Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Eksterjere naudojamų akrilinių medienos dangų modifikavimo įtaka adhezijos stipriui

Baigiamasis magistro projektas

Silvija Balvočiūtė
Projekto autorė

Doc. Kristina Ukvalbergienė
Vadovė

Kaunas, 2018

Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijosir dizaino fakultetas

Eksterjere naudojamų akrilinių medienos dangų modifikavimo įtaka adhezijos stipriui

Baigiamasis magistro projektas
Medienos inžinerija (621J53001)

Silvija Balvočiūtė
Projekto autorė

Doc. Kristina Ukvalbergienė
Vadovė

Doc. Darius Albrektas
Recenzentas

Kaunas, 2018

Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Silvija Balvočiūtė

Eksterjere naudojamų akrilinių medienos dangų modifikavimo įtaka adhezijos stipriui

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Silvijos Balvočiūtės, baigiamasis projektas tema „Eksterjere naudojamų akrilinių medienos dangų modifikavimo įtaka adhezijos stipriui“ 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 mokėjusi.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)	(parašas)

Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Medienos inžinerija (621J53001)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui(-ei): *Silvijai Balvočiūtei.*

Baigiamojo projekto tema: Eksterjere naudojamų akrilinių medienos dangų modifikavimo įtaka adhezijos stipriui (*Modification Effect of Exterior Acrylic Wood Coatings on Adhesion Strength*).

2. Projekto tikslas ir uždaviniai: tikslas - ištirti ZnO ir CeO_2 nanodalelių įtaką adhezijos stipriui skaidriose akrilinėse dangose. Darbo uždaviniai: išanalizuoti pušies medienos fizikinių savybių bei šiurkštumo parametrų įtaką modifikuotų akrilinių (AK) apdailos medžiagų adhezijos stipriui prie medienos paviršiaus; įvertinti ZnO nanodalelių koncentracijos (0 %, 1 %, 3 % ir 5 %) įtaką modifikuotų AK apdailos medžiagų adhezijos stipriui prie medienos paviršiaus ir suirties pobūdžiui; įvertinti CeO_2 nanodalelių koncentracijos (0 %, 1 %, 3 % ir 5 %) įtaką modifikuotų AK apdailos medžiagų adhezijos stipriui prie medienos paviršiaus ir suirties pobūdžiui.

3. Pradiniai Projekto duomenys: informacija apie adhezijos stiprio matavimo metodą, moksliniai straipsniai.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos: darbas turi būti orginalus bei atitikti magistrinio baigiamajam projektui keliamus reikalavimus.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra: įvadas, literatūros apžvalga ir problemos analizė, tyrimo metodika ir įranga, tyrimo rezultatai ir analizė, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas.

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis: nėra.

7. Projekto konsultantai: nėra.

Magistrantas: .....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Turinys

Įvadas ... **13**
1. Literatūros apžvalga ... **15**
1.1. Spygliuočių medienos stuktūros savybių apžvalga ... 15
1.1.1. Spygliuočių medienos makrostruktūra ... 15
1.1.2. Spygliuočių medienos mikrostrūktūra ir jos įtaka savybėms ... 15
1.1.3. Spygliuočių medienos fizikinės ir mechaninės savybės ... 16
1.2. Medienos apdailos medžiagų ir jų priedų apžvalga ... 18
1.2.1. Apdailos medžiagų cheminė sudėtis ... 18
1.2.2. Akrilinės apdailos medžiagos ... 19
1.2.3. Vandens pagrindo dangos ir jų savybės ... 19
1.3. Polimerinių medžiagų ir medienos tarpusavio sąveikos mechanizmas ... 21
1.3.1. Adhezijos reiškinių teorijos ... 21
1.3.2. Pagrindiniai adhezijos stiprio nustatymo metodai ... 22
1.4. Medienos struktūros ir fizikinių savybių įtaka polimerinių medžiagų adhezijos stipriui ... 22
1.5. Medienos paviršiaus šiurkštumo įtaka polimerinių medžiagų adhezijos stipriui ... 23
1.6. Polimerinių medžiagų modifikavimo nanodalelėmis įtaka adhezijos stipriui ... 26
2. Tyrimo metodika ir įranga ... **30**
2.1. Bandinių paruošimas ... 30
2.2. Apdailos medžiagų paruošimas ... 31
2.3. Medienos paviršiaus šiurkštumo matavimas ... 32
2.4. Apdailos adhezijos stiprio matavimas ... 33
2.5. Tyrimo duomenų statistinis apdorojimas ... 34
3. Tyrimo rezultatai ir aptarimas ... **37**
3.1. Pušies medienos tankio, drėgnio ir metinis rievių kiekio matavimas ... 37
3.2. Pušies medienos paviršiaus šiurkštumo tyrimas ... 38
3.3. Pušies medienos apdailos sistemų adhezijos stiprio tyrimas ... 47
3.3.1. Apdailos dangų su ZnO nanodalelėmis pušies medienos bandinių adhezijos stipris ... 47
3.3.2. Apdailos dangų su CeO_2 nanodalelėmis pušies medienos grupių adhezijos stipris ... 50
Išvados ... **54**
Literatūros sąrašas ... **55**
Priedai ... **61**

Paveikslų sąrašas

2.1 pav. Šiurkštumo parametrų matavimo schema 33
2.2 pav. Bandinio paruošimo adhezijos stiprio matavimui schema: 1 – nutraukimo cilindras; 2 – sanklija; 3 – apdailos sistema; 4 – medienos bandinys 33
2.3 pav. Bandinio tvirtinimo griebtuose schema: 1 – viršutinis griebtas; 2 – nutraukimo cilindras; 3 – bandinys; 4 – apatinis griebtas 34
3.1 pav. Pušies medienos bandinių grupių vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje 38
3.2 pav. Pušies medienos bandinių grupių vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje 39
3.3 pav. Pušies medienos bandinių grupių vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a skersai medienos pluošto 40
3.4 pav. Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje 41
3.5 pav. Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje 42
3.6 pav. Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z skersai medienos pluošto 43
3.7 pav. Pušies medienos bandinių grupių didžiausias profilio mikronelygumų aukštis R_{max} išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje 44
3.8 pav. Pušies medienos bandinių grupių didžiausias profilio mikronelygumų aukštis R_{max} išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje 45
3.9 pav. Pušies medienos bandinių grupių didžiausias profilio mikronelygumų aukštis R_{max} skersai medienos pluošto 46
3.10 pav. Pušies medienos bandinių grupių (AKP, AKP1ZN, AKP3ZN ir AKP5ZN) adhezijos stiprio rezultatai: a – adhezijos stiprio reikšmių pasiskirstymas; b – vidutinių adhezijos stiprio reikšmių priklausomybė nuo ZnO nanodalelių koncentracijos apdailos medžiagoje 47
3.11 pav. Apdailos sistemų su ZnO nanodalelėmis adhezijos stiprio priklausomybė nuo pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio (R_a) skersai medienos pluošto 48
3.12 pav. Pušies medienos bandinių apdailintų su apdailos dangų sistemomis, kur ZnO nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 % ir 5 % tipiniai suirties pobūdžiai 49
3.13 pav. Pušies medienos bandinių grupių (AKP, AKP1CE, AKP3CE ir AKP5CE) adhezijos stiprio rezultatai: a – adhezijos stiprio reikšmių pasiskirstymas; b – vidutinių adhezijos stiprio reikšmių priklausomybė nuo CeO_2 nanodalelių koncentracijos apdailos medžiagoje 50

3.14 pav. Apdailos sistemų su CeO_2 nanodalelėmis adhezijos stiprio priklausomybė nuo pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio (R_a) skersai medienos pluošto 51
3.15 pav. Pušies medienos bandinių apdailintų su apdailos dangų sistemomis, kur CeO_2 nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 % ir 5 % tipiniai suirties pobūdžiai 52

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Tyrimui naudojamų bandinių duomenys 30
2.2 Tyrime naudojamų visų pušies medienos bandinių išmatuoti vidutiniai duomenys 31
2.3 lentelė. Akrilinio lako „EM1401-0030LVNY Laqvin clear 30“ techniniai duomenys 31
2.4 lentelė. Nanodalelių NANOBYK-3820 ir NANOBYK-3810 techniniai duomenys 32
3.1 lentelė. Pušies medienos bandinių grupių vidutinio tankio, drėgnio ir metinių rievių rezultatai 37
3.2 lentelė. Apdailintų pušies medienos bandinių grupių su ZnO nanodalių danga procentiniai suirties pobūdžiai 49
3.3 lentelė. Apdailintų pušies medienos bandinių grupių su CeO_2 nanodalių danga suirties pobūdžiai 52

Balvočiūtė, Silvija. Eksterjere naudojamų akrilinių medienos dangų modifikavimo įtaka adhezijos stipriui. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Kristina Ukvalbergienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.
Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Technologijų mokslai (08T), Medienos dirbinių technologijos.
Reikšminiai žodžiai: pušies mediena, akrilinė apdailos medžiaga, ZnO nanodalelės, CeO_2 nanodalelės, adhezijos stipris.
Kaunas, 2018. 60 p.

