | 29 | 10 | 0.05309 | 612.271 |
| 4.8 | 299 | 29 | 10 | 0.06541 | 754.354 |
| 4.9 | 299 | 29 | 10 | 0.05288 | 609.849 |
| 4.10 | 299 | 29 | 10 | 0.06403 | 738.438 |
| Masės vidurkis, kg | | | | 0.06238 | 719.421 |

2 PRIEDAS

P.2.1 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D2 klėjais, sanklijos stiprio matavimo duomenys.

| Bandiniai suklijuoti PVA D2 klėjais | | | | | |
|--|------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | I bandinys | | II bandinys | | Bandiniai kaitinti prie t°, C |
| | F, N | Atplyso per mediena, % | F, N | Atplyso per mediena, % | |
| 1.1.4 | 2602 | 20 | 1596 | 10 | Nekaitinti |
| 1.1.5 | 1379 | 40 | 998 | 40 | |
| 2.1.4 | 2280 | 20 | 2416 | 60 | 125 |
| 2.1.5 | 1044 | 10 | 534 | 20 | |
| 3.1.4 | 1231 | 60 | 610 | 80 | 170 |
| 3.1.5 | 1039 | 10 | 976 | 10 | |
| 4.1.4 | 1135 | 80 | 1095 | 60 | 215 |
| 4.1.5 | 1873 | 80 | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | | |

P.2.2 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių, suklijuotų PU klėjais, sanklijos stiprio matavimo duomenys.

| Bandiniai suklijuoti PU klėjais | | | | | |
|--|------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | I bandinys | | II bandinys | | Bandiniai kaitinti prie t°, C |
| | F, N | Atplyso per mediena, % | F, N | Atplyso per mediena, % | |
| 1.2.4 | 2801 | 70 | 2482 | 80 | Nekaitinti |
| 1.2.5 | 878 | 10 | 1253 | 10 | |
| 2.2.4 | 1535 | 10 | 4636 | 20 | 125 |
| 2.2.5 | 709 | 0 | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | | |
| 3.2.4 | 422 | 10 | 1266 | 10 | 170 |
| 3.2.5 | 1440 | 60 | 2080 | 40 | |
| 4.2.4 | 2707 | 90 | 971 | 60 | 215 |
| 4.2.5 | 1155 | 60 | 792 | 40 | |

P.2.3 Lentelė. Ažuolo medienos bandinių, suklijuotų PVA D4 klėjais, sanklijos stiprio matavimo duomenys.

| Bandiniai suklijuoti PVA D4 klėjais | | | | | |
|--|-------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | I | | II | | Bandiniai kaitinti prie t°, C |
| | F, N | Atplyso per mediena, % | F, N | Atplyso per mediena, % | |
| 1.3.4 | 904 | 10 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | Nekaitinti |
| 1.3.5 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | 1310 | 20 | |
| 2.3.4 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | 125 |
| 2.3.5 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | |
| 3.3.4 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | 170 |
| 3.3.5 | 294 | 10 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | |
| 4.3.4 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | 215 |
| 4.3.5 | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | | Bandinys atsiklijavo supjovimo metu | |

P.2.4 Lentelė. Suklijuotų ąžuolo medienos bandinių₁, vidutinės jėgos reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą.

| Bandiniai kaitinti prie t°, C | Klijų rūšys | | |
|--------------------------------------|---|------------------|----------------------|
| | PVA D2 klėjai | PU klėjai | PVA D4 klėjai |
| | Vidutinės jėgos reikšmės, F_{vid}, N | | |
| Nekaitinti bandiniai | 1643.75 | 1853.5 | 553.5 |
| 125 | 1568.5 | 1720 | 0 |
| 170 | 964 | 1302 | 73.5 |
| 215 | 1025.75 | 1406.25 | 0 |

P.2.5 Lentelė. Suklijuotų ąžuolo medienos bandinių₁, vidut. atplyšimo per medieną % reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą.

| Bandiniai kaitinti prie t°, C | Klijų rūšys | | |
|--|-------------------------------|-----------|------------------|
| | PVA D2 klijai | PU klijai | PVA D4 klijai |
| | Vidut. atplyšo per medieną, % | | |
| Nekaitinti bandiniai | 27.5 | 42.5 | 7.5 |
| 125 | 27.5 | 7.5 | 0 |
| 170 | 40 | 30 | 2.5 |
| 215 | 55 | 62.5 | 0 |