Santrauka

Eksterjere naudojamų medienos gaminių eksploatacinis ir estetinis ilgaamžiškumas yra svarbus rodiklis šiuolaikinėje medienos pramonėje [1,2]. Skaidrios apdailos medžiagos, kurios yra naudojamos medienos natūralios tekstūros ir spalvos išsaugojimui pasižymi mažu atsparumu įvairiems žalingiems atmosferiniams veiksniams. Tačiau, nedidelis kiekis neorganinių nanodalelių, tokių kaip: cinko oksido (ZnO), cerio dioksido (CeO_2) ir titano dioksido (TiO_2), įmaišytų į skaidrių vandens pagrindo apdailos medžiagų struktūrą, yra perspektyvus medienos apdailos medžiagų modifikavimo būdas, kuris ženkliai pagerina apdailintų medienos gaminių apsaugą nuo kenksmingų atmosferinių sąlygų, ypatingai – ultravioletinės spinduliuotės (UV). Yra žinoma, kad didėjant nanodalelių kiekiui apdailos medžiagos struktūroje, pastarosios gali geriau įsiskverbti ir pasiskirstyti medienos paviršiniuose sluoksniuose, dėl to gali kisti ir apdailos adhezijos stiprumas prie medienos paviršiaus, tačiau tai dar nėra plačiai ištirta. Todėl šiame darbe siekta įvertinti ZnO ir CeO_2 nanodalelių, kaip neorganinių gamtinių metalo oksido priedų, įtaką skaidrios vandens pagrindo akrilinės medienos apdailos dangos (AK) adhezijos stipriui prie spygliuočių medienos paviršiaus.

Šiam tyrimui atlikti pasirinkti pušies (lot. *Pinus sylvestris*) medienos bandiniai, kurių matmenys buvo 45 × 45 × 20 mm. Pramoniu būdu išdžiovinti spindulinio pjūvio ir be matomų defektų obliuoti pušies medienos bandiniai buvo šlifuojami rankiniu būdu naudojant atviro tipo P120 grūdėtumo abrazyvinę medžiagą (pagal FEPA). Siekiant sumažinti medienos anatominių ir paviršiaus apdirbimo veiksnių įtaką, įvertintas vidutinis medienos tankis, drėgnis, metinių rievių skaičius 1 cm bei paviršiaus apdirbimo kokybė. Išmatuoti šiurkštumo parametrai R_a, R_z ir R_{max} išilgai ir skersai medienos pluošto. Vėliau pušies medienos bandiniai buvo dengiami AK lako danga, kurioje buvo įmaišytos šešios skirtingos ZnO, CeO_2 nanodalelių koncentracijos (iki 5%). Medienos dangų adhezijos stipris buvo įvertintas naudojant nuplėšimo (angl. *pull-off*) metodą. Po tyrimo, kiekvieno bandinio suirties pobūdis buvo įvertintas vizualiai.

Nustatyta, kad padidinus ZnO ir CeO_2 nanodalelių kiekį AK dangų struktūroje, adhezijos stipris prie pušies medienos paviršiaus ženkliai keičiasi. Įterptos CeO_2 nanodalelės į akrilinę apdailos medžiagą pagerino adhezines šios dangos savybęs. CeO_2 nanodalelių 5 % koncentracija apdailos dangoje parodė geriausius adhezijos stiprio rezultatus. Tačiau įterptos ZnO nanodalelės akrilinėje apdailos medžiagoje rezultatai neparodė tokių gerų adhezijos stiprio rezultatų kaip su CeO_2 nanodalelės.

Balvočiūtė, Silvija. Modification Effect of Exterior Acrylic Wood Coatings on Adhesion Strength. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Kristina Ukvalbergienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Technological Sciences (08T).
Keywords: pine wood, acrylic coating, ZnO nanoparticles, CeO_2 nanoparticles, adhesion strength.
Kaunas, 2018. 60 pages.

Summary

Nowadays from the industrial point of view, aesthetic view and service life of the wood products, which are exploited in outdoor conditions, is an important indicator [1,2]. Clear wood coatings, which are mostly used to express the natural texture and colour of the wood, have a low resistance against harmful atmospheric factors. However, small amount of inorganic nanoparticles, e.g. most commonly used zinc oxide (ZnO), cerium dioxide (CeO_2) and titanium dioxide (TiO_2) incorporated in transparent water-based coating stucture have a promising photostability of the coating system against harmful atmospheric factors and especialy – against ultraviolet light rays. Moreover, there is a theory, that increasing the amount of nanoparticles in coating structure, the latter's can penetrate and distribute preferably in wood surface layers which can lead to the different interlock strength, but it's not yet well investigated. Thats why the main task of this work is to evaluate ZnO and CeO_2 nanoparticles, as additives of inorganic metal oxide, impact on the adhesion stregth of clear water-based acrylic wood coating (AK) to surface of softwood.

For the research the samples of pine (*Pinus sylvestris* L.) wood were used with dimensions of 45×45×20 mm. Pine wood samples were defect free, kiln dried, radialcutand sanded (120-grit, by FEPA). In order to reduce the influence of wood anatomy and surface processing, the average wood density, surface grain direction, moisture content, number of the annual rings per 1 cm were evaluated. Early and latewood surface roughness parameters R_a, R_z and R_{max} were measured using contact stylus profilometer „Mahr Marsurf PS1". Later, pine wood samples were coated with transparent water-based acrylic (AK) wood coatingcontaining six different concentrations of the ZnO and CeO_2 nanoparticles (up to 5 %). The adhesion strength was assessed using the pull-off method. After the each test, the nature of the fracture was evaluated visually.

It was determined that increasing concentration of ZnO and CeO_2 nanoparticles in AK coating structure, the adhesion strength to pine wood surface change significantly. CeO_2 nanoparticles, incorporated into acrylic coating, increased the adhesion properties of the coating. The highest adhesion stength was observed when the amount of CeO_2 nanoparticles in coating structure was

5%. However, the results of ZnO nanoparticles in acrylic coating structure did not demonstrate such a good adhesion strength as with CeO_2 nanoparticles additives.

Įvadas

Mediena ir medienos gaminiai yra naudojami įvairiems statybiniams ir gamybiniams tikslams. Atmosferinės aplinkos sąlygos, tokios kaip UV spinduliai, lietus, ekologinė tarša ir kitų biologinių veiksnių įtaka veikia medienos, eksploatuojamos eksterjere, paviršių ir sukelia negrįžtamus spalvos pokyčius, blizgumo sumažėjimą, stipruminių savybių pakitimą, dėl ko formuojasi įvairūs paviršiaus įtrūkimai bei įplyšimai, vyksta medienos erozija, kinta medienos paviršiaus šiurkštumas. Priklausomai nuo panaudojimo (interjere ar eksterjere) ir norint išsaugoti bei kontroliuoti įvairias medienos fizikines, mechanines ir dekoratyvines savybes, mediena ir jos gaminiai, kaip organinis gamtinis išteklis, turi būti papildomai apdorojami (impregnuojami, koncervuojami) arba dengiami įvairiomis apdailos medžiagomis, kurios mažina įvairių žalingų veiksnių įtaką.