P.2.6 Lentelė. Suklijuotų ąžuolo medienos bandinių₂, vidutinės jėgos reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą.

| Bandiniai kaitinti prie t°, C | Klijų rūšys | | |
|--|--|-----------|------------------|
| | PVA D2 klijai | PU klijai | PVA D4 klijai |
| | Vidutinės jėgos reikšmės, F_{vidr}, N | | |
| Nekaitinti bandiniai | 896.25 | 1239.67 | 1348.50 |
| 125 | 498.00 | 718.33 | 651.50 |
| 170 | 337.00 | 1153.75 | 1390.25 |
| 215 | 245.25 | 442.00 | 258.75 |

P.2.7 Lentelė. Suklijuotų ąžuolo medienos bandinių₂, vidut. atplyšimo per medieną % reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą, tyrimo rezultatai.

| Bandiniai kaitinti prie t°, C | Klijų rūšys | | |
|--|-------------------------------|-----------|------------------|
| | PVA D2 klijai | PU klijai | PVA D4 klijai |
| | Vidut. atplyšo per medieną, % | | |
| Nekaitinti bandiniai | 27.5 | 42.5 | 7.5 |
| 125 | 27.5 | 7.5 | 0 |
| 170 | 40 | 30 | 2.5 |
| 215 | 55 | 62.5 | 0 |

P.2.8 Lentelė. Suklijuotų ąžuolo medienos bandinių, vidutinės jėgos₁₊₂ reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą.

| Bandiniai kaitinti prie t°, C | Klijų rūšys | | |
|-------------------------------------|--|-----------|------------------|
| | PVA D2 klijai | PU klijai | PVA D4 klijai |
| | Vidutinės jėgos reikšmės, F _{vidsum} , N | | |
| Nekaitinti bandiniai | 1270.00 | 1546.58 | 951.00 |
| 125 | 1033.25 | 1219.17 | 325.75 |
| 170 | 650.50 | 1227.88 | 731.88 |
| 215 | 635.50 | 924.13 | 129.38 |

P.2.9 Lentelė. Suklijuotų ąžuolo medienos bandinių₁₊₂, vidut. atplyšimo per medieną % reikšmės, pagal bandinių kaitinimo temperatūrą, tyrimų vidurkio rezultatai.

| Bandiniai kaitinti prie t°, C | Klijų rūšys | | |
|-------------------------------------|--|-----------|------------------|
| | PVA D2 klijai | PU klijai | PVA D4 klijai |
| | Vidut. _{sum} atplyšimas per medieną, % | | |
| Nekaitinti bandiniai | 28.75 | 31.25 | 30.42 |
| 125 | 23.75 | 10.00 | 7.50 |
| 170 | 23.75 | 25.00 | 18.75 |
| 215 | 33.75 | 41.25 | 2.50 |

3 PRIEDAS

P.3.1 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D2 klijuais, bandinių parametrai (storis ir masė nesuklijuoto bandinio).

| Klijų rūšis | Bandinių kaitinimo t ^o C | Bandinio žymėjimas | Ilgis, mm | Plotis, mm | Storis, mm | Masė, kg | Drėgnis, % | Tankis, kg/m ³ | Sanklijos įvertinimas vizualiai |
|-------------|-------------------------------------|--------------------|-----------|------------|------------|----------|------------|---------------------------|--|
| PVA D2 | 125 | 1.1.1 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.1.2 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.1.3 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.1.4 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.1.5 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | 170 | 2.1.1 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Atsiklijavę kraštuose |
| | | 2.1.2 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Atsiklijavę kraštuose |
| | | 2.1.3 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 2.1.4 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 2.1.5 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | 215 | 3.1.1 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Klijų siūlė vietomis atsiklijavusi |
| | | 3.1.2 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Klijų siūlė vietomis atsiklijavusi |
| | | 3.1.3 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 3.1.4 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 3.1.5 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | Nekaitinti bandiniai | 4.1.1 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 4.1.2 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė vietomis atsiklijavusi |
| | | 4.1.3 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė vietomis atsiklijavusi |
| | | 4.1.4 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė vietomis atsiklijavusi |
| | | 4.1.5 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė išoriškai gera |

P.3.2 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemonifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PU klijuais, bandinių parametrai (storis ir masė nesuklijuoto bandinio).

| Klijų rūšis | Bandinių kaitinimo t ^o C | Bandinio žymėjimas | Ilgis, mm | Plotis, mm | Storis, mm | Masė, kg | Drėgnis, % | Tankis, kg/m ³ | Sanklijos įvertinimas vizualiai |
|-------------|-------------------------------------|--------------------|-----------|------------|------------|----------|------------|---------------------------|--|
| PU | 125 | 1.2.1 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.2.2 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.2.3 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.2.4 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 1.2.5 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | 170 | 2.2.1 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 2.2.2 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 2.2.3 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė vietomis atsiklijavusi |
| | | 2.2.4 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 2.2.5 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | 215 | 3.2.1 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 3.2.2 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 3.2.3 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 3.2.4 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 3.2.5 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | Nekaitinti bandiniai | 4.2.1 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 4.2.2 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 4.2.3 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 4.2.4 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė išoriškai gera |
| | | 4.2.5 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė išoriškai gera |

P.3.3 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D4 klijuose, bandinių parametrai (storis ir masė nesuklijuoto bandinio).

| Klijų rūšis | Bandinių kaitinimo t ^o C | Bandinio žymėjimas | Ilgis, mm | Plotis, mm | Storis, mm | Masė, kg | Drėgnis, % | Tankis, kg/m ³ | Sanklijos įvertinimas vizualiai |
|-------------|-------------------------------------|--------------------|-----------|------------|------------|----------|------------|---------------------------|---|
| PU | 125 | 1.3.1 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė ne daug atsiklijavusi kraštuose |
| | | 1.3.2 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 1.3.3 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 1.3.4 | 300 | 30 | 10 | 0.065 | 8.3 | 722.22 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė vietomis atsiklijavusi |
| | 170 | 2.3.1 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 2.3.2 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 2.3.3 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 2.3.4 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 2.3.5 | 300 | 30 | 10 | 0.064 | 8.3 | 711.11 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | 215 | 3.3.1 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 3.3.2 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 3.3.3 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 3.3.4 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys ne daug įskilęs išilgai, klijų siūlė kraštuose atsiklijavusi |
| | | 3.3.5 | 300 | 30 | 10 | 0.062 | 8.3 | 688.89 | Bandinys įskilęs išilgai, klijų siūlė kraštuose atsiklijavusi |
| | Nekaitinti bandiniai | 4.3.1 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė daug atsiklijavusi kraštuose |
| | | 4.3.2 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė ne daug atsiklijavusi kraštuose |
| | | 4.3.3 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė atsiklijavusi kraštuose |
| | | 4.3.4 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė daug atsiklijavusi kraštuose |
| | | 4.3.5 | 300 | 30 | 10 | 0.066 | 8.3 | 733.33 | Klijų siūlė daug atsiklijavusi kraštuose |

P.3.4 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D2 klijuose, bandinių parametrai.