Mediena – tai priemonė, išreikšianti kūrinio kompozicines idėjas, taikoma įvairiose srityse taikoma kaip estetinė, unikalių savybių medžiaga [3,4]. Siekiant išsaugoti medienos tekstūrą, ji yra dengiama skaidriomis apdailos medžiagomis, tačiau tokių dangų ilgaamžiškumas yra gana trumpas. Vartotojams labiau priimtinos skaidrios apdailos medžiagos, nes nepaslepiama, o kaip tik parodoma išraiškinga medienos tekstūra. Tam tiksliui naudojamos skaidrios apdailos medžiagos. Eksploatuojant gaminius interjere, tai beveik nesudaro jokių problemų, tačiau eksploatuojant medienos gaminius lauke – tai tampa didžiuliu iššūkiu, kurio mokslininkams vis dar nepavyksta iki galo išspręsti. Po ilgo eksploatavimo atmosferinėmis sąlygomis skaidrios apdailos dangos pradeda irti, skilinėti, galiausiai atsilupa nuo medienos paviršiaus. Todėl norint to išvengti ir nepaslėpti medienos paviršiaus yra būtina sustiprinti skaidrių apdailos medžiagų ne tik apsaugines, bet ir adhezines savybes. Vienas iš būdų tai padaryti – įvairių priedų įterpimas į apdailos dangos sistemą.

Pastaruoju metu norint pagerinti lauke eksploatuojamų medienos skaidrių apdailos medžiagų ilgaamžiškumą yra pasitelkiamos nanokompozitinės medžiagos, t.y. kai į apdailos medžiagų struktūrą nedideliais kiekias (iki 5 %) yra įvedamos įvairios gamtinės ir organinės kilmės nanodalelės, kuriomis siekiama sumažinti atmosferinių aplinkos veiksnių įtaką ir prailginti medienos dangų eksploatavimo trukmę. Daugelio tyrimų metu nustatyta, jog nanodalelės gerai apsaugo dangas nuo atmosferinių sąlygų ir prailgina dangos plėvelės gyvavimo trukmę. Tačiau dar nėra iki galo ištirta kaip nanodalelės, esančios apdailos medžiagoje, veikia kitas savybes, tokias kaip adhezijos stipris, tačiau jas svarbu ištirti. Kadangi medienos paviršių sukibimo mechanizmo supratimas yra būtinas, siekiant išplėsti plėvelės formavimo dangų tarnavimo laiką, ypač naudojamų eksterjere.

Šio darbo tikslas yra ištirti ZnO ir CeO_2 nanodalelių įtaką adhezijos stipriui skaidriose akrilinėse dangose.

Šiam tikslui pasiekti buvo išsikelti tokie pagrininiai uždaviniai:

1. Išanalizuoti pušies medienos fizikinių savybių bei šiurkštumo parametrų įtaką modifikuotų akrilinių (AK) apdailos medžiagų adhezijos stipriui prie medienos paviršiaus;
2. Įvertinti ZnO nanodalelių koncentracijos (0 %, 1 %, 3 % ir 5 %) įtaką modifikuotų AK apdailos medžiagų adhezijos stipriui prie medienos paviršiaus ir suirties pobūdžiui;
3. Įvertinti CeO_2 nanodalelių koncentracijos (0 %, 1 %, 3 % ir 5 %) įtaką modifikuotų AK apdailos medžiagų adhezijos stipriui prie medienos paviršiaus ir suirties pobūdžiui.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Spygliuočių medienos stuktūros savybių apžvalga

1.1.1. Spygliuočių medienos makrostruktūra

Mediena yra anizotropinė medžiaga, jos savybės visomis kryptimis skirtingos [5]. Taip pat, savo savybėmis labai skiriasi spygliuočių ir lapuočių mediena. Spygliuočių ir lapuočių mediena yra sudaryta iš skirtingų ląstelių tipų ir pasižymi skirtinga medienos struktūra [5]. Spygliuočių mediena turi tolygesnę struktūrą nei lapuočių mediena, nes didžiają dalį (90 – 95 %) medienos tūrio sudaro tracheidės [5-6], kurios vidutiniškai yra 3 – 4 mm ilgio ir 0,025 – 0,045 mm pločio [5]. Tracheidės priskiriamos prozenhiminėms ląstelėms ir būna dviejų tipų – ankstyviosios ir vėlyvosios. Ankstyvosios tracheidės yra poringos, turi ploną sienelę ir plačią ertmę (spinduline kryptimi ląstelės yra 1,5 – 2,5 karto platesnės už vėlyvąsias) vandeniui migruoti, tuo tarpu vėlyvosios – atsakingos už mechanines medienos savybes, dėl 1,5 – 3,5 karto storesnės sienelės [6]. Tracheidės yra pailgos ląstelės smailėjančiais galais, pasižymi storesne antrine ląstelės sienele [5]. Vienas būdingesnių tracheidžių požymių – apvaduotojų porų susitelkimas ląstelių galuose, tačiau tik spindulinėse sienelėse, kurios gali būti matomos ankstyvojoje medienoje. Sąlyčio taškuose su šerdies spinduliais, tracheidžių spindulinėse sienelėse galima rasti paprastųjų porų [6]. Tracheidžių galai yra persidengę viena kitos atžvilgiu, dėl to vanduo per ląstelių spindulines sieneles gali būti transportuojamas ilgais atstumais. Tai taip pat nusako geresnes stiprumines savybes išilgai medienos pluošto [5]. Tracheidės skersiniame pjūvyje yra kvadrato formos ir sudaro taisyklingas eiles. Šis požymis yra tipiškas spygliuočių medienai [6]. Kai kurios spygliuočių medienos rūšys turi susitelkusias parenchimines ląsteles šerdies spinduliuose, kaip ir sakatakius. Šios parenchiminės ląstelės nėra tipiškos visos spygliuočių medienos rūšims, tačiau būdingos tokioms grupėms kaip *Taxodium, Chamaecyparis, Thuja, Cupressus* ir *Sequiona,* taip pat kartais randamos *Tsuga, Larix, Pseudotsuga* ir *Abies* šeimų rūšyse. Visos spygliuočių medienos rūšys turi vienareikšmius arba / ir dalinai ksiliarinius (šerdies) spindulius spindulinėse parenchiminėse ląstelėse ir *Pinus, Picea, Larix, Pseudotsuga* ir *Tsuga* šeimų atžvilgiu spindulines tracheides taip pat [5].

1.1.2. Spygliuočių medienos mikrostrūktūra ir jos įtaka savybėms

Tracheidžių ląstelių sienelės yra sudarytos iš amorfinės viduriniosios lamelės, pirminės sienelės ir daugiasluoksnės antrinės sienelės. Celiuliozės mikrofibrilių orientacija yra skirtinga visose ląstelių sienelėse ir tiesiogiai nulemia ląstelės sienelės savybes [5]. Vidurinioji lamelė yra tarpsluoksninė sritis randama prie gretimų ląstelių sienelių, kitaip tariant – tarpląstelinė medžiaga [5-6], ši zona daugiausia apima pektinius junginius ir pasižymi didelėmis stipruminėmis savybėmis, dėl joje esančio didelio kiekio lignino. Pirminė (išorinė) sienelė yra plona (0,1 – 0,2 μm), plastiška, todėl

joje vyraujantis celiuliozės mikrofibrilių pasvirimo kampas yra atsitiktinis, išskyrus ląstelės kampuose. Mikrofibrilės yra sujungtos į hemiceliuliozės ir pektino struktūrinį kompleksą [5]. Antrinė sienelė yra sudaryta iš trijų sluoksnių: išorinio (S_1), vidurinio (S_2) ir vidinio (S_3). Šioje sienelėje celiuliozės mikrofibrilės yra išsidėsčiusios įvairiomis kryptimis ir kampais. S_1 sluoksnyje ląstelių kampas su išilgine kryptimi spygliuočių medienoje sudaro ~ 60°. S_2 sluoksnyje, kuris yra pats storiausias ir sudaro apie 1,5 – 3,5 μm, mikrofibrilių pasvirimo kampas išilgine ašimi yra iki 30°. Taip pat reikia pastebėti, kad S_2 sluoksnyje lamelių sluoksnių skaičius yra tiesiogiai susijęs su medienos rievėmis, t.y. ankstyvojoje rievėje S_2 ląstelių lamelių sluoksnių skaičius gali siekti 30 – 40, o tuo tarpu vėlyvojoje rievėje 5 ir daugiau karto lyginant su ankstyvąja. S_3 sluoksnyje ląstelių pasvirimo kampas artimas 90° [6].

1.1.3. Spygliuočių medienos fizikinės ir mechaninės savybės

Medienos rūšis (lot. *Pinus silvestris*) yra vadinama paprastąja arba škotiška pušimi [6]. Mediena yra minkšta, sakinga, nelanksti, turi platų gelsvą arba rusvai baltą balaną ir rudą branduolį. Paprastosios pušies rievės yra gerai išreikštos, ryškios, o sakatakiai gausūs. Sausose miškavietėse užaugusios pušies vėlyvoji mediena yra gerai išsivysčiusi ir sudaro 30 % bendro medienos tūrio. Jos balana yra siauresnė, branduolys ryškesnis. Drėgnesnėse augavietėse užaugusios pušies vėlyvoji mediena sudaro apie 20 % bendro medienos tūrio ir laikoma mažiau vertingesnė [6]. Šios medienos galinio paviršaus rievėje matomas stipriai išreištas perėjimas iš ankstyvosios medienos į vėlyvąją [9]. Taip pat randami dideli sakatakiai su plonasienėmis epitelio ląstelėmis. Skersiniame pjūvyje tracheidžių poros yra beveik vienodos. Parenchiminių ląstelių su tracheidėmis sąlyčio zonose matomas nedidelis kiekis fenestriforminių porų. Liestiniame (tangentiniame) paviršiuje vidutinis spindulių aukštis yra nuo 8 iki 15 ląstelių. Struktūroje išreikšti sakatakiai su plonasienėmis epitelinėmis ląstelėmis [8].

Lietuvoje atliktame pušies medienos (lot. *Pinus silvestris*) savybių tyrime buvo nustatyta, kad augavietės drėgnumas ir derlingumas įtakoja medienos rievių plotį bei ankstyvosios ir vėlyvosios medienos kiekybinį santykį pačioje rievėje. Pastebėta, kad drėgnose, tačiau nederlingose augavietėse pušies medienos vidutinis rievės plotis yra mažas ir sudaro 1,64 mm, o tuo tarpu vėlyvoji mediena metinėje rievėje – tik 34,70 %. Tuo tarpu, reikšminga augavietės įtaka pušies medienos tankio variacijai nebuvo nustatyta. Vidutinis pušies medienos, augančios Lietuvos regionuose, tankis sudarė 572 – 586 km/m^3 [10]. Lenkijos mokslininkai nustatė, kad sėjamosiose ir naujai formuojamose augavietėse paprastosios pušies branuolinės medienos tankis siekia 304 – 347 km/m^3, o natūraliai susiformavusiose augavietės šis tankis yra 1,3 karto didesnis. Tačiau, dirbtinai suformuotose plantacijose, pušies medienos rievių plotis yra iki 3,6 karto didesnis ir sudaro vidutiniškai 4,6 – 7,1 mm, kas ženkliai nulemia medienos stiprumines savybes, kurios gali sumažeti

net iki 1,9 karto [11]. Portugalijoje atliktas tyrimas parodė, kad vidutinis pušies medienos (lot. *Pinus silvestris*) tankis ankstyvojoje metinėje rievėje sudaro 396 – 490 km/m^3, vėlyvojoje – 672 – 834 km/m^3, o vidutinis rievių plotis svyruoja nuo 2,86 mm iki 3,72 mm [12].

Estijos mokslininkai atliko tyrimą, kuriame buvo nustatyta paprastosios pušies stipruminių savybių priklausomybė nuo medienos išbrinkio. Gauta, kad didžiausias medienos brinkimas vyksta naudojant organines medžiagas vandens pagrindo tirpaluose ir tai stipriai veikia medienos stiprumines savybes. Tuo tarpu, paprastosios pušies balaninė mediena, išbrinkinta naudojant etanolio vandens pagrindo tirpalą, turi geresnes elastines savybes [13].

Įvairios pušies medienos fizikinės savybės ir jų vertės [6]: ankstyvosios medienos liestinis nuodžiuvis – 6,7 %, vėlyvosios medienos – 7,5 %; didžiausias spindulinis nuodžiūvis – 4,5 % didžiausias liestinis (tangentinis) nuodžiūvis – 8,4 %; tūrinis išbrinkimo koeficientas 0,51 %; spindulinis – 0,18 %, liestinis – 0,31%; vidutinis normalizuotas medienos tankis – 505 km/m^3; medienos linijinio plėtimosi koeficientas išilgai pluošto – $4{,}2\times10^{-6}$, spinduline kryptimi – $15{,}0\times10^{-6}$, liestine (tangentine) – $29{,}0\times10^{-6}$.

Svabu įvertinti ir pušies medienos (lot. *Pinus silvestris*) mechanines savybes, kurios yra tiesiogiai susijusios su medienos fizikinėmis savybėmis. Lenkijoje atliktas tyrimas, kurio metu buvo vertinamos škotiškos pušies tempimo išilgai medienos pluošto (ankstyvosios ir vėlyvosios medienos) stipruminės savybės prie skirtingo medienos drėgnio. Nustatyta, kad sausos medienos (t.y. išdžiovintos iki 8% drėgnio) tempimo stipris: ankstyvosios – 51,9 – 56,9 MPa, vėlyvosios – 136,0 – 174,4 MPa, o tuo tarpu esant šlapios (t.y. virš pluošto soties ribos) stipris: ankstyvosios – 31,5 – 39,9 MPa, vėlyvosios 73,9 – 85,9 MPa [14]. Dar vienas svarbus aspektas yra medienos terminis apdorojimas. Tai viena iš pagrindinių technologinių operacijų, reikalinga medienos fizikinių savybių kontroliavimui (pvz. medienos matmenų, drėgnio stabilumui ir kt.) veikia ir pušies medienos mechanines savybes. Graikijos mokslininkai ištyrė, kad didėjant terminiam paprastosios pušies medienos apdorojimo laikui prie 200 °C, medienos stipruminės savybės mažėja. Po 4 val. terminio apdorojimo, medienos atsparumas statiniam lenkimui sumažėjo 1,2 karto, o po 6 val. – 1,4 karto [15]. Panašų tyrimą atliko ir Turkijos mokslininkai, kurie tyrė paprastosios pušies mechaninių savybių pokyčius medieną termiškai apdorojant skirtingose temperatūrose (prie 120 °C, 150 °C ir 180 °C) nuo 2 iki 10 valandų. Rezultatai parodė, kad ilgėjant terminio apdorojimo trukmei, atsparumas gniuždymui prie visų apdorojimo temperatūrų sumažėjo 6,2% – 25,4%, atsparumas statiniam lenkimui 9,6% – 32,7%. Pušies medienos elastiškumas po 10 val. terminio apdorojimo prie visų temperatūrų sumažėjo atitinkmai 13,9% – 32,1%, o medienos kietumas (pagal Janką) galiniame paviršiuje 18,1% – 41,0%, skersiniame – 9,6% – 27,4%, liestiniame 12,4% – 38,7%.

Terminio apdorojimo temperatūra ir jo trukmė taip pat stipriai veikė tempimo stiprio (skersai medienos pluošto) vertes. Didėjant temperatūrai ir trukmei, stipris sumažėjo net iki 46,2 % [16].

Pagrindinės pušies medienos mechaninės savybės ir jų vertės, kai medienos drėgnis ω = 12 % [6]: tempimas statmenai pluošto spinduline kryptimi – 5,0 MPa, liestine (tangentine) – 3,0 MPa; stipris gniuždant išilgai pluošto – 48,5 MPa; sąlyginis stipris gniuždant statmenai pluošto spindulinį paviršių – 5,2 MPa, liestinį – 7,6 MPa; stipris lenkiant prie – 86,0 MPa; stipris skeliant išilgai pluošto spinduline kryptimi – 7,5 MPa, tangentine kryptimi – 7,3 MPa; smūginis tąsumas – 4,1 J/cm^2; pasipriešinimas spinduliniam perskėlimui – 11,2 N/mm, tangentiniam perskėlimui – 11,1 N/mm; galinio paviršiaus medienos kietumas (pagal Janką) – 28,0 N/mm^2, spindulinio – 23,5 N/mm^2, liestinio – 24,5 N/mm^2; pušies ankstyvosios medienos mikrokietumas – 20,6 N/mm^2, vėlyvosios medienos – 105,4 N/mm^2.

1.2. Medienos apdailos medžiagų ir jų priedų apžvalga

1.2.1. Apdailos medžiagų cheminė sudėtis

Apdailos medžiagos susideda iš cheminių medžiagų komplekso, kuriuos galima suskirstyti į keturias pagrindines komponentų grupes: rišančiųjų medžiagų (plevėdariai), lakiųjų medžiagų (tirpiklių), pigmentų ir priedų [17]. Rišančiosios medžiagos – pagrindinė sudedamoji dalis, kuri nusako apdailos dangos savybes ir jos sukietinimo būdą. Rišančiosios medžiagos skirstomos į natūralias ir sintetines. Natūraliems plevėdariams yra priskiriami: džiūstantys aliejai, modifikuoti džiūstantys aliejai, natūralios dervos, modifikuotos natūralios dervos, celiuliozės dariniai. Sintetiniai plevėdariai yra alkidai, poliuretanai, amino dervos, akrilai ir kt.