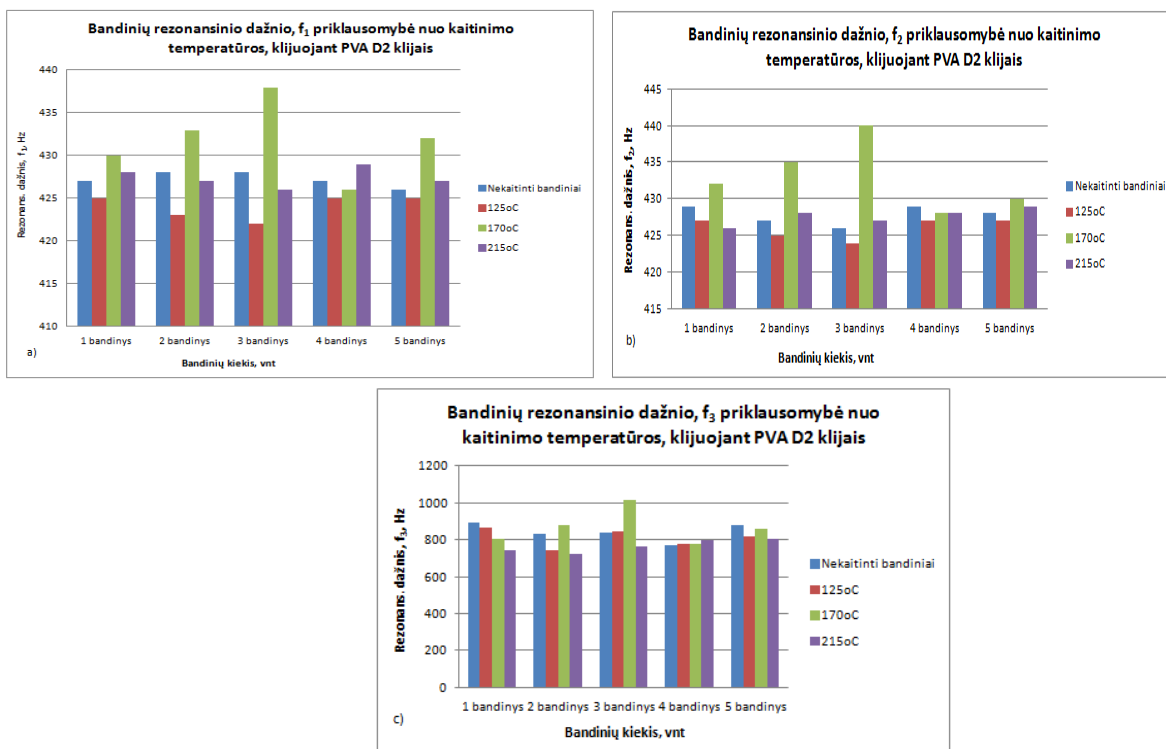
| Klijų rūšis | Bandinių kaitinimo t ^o , C | Bandinio žymėjimas | Rezonans. dažnis, f ₁ , Hz | Rezonans. dažnis, f ₂ , Hz | Rezonans. dažnis, f ₃ , Hz | Tampros modulis, E ₁ , MPa | Tampros modulis, E ₂ , MPa | Tampros modulis, E ₃ , MPa | Tampros modulis, E _{atskirų} , MPa |
|-------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| PVA D2 | 125 | 1.1.1 | 425 | 427 | 867 | 9966.40 | 10060.42 | 10369.04 | 10013.41 |
| | | 1.1.2 | 423 | 425 | 745 | 9872.82 | 9966.40 | 7656.19 | 9919.61 |
| | | 1.1.3 | 422 | 424 | 842 | 9826.19 | 9919.55 | 9779.68 | 9872.87 |
| | | 1.1.4 | 425 | 427 | 774 | 9966.40 | 10060.42 | 8263.85 | 10013.41 |
| | | 1.1.5 | 425 | 427 | 818 | 9966.40 | 10060.42 | 9230.11 | 10013.41 |
| | 170 | 2.1.1 | 430 | 432 | 803 | 10045.32 | 10138.98 | 8757.86 | 10092.15 |
| | | 2.1.2 | 433 | 435 | 876 | 10185.98 | 10280.29 | 10422.58 | 10233.14 |
| | | 2.1.3 | 438 | 440 | 1016 | 10422.58 | 10517.98 | 14020.21 | 10470.28 |
| | | 2.1.4 | 426 | 428 | 779 | 9859.30 | 9952.10 | 8242.18 | 9905.70 |
| | | 2.1.5 | 432 | 430 | 855 | 10138.98 | 10045.32 | 9928.86 | 10092.15 |
| | 215 | 3.1.1 | 428 | 426 | 741 | 9641.09 | 9551.20 | 7224.62 | 9596.15 |
| | | 3.1.2 | 427 | 428 | 723 | 9596.09 | 9641.09 | 6877.89 | 9618.59 |
| | | 3.1.3 | 426 | 427 | 761 | 9551.20 | 9596.09 | 7619.88 | 9573.65 |
| | | 3.1.4 | 429 | 428 | 795 | 9686.20 | 9641.09 | 8315.97 | 9663.64 |
| | | 3.1.5 | 427 | 429 | 802 | 9596.09 | 9686.20 | 8463.06 | 9641.14 |
| | Nekaitinti bandiniai | 4.1.1 | 427 | 429 | 890 | 10215.20 | 10311.11 | 11094.58 | 10263.15 |
| | | 4.1.2 | 428 | 427 | 831 | 10263.10 | 10215.20 | 9672.37 | 10239.15 |
| | | 4.1.3 | 428 | 426 | 838 | 10263.10 | 10167.41 | 9836.01 | 10215.25 |
| | | 4.1.4 | 427 | 429 | 770 | 10215.20 | 10311.11 | 8304.48 | 10263.15 |
| | | 4.1.5 | 426 | 428 | 876 | 10167.41 | 10263.10 | 10748.28 | 10215.25 |