Apie 30 – 50 % apdailos dangų yra sudarytos tirpiklio pagrindu, išskyrus miltelines ir daug sausųjų medžiagų turinčias dangas. Tirpikliai gali būti organiniai skysčiai arba vanduo. Dažniausiai medienos pramonėje naudojami organiniai tirpikliai, t.y. mineralinis spiritas, metilelitketonas, butanolis, toluenas ir ksilenas [18]. Į medienos apdailos medžiagas tirpikliai dedami dėl daugelio priežasčių. Viena iš pagrindinių tirpiklių funkcijų apdailos sistemoje yra dervos skaidymas bei klampumo reguliavimas, tam kad būtų lengviau dengti apdailos medžiagą. Tirpikliai padeda reguliuoti apdailos medžiagos savybes, tokias kaip pagerinti jos išpurškimą ant paviršių, sumažinti dangos džiūvimo laiką. Tačiau griežtėjant lakiųjų organinių junginių panaudojimo reikalavimams, vis labiau pradėtos naudoti vandens pagrindo apdailos medžiagos. Vandens pagrindo apdailos medžiagos turi mažai lakiųjų organinių tirpiklių arba iš vis jų savo sudėtyje neturi.

Kiti apdailos medžiagos sudedamieji cheminiai elementai – pigmentai. Tai smulkios ir netirpios spalvinančios dalelės, kurios yra išsklaidomos apdailos medžiagoje [19-20]. Pigmentai gali būti šių

rūšių: natūralūs ir sintetiniai arba neorganiniai ir organiniai. Pagrindinis pigmentų tikslas yra suteikti apdailos medžiagai reikiamą atspalvį, užtikrinti dengiamumą ir atsparumą įvairių aplinkos faktorių poveikiui. Nuo pigmento tipo priklauso spalva ir apdailos medžiagos atsparumas šviesai, o nuo pigmentų kiekio priklauso blizgumas ir dengiamumas. Nors daugelyje dangų yra naudojami pigmentai, tačiau yra tokių apdailos sistemų, kur jų naudojamas kiekis yra labai mažas arba jie iš viso nededami, kaip pavyzdys tokių dangų – skaidrios apdailos medžiagos.

Priedai, tai dar vieni apdailos medžiagoje esantys elementai, kurie nedideliais kiekiais dedami į apdailos medžiagas tam, jog pasikeistų dangos savybės [21, 22]. Priedai skirstomi į katalizatorius, kurie padade vykti polimerizacijos reakcijoms, stabilizatorius ir modifikatorius.

1.2.2. Akrilinės apdailos medžiagos

Akrilinės dervos – plačiai naudojamos medienos pramonėje, nes jos yra tinkamos daugybei dangų tipų (tirpiklio pagrindu, vandens pagrindu, miltelinėms dangoms ir kt.). Akrilinės apdailos medžiagos išsiskiria skaidrumu, cheminiu ir fizikiniu atsparumu [23]. Akrilinės dervos yra skirstomos į termoplastines ir termoreaktyvines [24]. Gryno akrilo emulsijos pagrindu pagamintos apdailos dangos dažniausiai yra naudojamos eksterjere eksploatuojamiems gaminiams. Pagrindinis šios apdailos privalumas – ekologiškumas, kadangi joje nėra tirpiklių.

Akrilinės apdailos medžiagos turi gerą išorinį patvarumą ir yra žiniomis dėl savo atsparumo ultravioletiniams (UV) spinduliams bei dangos geltonavimui [25, 26]. Akrilas turi didelę molekulinę masę (dažniausiai 75000 ir didesnę), todėl tokių dangų stipruminės savybės yra didelės. Tačiau dėl didelės molekulinės masės ir dalelių dydžio akrilinės dervos sunkiai prasiskverbia į medienos ląstelių sieneles. Kai akrilo dalelių dydis neviršija 100 nm, pagerėja apdailos medžiagos įsigėrimo gylis į medieną, tuo pačiu ir apdailos medžiagos adhezija. Teigiamai veikia apdailos medžiagos skaidrumo ir atsparumo drėgmei savybės.

1.2.3. Vandens pagrindo dangos ir jų savybės

Vandens pagrindo medienos apdailos medžiagų privalumai: netoksiškos, nepavojingos, aplinkai nekenksmingos, mažai energijos sunaudojančios dangos [24]. Kadangi pasaulyje šiuo metu keliami vis griežtesni reglamentai dėl lakiųjų organinių junginių emisijos, visos pramonės šakos turi vystyti labiau draugiškus aplinkai (ekologiškus) produktus. Medienos apdailos medžiagų pramonė nėra išimtis. Todėl šiuo metu vis dažniau gaminamos ir naudojamos apdailos medžiagos vandens pagrindu. Tačiau šių dangų ilgaamžiškumo laikas, veikiant jas atmosferinių aplinkos sąlygų, yra gana trumpas, nes ultravioletiniai spinduliai prasiskverbia pro skaidrią apdailos medžiagą. Dėl fotocheminių reakcijų pradeda irti polimerinė medžiaga bei medienoje esantis ligninas, prarandama

adhezija tarp apdailos dangos ir medienos paviršiaus. Todėl norint prailginti šių apdailos medžiagų gyvavimo trukmę yra įterpiami įvairūs priedai. Medienos dangų apsaugai nuo žalingos aplinkos poveikio yra naudojami įvairūs priedai tokie kaip: organiniai ir neorganiai UV sugėrikliai, UV stabilizatoriai, HALS dalelės, lignino stabilizatoriai. Šie priedai tai įvairios dalelės, kurios dedamos į apdailos medžiagas, kad joms būtų suteikiamos papildomas funkcijos, šiuo atveju, tam, jog būtų padintas skaidrių polimerinių medžiagų fotostabilumas, spalvos pokyčio sumažinimas ir kt. [27, 28].

Pataruoju metu yra atlikta nemažai tyrimų, kuriuose nagrinėjamos neorganinių nanodalelių tokių kaip ZnO, TiO_2 ir CeO_2 įtaka skaidrioms vandens pagrindo dangoms [29].

Kanadoje atliktas tyrimas, kuriame buvo lyganamos TiO_2 nanodalelės su ZnO nanodalelės, kurį atliko mokslininkai Saha ir kt, nustatė, jog įterpus į skaidrias vandens pagrindo akrilines-poliuretatines dangas TiO_2 ir ZnO nanodaleles, padengus šiomis dangų sistemomis pušies medienos bandinius, ir po jų sendinimo 1500 valandų, su ZnO nanodalelėmis padengti bandiniai parodė geresnį atsparumą aplinkos sąlygoms ir UV poveikiui [30]. Taip pat šie mokslininkai kitame tyrime ištyrė CeO_2 nanodalelių poveikį akrilinėse-poliuretatinėse apdailos medžiagose. Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad modifikuota dangos sistema su šiomis nanodalelėmis gautas mažiausias spalvos pokytis, lyginant su modifikuotomis lignino stabilizatoriais dangų sistemomis [31].

Indijos mokslininkai Shailesh K. D. ir kt. tyrė ZnO nanodalelių poveikį alkidinėse vandens pagrindo dangose. Gauti rezultatai parodė, jog įterpus į alkidinės apdailos medžiagos sudėtį labai mažą ZnO nanodalelių kiekį, šios dalelės pagerino dangos atsparumą korozijai, atsparumą fotosuirčiai bei padidino dangos ilgaamžiškumą. Taip pat ZnO nanodalelės nepakeitė alkidinės dangos skaidrumo [32].

Amerikoje mokslininkai Michael S. L. ir kt. atliko tyrimą, kuriuo buvo nustatytas ryšys tarp ZnO nanodalelių koncentracijos, UV spindulių absorbcijos, dangos skaidrumo ir sausos plėvelės storio. Šiame tyrime buvo paruošta septynios skirtingos apdailos sistemos, kurių pagrindą sudarė skaidrus poliuretaninis-akrilinis lakas, į kurį įvairiomis koncentracijomis buvo įterpiamos ZnO nanodalelės. Šios apdailos sistemos buvo išlietos ant specialaus mikroskopinio stiklo. Tada visi bandiniai buvo sendinami 4000 valandų. Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad didėjant ZnO nanodalelių koncentracijai, dangos pralaidumas UV spinduliams mažėjo. Dangos optinės savybės liko nepakitusios [33].

Irane mokslininkai taip pat ištyrė, kad modifikuotos apdailos medžiagos su ZnO nanodalelėmis yra žymiai atsparesnės aplinkos sąlygoms nei nemodifikuotos apdailos medžiagos. Šiame tyrime ZnO kompozitais buvo modifikuojama vandens pagrindo poliuretaninis lakas, kurios vėliau buvo

užliejamos ant fosfatuotų plieno plokštelių. Visi bandiniai buvo veikiami 165 °C temperatūros dvidešimt minučių. Siekiant ištirti šių dangų atsparumą korozijai, plienu dengtos plokštelės buvo panardinamos į 3,5 % koncentracijos NaCl tirpalą 2880 valandų. Tyrimo rezultatai parodė, kad poliureatinės apdailos medžiagos, kurioje buvo įterptos ZnO nanodalelės, atsparumas korozijai yra du kartu didesnis nei nemodifikuoto poliuretatinio lako dangos. Taip pat šios nanodalelės parodė puikų fotostabilumą [34].

1.3. Polimerinių medžiagų ir medienos tarpusavio sąveikos mechanizmas

1.3.1. Adhezijos reiškinių teorijos

Adhezijos mechanizmas apima reiškinius susijusius su paviršiaus ir polimerų chemija, fizika, reologinius procesus, įtempių ir įtrūkimų analizę. Aprašyti patį adhezijos mechanizmą yra sudėtinga, kadangi nėra vienos teorijos, kuri galėtų paaiškinti adhezijos reiškinius. Yra žinoma, jog adhezijos mechanizmas tiesiogiai priklauso nuo naudojamų medžiagų paviršiaus charakteristikų. Šiuo metu literatūroje galima rasti įvairių diskusijų apie adhezijos mechanizmą, kuris grindžiamas: mechanine, molekuline, difuzine, chemine ir termodinamine teorijomis. Naujausi literatūros šaltiniai visgi išskiria tris pagrindinius adhezijos mechanizmus: molekulinį, mechaninį ir termodinamį sukibimą. Molekulinių ryšių sudarymas yra labiausiai paplitęs adhezijos mechanizmas, kuris apibūdina sukibimą vykstantį tarp dviejų paviršių. Šį reiškinį galima būtų aiškinti kaip tarpsluoksninių jėgų veikimą tarp apdailos medžiagos ir substrato paviršiaus, pavyzdžiui, dipolinių sąveikų, van der Valso jėgų ir cheminės sąveikos. Molekulinė adhezijos teorija reikalauja glaudesnio abiejų sąveikoje dalyvaujančių elementų ryšio, tačiau paprastai šiam ryšiui trukdo įvairūs paviršiaus defektai, įtrūkimai ir oro burbuliukai. Tuo tarpu, mechaninis adhezijos mechanizmas yra labai diskutuojamas. Viena mokslininkų pusė mano, kad būtent mechaninė adhezijos teorija užtikrina didelį tarpusavio sukibimo stiprį. Kita pusė teigia, jog substrato paviršiaus šiurkštumas padidina paviršiaus plotą molekulinei adhezijos sąveikai. Mechaninė adhezijos teorija aprašo sukibimo stiprį, kurį nulemia paviršinės jėgos ir jungtys pagal polines grupes. Nemažai tyrimų buvo atlikta su termodinaminiu-adsobciniu adhezijos modeliu. Įvairūs mokslininkai tvirtina, kad ši teorija yra teisingiausia, o visos kitos teorijos aptaria tik nedidelę adhezijos mechanizmo įtaką. Termodinaminė teorija pasižymi tuo, jog jai nebūtina molekulinė sąveika tam, jog būtų gauta gera adhezija, reikalinga yra tik pusiausvyra tarp paviršių sąsajos. Taigi, adheziją veikia daugybė reiškinių. Jų įvairovė ir tarpdiciplininis pobūdis neleidžia apibrėžti ir išskirti vienos adhezijos teorijos [35].

Apdailos medžiagos adhezija prie medienos paviršiaus grindžiama bendraisiais adhezijos modeliais, kurie sutelkti į išorinę sąveiką tarp apdailos medžiagos ir dengiamo paviršiaus. Veiksniai lemiantys

adheziją: medienos paviršiaus šiurkštumas, medienos ląstelių išsidėstymas, medienos struktūros nevienodumas, porėtumas, apdailos medžiaga bei joje esantys priedai. Adhezijos nepakankamumas arba nebuvimas yra laikomas tada, kai sukibimas tarp dangos ir dengiamo paviršiaus nevyksta. Adhezijos stipris priklauso nuo dengiamo paviršiaus. Labai svarbu, jog apdailinamas paviršius būtų gerai paruoštas, t.y. jo paviršius būtų pakankamo ir ne per didelio šiurkštumo. Kai kuriais atvejais yra naudojami aktyvatoriai, kaip apdailos medžiagų priedai. Aktyvatoriai, tai tokios mdžiagos, kurios įmaišomos į apdailos dangas tam, jog būtų padidintas adhezijos stipris [36-38].

1.3.2. Pagrindiniai adhezijos stiprio nustatymo metodai

Išskiriami du pagrindiniai adhezijos stiprio nustatymo metodai: kryžminio pjovimo ir mechaninio nutraukimo. Pirmasis būdas yra vizualinio pobūdžio, neišreiškiamas skaitinėmis stiprio vertėmis. Kryžminio pjovimo metodas yra reglamentuotas tarptautiniame standarte EN ISO 2409 [39]. Tyrimo principas: apdailintas medienos paviršius yra supjaustomas daugiaašmeniu peiliu skersai ir išilgai, sudarant 90° kampą. Ant viršaus yra priklijuojama skaidri lipti plėvelė, kuri rankiniu būdu viena kryptimi yra nuplėšiama. Šis adhezijos įvertinimo metodas yra labiau kokybinis. Rezultatų analizė atliekama vizualiniu būdu lyginant gautus rezultatus su klasifikacinėmis iliustracijomis (šeši atvejai), tačiau šis metodas nėra tinkamas dangoms, kurių storis didesnis nei 250 μm.

Išsamesnis ir patikimesnis adhezijos įvertinimo metodas – mechaninis nutraukimas, reglamentuotas tarptautiniame standarte ISO 4624 [40]. Šiame metode specialūs metaliniai cilindrai yra priklijuojami prie padengtų paviršių. Sukietėjus sanklijai, cilindrai įmontuojami į matavimo įrenginį ir išmatuojama metalinio cilindro atplėšimo (suirties) jėga nuo apdailinto paviršiaus. Pagal standartą, turi būti atliekami bent šeši bandymai 23 ± 2 ºC temperatūroje, esant 50 ± 5 % santykinam oro drėgnumui. Po bandymų įvertinamas ir vizualinis suirties pobūdis. Tačiau, šio metodo vizualinės suirties įvetinimo metodika yra kritiška. Vizualinius suirties pobūdžius gana sudėtinga interpretuoti. Be to, adhezijos stipriui įtakos turi ir įtempių pasiskirstymas po nutraukimo cilindru bei bandinių paruošimas, t.y. dangos įpjovimas aplink cilindrą [41].