P.3.5 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PU klėjais, bandinių parametrai.

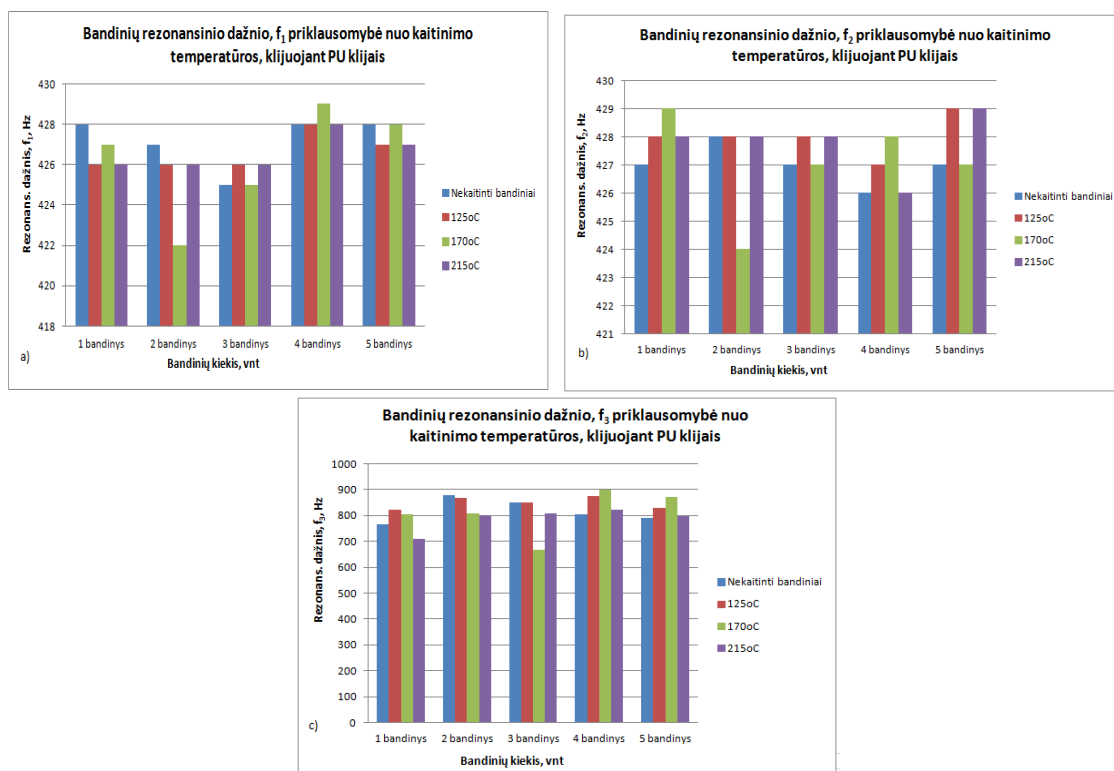
| Klijų rūšis | Bandinių kaitinimo t°, C | Bandinio žymėjimas | Rezonans. dažnis, f ₁ , Hz | Rezonans. dažnis, f ₂ , Hz | Rezonans. dažnis, f ₃ , Hz | Tampros modulis, E ₁ , MPa | Tampros modulis, E ₂ , MPa | Tampros modulis, E ₃ , MPa | Tampros modulis, E _{atskirų} , MPa |
|-------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| PU | 125 | 1.2.1 | 426 | 428 | 823 | 10013.35 | 10107.60 | 9343.29 | 10060.48 |
| | | 1.2.2 | 426 | 428 | 866 | 10013.35 | 10107.60 | 10345.13 | 10060.48 |
| | | 1.2.3 | 426 | 428 | 850 | 10013.35 | 10107.60 | 9966.40 | 10060.48 |
| | | 1.2.4 | 428 | 427 | 876 | 10107.60 | 10060.42 | 10585.43 | 10084.01 |
| | | 1.2.5 | 427 | 429 | 828 | 10060.42 | 10154.88 | 9457.17 | 10107.65 |
| | 170 | 2.2.1 | 427 | 429 | 804 | 9905.64 | 9998.65 | 8779.69 | 9952.15 |
| | | 2.2.2 | 422 | 424 | 807 | 9675.02 | 9766.94 | 8845.33 | 9720.98 |
| | | 2.2.3 | 425 | 427 | 667 | 9813.07 | 9905.64 | 6042.53 | 9859.36 |
| | | 2.2.4 | 429 | 428 | 900 | 9998.65 | 9952.10 | 11001.50 | 9975.37 |
| | | 2.2.5 | 428 | 427 | 872 | 9952.10 | 9905.64 | 10327.61 | 9928.87 |
| | 215 | 3.2.1 | 426 | 428 | 710 | 9551.20 | 9641.09 | 6632.78 | 9596.15 |
| | | 3.2.2 | 426 | 428 | 802 | 9551.20 | 9641.09 | 8463.06 | 9596.15 |
| | | 3.2.3 | 426 | 428 | 808 | 9551.20 | 9641.09 | 8590.16 | 9596.15 |
| | | 3.2.4 | 428 | 426 | 822 | 9641.09 | 9551.20 | 8890.42 | 9596.15 |
| | | 3.2.5 | 427 | 429 | 796 | 9596.09 | 9686.20 | 8336.90 | 9641.14 |
| | Nekaitinti bandiniai | 4.2.1 | 428 | 427 | 765 | 10263.10 | 10215.20 | 8196.98 | 10239.15 |
| | | 4.2.2 | 427 | 428 | 877 | 10215.20 | 10263.10 | 10772.84 | 10239.15 |
| | | 4.2.3 | 425 | 427 | 851 | 10119.73 | 10215.20 | 10143.55 | 10167.46 |
| | | 4.2.4 | 428 | 426 | 805 | 10263.10 | 10167.41 | 9076.59 | 10215.25 |
| | | 4.2.5 | 428 | 427 | 791 | 10263.10 | 10215.20 | 8763.63 | 10239.15 |