1.4. Medienos struktūros ir fizikinių savybių įtaka polimerinių medžiagų adhezijos stipriui

Medienos rūšis, jos struktūra ir savybės yra svarbus rodiklis polimerinių apdailos medžiagų elgsenai. Įvairios apdailos medžiagos, užneštos ant medienos paviršiaus skverbiasi į medienos paviršines ląsteles, sudarydamos tarpusavio cheminius, molekulinius ryšius bei mechaninį sukibimą. Pagal Levis ir Forstal teoriją, apdailos medžiagų įgertis yra svarbus adhezijos mechanizmas. Vykstant apdailos medžiagos įgerčiai į medienos paviršių (didelio porėtumo ir tolygios struktūros medienos rūšyse), adhezija gali būti apibūdinta kaip tri-dimencinis sukibimas, proporcingas molekulių ilgiui ir jų skaičiui skersai sukibimo srities [42]. Apdailos medžiagos

adhezijai prie medienos paviršiaus itin svarbus medienos porėtumas, porų dydis ir medienos rūšies tankis [43]. Įvairių apdailos medžiagų įgerties gylius nagrinėję mokslininkai nustatė, kad neskaidrios vandens pagrindo akrilinės apdailos įgertis į pušies (lot. *Pinus sylvestris*) balaną ankstyvojoje medienoje siekia 75 µm, vėlyvojoje 60 µm, neskaidrios vandens pagrindo alkidinės apdailos – 70 µm ir 30 – 50 µm atititinkamai, o mažiau pigmentinių priedų turinčios pusiau skaidrios vandens pagrindo akrilinės apdailos medžiagos net 90 – 170 µm ir 85 – 170 µm [44]. Kitame tyrime mokslininkai lygino medienos rūšių įtaką apailos medžiagų įgerčiai. Gauti rezultatai parodė, jog pušies medienos (lot. *Pinus sylvestris*) balaninės medienos paviršius tolygiau įgėrė vandens pagrindo akrilinę dispersiją, nei buko mediena, dėl anatominių ir struktūrinių medienos savybių [45].

Turkijos mokslininkai atliko įvairių apdailos medžiagų adhezijos stiprio priklausomybės nuo medienos rušies ir jos drėgnio tyrimą, kuriame naudojo škotiškos pušies (lot. *Pinus sylvestris*), beržo ir ąžuolo medienos bandinius. Tyrimo rezultatai parodė, kad didėjant medienos bandinių drėgniui nuo 8% iki 15%, dvikomponenčio (2K) poliuretaninio lako adhezijos stipris prie visų medienos rūšių mažėja. Priešingai nei 2K poliuretaninis lakas, vandens pagrindo apdailos medžiagų adhezijos stipris prie visų medienos rūšių paviršiaus neturėjo tiesinės priklausomybės nuo medienos drėgnio. Didžiausios adhezijos stiprio vertės (3,373 MPa – 3,927 MPa) buvo gautos kai medienos drėgnis ω = 8 %, o prie ω = 12 % ir ω = 15 %, adhezijos stiprio vertės svyravo priklausomai nuo medienos rūšies ir jos savybių (pvz. vandens pagrindo apdailos adhezijos stipris prie škotiškos pušies, lyginant 8 % ir 15 % medienos drėgnį, nustatytas skirtumas buvo tik 0,9 % [46].

1.5. Medienos paviršiaus šiurkštumo įtaka polimerinių medžiagų adhezijos stipriui

Nemažai tyrimų rodo, jog paviršiaus šiurkštumas turi didelę reikšmę polimerinių medžiagų adhezijos stipriui. Mokslininkai Luiz F. de M. ir Roger E. H. nustatatė, kad poliuretaninė danga parodė geresnius adhezijos stiprio rezultatus kai medienos bandinių paviršius prieš tai buvo šlifuojamas, lyginant su obliuotais bandiniais. Šiam tyrimui buvo pasirinkti klevo (lot. *Acer saccharum*) medienos bandiniai, kurių paviršius buvo apdirbtas naudojant šlifavimo popieriaus grūdėtumus: pirmiausia buvo šlifuojama, naudojant P120, o vėliau P180 grūdėtumo popierių. Šiurkštumo parametrai R_a, R_q, buvo išmatuoti išilgai ir skersai medienos pluošto. Po to visi bandiniai buvo padengti daugiasluoksne poliuretanine lako danga. Bandiniams atliktas tarpinis šlifavimas su P280 grūdėtumo popieriumi prieš paskutinį lako sluoksnį. Adhezijos stiprio matavimai buvo atlikti prieš ir po bandinių sendinimo. Nustatyta, kad didžiausias adhezijos stipris (σ = 7,1 MPa) buvo prieš apdailą bandinius šlifuojant, o tuo tarpu prieš apdailą obliuotų bandinių didžiausias adhezijos stipris buvo (σ = 4,5 MPa). Taip pat nustatyta, jog paviršiaus šiurkštumo

parametras R_a, išmatuotas skersai medienos pluošto, yra labiausiai susijęs su adhezijos stipriu tarp dangos ir medienos paviršiaus [47].

Kitame tyrime, mokslininkai tyrė obliuotų ir P80, P180 grūdėtumo popieriumi šlifuotų buko (lot. *Fagus orientalis*), alksio (lot. *Alnus gutinod-sad*), eglės (lot. *Picea orientalis*) ir kėnio (lot. *Abies nordmanniana*) bandinių, padengtų celiuliozinio pagrindo apdailos danga, adhezijos stiprį. Gauti rezultatai parodė, kad didžiausios adhezijos stiprio reikšmės buvo bandinius šlifuojant P80 grūdėtumo popieriumi, nors didžiausias paviršiaus šiurkštumas *Rz* nustatytas obliuotų bandinių grupėje. Taip pat mažesnės adhezijos stiprio reikšmės gautos spygliuočių medienos bandinių grupėse, lyginant jas su lapuočių medienos bandiniais. Tokį rezultatą galėjo nulemti tai, jog spygliuočių medienoje yra ekstraktinių medžiagų bei šios rūšies medienos ląstelių ertmės yra mažesnės nei lapuočių medienos ir tai pablogina apdailos medžiagos įsigėrimą. Pavyzdžiui tiriant obliuotus eglės bandinius, vidutinė adhezijos stiprio vertė buvo 1,95 N/mm^2 – 1,97 N/mm^2, šlifuotus su P80 grūdėtumo popieriumi – 2,06 N/mm^2, o šlifuotus su P180 – 1,92 N/mm^2 – 1,97 N/mm^2 [48].

Lietuvoje atliktame paviršiaus šiurkštumo įtakos medienos apdailos dangų adhezijos stipriui tyrime nustatyta, jog medienos paviršiaus šiurkštumas, apdailos sistema ir medienos rūšis lemia adhezijos stiprį [49]. Šiam tyrimui buvo naudojami obliuoti uosio (lot. *Fraxinus excelsior*) ir beržo (lot. *Betula*) medienos bandiniai, kurie buvo šlifuojami ekscentriniu šlifuokliu naudojant P80, P120, P150, P180, P220 ir P240 grūdėtumo popierių. Šiurkštumo parametrai R_a, R_z, R_{max} įvertinti trejomis medienos pluošto kryptimis: išilgai medienos pluošto, skersai ir 45° kampu. Paruošti bandiniai buvo padengti trejomis skirtingomis akrilo-poliuretano dangų sistemomis (A – vienu sluoksniu lako, B – gruntu ir vienu sluoksniu lako, C – gruntu ir dviem sluoksniais lako). Po paruoštų bandinių kondicionavimo atlikti adhezijos stiprio matavimai mechaninio nutraukimo metodu, įvertintas bandinių suirties pobūdis. Šio tyrimo rezultatai parodė, jog uosio medienos bandinių grupėje didėjant šlifavimo popieriaus grūdėtumui, visų apdailos dangų adhezijos stipriai mažėjo. Tuo tarpu beržo medienos bandinių grupėje didėjant šlifavimo popieriaus grūdėtumui, apdailos dangų adhezijos stiprio reikšmės didėjo arba išliko pastovios. Didžiausios adhezijos stiprio reikšmės gautos su uosio medienos bandiniais, kaip jie buvo padengti A lako sistema ir prieš apdailą buvo apdirbti su P80 grūdėtumo šlifavimo popieriumi (σ = 5,4 MPa). Mažiausias adhezijos stiprio reikšmės gautos su uosio medienos bandiniais, kai prieš apdailą jie buvo apdirbti su P240 grūdėtumo šlifavimo popieriumi ir padengti B apdailos sistema (σ = 3,5 MPa). Tiriant beržo medienos bandinius, didžiausios adhezijos stiprio reikšmės gautos kai mediena prieš apdailą buvo apdirbta su P180 grūdėtumo šlifavimo popieriumi ir apdailinta C lako apdailos sistema (σ = 5,1 MPa), o mažiausias adhezijos stiprio reikšmės gautos kai prieš apdailą bandiniai buvo apdirbti P180