P.3.6 Lentelė. Termiškai modifikuotos ir nemodifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D4 klėjais, bandinių parametrai.

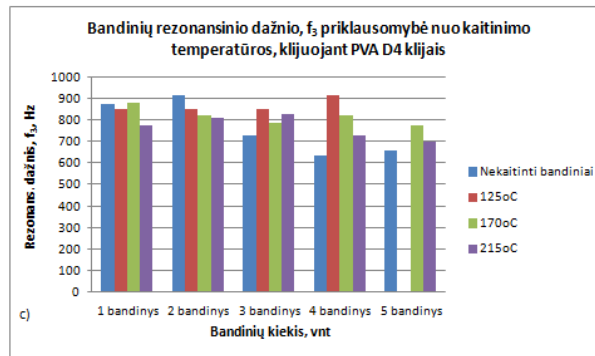
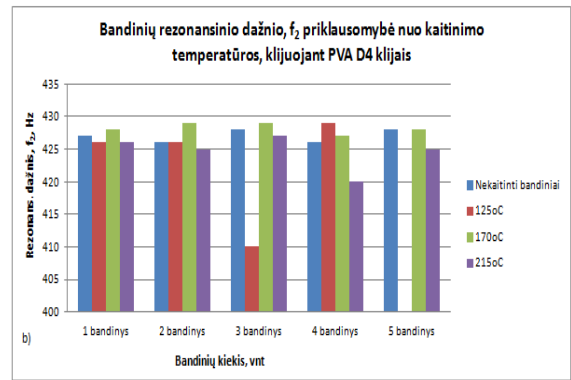
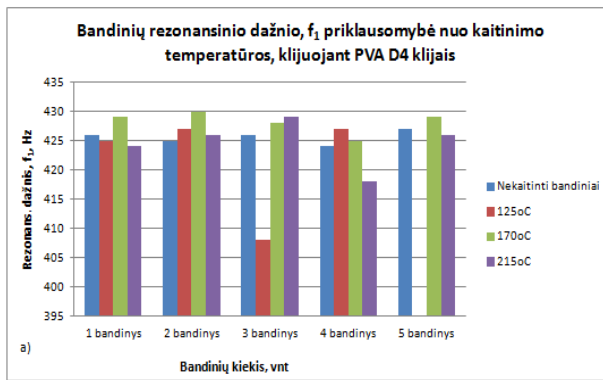
| Klijų rūšis | Bandinių kaitinimo t°, C | Bandinio žymėjimas | Rezonans. dažnis, f ₁ , Hz | Rezonans. dažnis, f ₂ , Hz | Rezonans. dažnis, f ₃ , Hz | Tampros modulis, E ₁ , MPa | Tampros modulis, E ₂ , MPa | Tampros modulis, E ₃ , MPa | Tampros modulis, E _{atskirų} , MPa |
|-------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| PU | 125 | 1.3.1 | 425 | 426 | 853 | 9966.40 | 10013.35 | 10036.87 | 9989.88 |
| | | 1.3.2 | 427 | 426 | 850 | 10060.42 | 10013.35 | 9966.40 | 10036.89 |
| | | 1.3.3 | 408 | 410 | 853 | 9185.03 | 9275.30 | 10036.87 | 9230.17 |
| | | 1.3.4 | 427 | 429 | 915 | 10060.42 | 10154.88 | 11548.95 | 10107.65 |
| | 170 | 2.3.1 | 429 | 428 | 878 | 9998.65 | 9952.10 | 10470.23 | 9975.37 |
| | | 2.3.2 | 430 | 429 | 821 | 10045.32 | 9998.65 | 9154.89 | 10021.99 |
| | | 2.3.3 | 428 | 429 | 788 | 9952.10 | 9998.65 | 8433.72 | 9975.37 |
| | | 2.3.4 | 425 | 427 | 822 | 9813.07 | 9905.64 | 9177.21 | 9859.36 |
| | | 2.3.5 | 429 | 428 | 772 | 9998.65 | 9952.10 | 8094.72 | 9975.37 |
| | 215 | 3.3.1 | 424 | 426 | 773 | 9461.73 | 9551.20 | 7862.08 | 9506.46 |
| | | 3.3.2 | 426 | 425 | 811 | 9551.20 | 9506.41 | 8654.07 | 9528.80 |
| | | 3.3.3 | 429 | 427 | 830 | 9686.20 | 9596.09 | 9064.31 | 9641.14 |
| | | 3.3.4 | 418 | 420 | 728 | 9195.84 | 9284.05 | 6973.35 | 9239.94 |
| | | 3.3.5 | 426 | 425 | 700 | 9551.20 | 9506.41 | 6447.25 | 9528.80 |
| | Nekaitinti bandiniai | 4.3.1 | 426 | 427 | 875 | 10167.41 | 10215.20 | 10723.76 | 10191.30 |
| | | 4.3.2 | 425 | 426 | 913 | 10119.73 | 10167.41 | 11675.42 | 10143.57 |
| | | 4.3.3 | 426 | 428 | 726 | 10167.41 | 10263.10 | 7382.51 | 10215.25 |
| | | 4.3.4 | 424 | 426 | 636 | 10072.16 | 10167.41 | 5665.59 | 10119.78 |
| | | 4.3.5 | 427 | 428 | 660 | 10215.20 | 10263.10 | 6101.25 | 10239.15 |



P.3.1 Pav. Termiškai modifikuotos ir nemandifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D2 klėjais, bandinių rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo kaitinimo temperatūros: a) – f_1 ; b) – f_2 ; c) – f_3 .



P.3.2 Pav. Termiškai modifikuotos ir nemandifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PU klėjais, bandinių rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo kaitinimo temperatūros: a) – f_1 ; b) – f_2 ; c) – f_3 .



P.3.3 Pav. Termiškai modifikuotos ir nemandifikuotos ąžuolo medienos, suklijuotos PVA D4 klėjais, bandinių rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo kaitinimo temperatūros: a) – f_1 ; b) – f_2 ; c) – f_3 .