grūdėtumo šlifavimo popieriumi ir B apdailos sistema (σ = 3,5 MPa). Tokiems rezultatams reikšmingą įtaką turėjo skirtinga medienos struktūra ir paviršiaus šiurkštumo reikšmių svyravimas. Panašų tyrimą atliko ir kita mokslininkų grupė, kuriame juodojo alksnio (lot. *Alnus glutinosa*) mediena buvo šlifuojama naudojant dvigubą apdirbimo programą P80-P180, P80-P100, P80-P120 ir P80-P180 ir dengiama UV šviesa sukietinama akriline apdailos danga ir vandens pagrindo akriline danga dviem užnešimo būdais [50]. Didžiausias paviršiaus šiurkštumas išilgai medienos pluošto (R_a = 7,1 µm) gautas bandinius apdirbant su P80-P180 šlifavimo ciklu. Prie kitų naudotų šlifavimo programų paviršiaus šiurkštumas R_a svyravo nuo 5,0 µm iki 5,8 µm. Apdailos medžiagų užnešimas išpurškimo metodu turėjo mažesnes adhezijos stiprio vertes UV akrilinės dangos grupėje, nei apailos užnešimas velenų metodu, tačiau geresnis adhezijos stipris buvo gautas naudojant vandens pagrindo dangą, kuri buvo užnešama ant medienos tik išpurškimo būdu. Čia vandens pagrindo akrilinės apdailos adhezija buvo 1,29 MPa – 1,52 MPa. Kitame šių autorių tyrime taip pat buvo nagrinėjama juodojo alksnio (lot. *Alnus glutinosa*) medienos paviršiaus šiurkštumo įtaka UV spinduliais sukietintos akrilinės apdailos dangos ir vandens pagrindo dangos adhezijos stipriui [51]. Tyrime naudotos įvairios medienos šlifavimo programos, įskaitant kalibravimą ir skirtingo grūdėtumo šlifavimo popierius (nuo P80 iki P150). Gauta, kad pirminis apdirbimas mažesnio grūdėtumo šlifavimo popieriumi neturėjo įtakos galutiniam bandinių paviršiaus šiurkštumui, kai antrinis šlifavimas buvo atliekamas su P150 grūdėtumo popieriumi, čia vidutinės R_a reikšmės išilgai medienos pluošto buvo nuo 6,0 µm iki 6,2 µm. Tačiau skirtingi šlifavimo ciklai turėjo įtakos apdailos medžiagų adhezijos stiprio vertėms, kurios skyrėsi iki 13,5 % UV sukietintos akrilinės apdailos grupėje ir iki 16,1% vandens pagrindo akrilinės apailos grupėje. Skirtingus šlifavimo ciklus naudojo ir Vengrijos mokslininkai Josip M., Vlatka J. R. ir Marko S, kurie tyrė dvikomponenčio poliuretatinio (2K-PU) lako adhezijos stiprį prie buko ir ąžuolo medienos paviršių [52]. Tyrimo metu nustatyta, jog bandinai, apdirbti P80-P120-P180 šlifavimo ciklu turėjo geriausias apdailos adhezijos stiprio vertes, tačiau šiurkštumo parametrų R_a ir R_z rezultatų tiesinė priklausomybė nuo apdailos adhezijos stiprio šiame tyrime nebuvo nustatyta. Didžiausias 2K-PU apdailos adhezijos stipris gautas buko medienos bandinių grupėje. Dviejų ciklų (P100-P120, P100-P150) šlifavimą naudojo ir Kanados mokslininkai [53]. Bandiniams buvo pasirinkta raudonojo ąžuolo mediena, kurios paviršiaus šiurkštumas buvo įvertintas naudojant ISO 4287 standartą. Tyrime bandiniai buvo dengiami pramonine tirpiklinio pagrindo danga „Danspeed XtraClear Chemcraft“. Statistiniai rezultatai parodė, kad apdailos adhezijos stipris priklausė nuo medienos paviršiaus šiurkštumo. Tuo tarpu Kinijos mokslininkai savo tyrime naudojo obliuotus ir P80-P120 ir P100-P150 grūdėtumo popieriumi šlifuotus paprastosios pušies, baltojo beržo ir uosio medienos bandinius, kurie vėliau buvo rankiniu būdu padengti dvisluoksne akrilie-poliuretanine danga. Šiame tyrime didelę įtaką turėjo pasirinkti medienos režimai ir medienos rūšis. Pavyzdžiui, didžiausias

pušies medienos apdailos adhezijos stipris (σ = 1,576 MPa) gautas prieš tai bandinius obliuojant ir šlifuojant P80-P120 grūdėtumo popieriumi, prie kurio medienos paviršiaus šiurkštumas buvo p-R_a = 2,153 µm ir a-R_a = 3,368 µm atitinkamai [54].

Dar vienas tyrimas buvo atliktas naudojant uosio medienos bandinius, kurie prieš apdailą buvo šlifuojami smulkaus grūdėtumo (P280 ir P320) silicio karbido abrazyvinėmis medžiagomis. Bandinių padengimui pasirinktos dvi pramoninės apdailos medžiagos: UV šviesa sukietinama akrilinė apdaila, kuri buvo užnešama velenų pagalba, ir vandens pagrindo akrilinė apdaila, kuri buvo užnešama rankiniu būdu naudojant teptuką. Gauta, jog mažesnis adhezijos stipris buvo bandinių grupėse, padengtose vandens pagrindo akriline danga (0,77 – 0,98 MPa), o bandinių grupėse, padengtose UV-akriline danga, adhezijos stipris buvo 9,4% – 14,7% mažesnis [55].

Turkijos mokslininkai atliko įdomų tyrimą, kuriame naudojo buko medienos bandinius, kurie buvo impregnuojami įvairiais taninių medžiagų turinčiais impregnantais ir dengiami poliuretanine, celiuliozine ir vandens pagrindo medienos apdaila. Bandinių paviršiaus šiurkštumo parametrai R_a ir R_{max} buvo matuojami po kiekvieno impregnavimo ir apdailos etapo. Apdailinti bandiniai buvo sendinami QUV sendinimo įrenginyje 100 valandų ir 300 valandų. Didžiausias adhezijos stipris (σ = 5,4 MPa) buvo gautas po 100 val. bandinių sendinimo. Pagal apdailos tipą, geriausios adhezijos stiprio vertės buvo gautos naudojant poliuretaninę, vandens pagrindo ir celiuliozinę apdailos dangą atitinkamai. Taip pat gauta, kad medienos impregnavimas padidino paviršiaus šiurkštumo R_a skaitines vertes. Lyginant apdailos medžiagų įtaką paviršiaus šiurkštumui, didžiausios vertės gautos bandinius dengiant celiuliozine, vandens pagrindo ir poliuretanine apdailos danga atitinkamai [56].

1.6. Polimerinių medžiagų modifikavimo nanodalelėmis įtaka adhezijos stipriui

Daugelyje literatūros šaltinių skelbia, jog norint pagerinti polimerinių medžiagų fizikines savybes jas galima modifikuoti naudojant neorganines arba organines nanodaleles [57]. Nanodalėlėmis modifikuotos apdailos polimerinės medžiagos yra atsparesnės įtrūkimams, taip pat jos užpildo medienoje esančias ertmes ir taip užkerta kelią įplyšimų atsiradimui [58]. Nanokompozitinis polimerinių medžiagų modifikavimas ne tik gali daryti įtaką fizikikinėms savybėms, tačiau taip pat ir mechaninėms plevėdario savybėms, tokioms kaip adhezijos stipris, kuris atlieka ypač svarbų vaidmenį dangos ir medienos paviršiaus sukibimo sąveikoje [59]. Nors yra labai mažai literatūros šaltinių apie nanodalelių įtaką adhezijos stipriui, tačiau šią dangos savybę būtina ištirti tam, jog būtų padidintas jos ilgaamžiškumas.

Kanados mokslininkai Caroline S. ir kt. tyrė polimerinių medžiagų modifikavimo nanodalelėmis įtaką adhezijos stipriui. Šiam tyrimui atlikti naudotas pramoninė UV vandens pagrindo poliuretano-akrilinio lako dispersija (PUA), į kurią buvo įterptos 1 %, 3 % ir 5 % koncentracijų Al_2O_3

nanodalelės, kurių dydis 13 nm ir SiO_2 nanodalelės, kurių dydis 12 nm. Tyrimams pasirinkti klevo medienos bandiniai, kurie prieš tai buvo kondicionuojami, esant 20 °C temperatūrai ir 40 % santykiniam oro drėgnumui, kol buvo galutinis 8 % drėgnumas. Klevo medienos bandinių ir apdailos sistemų adhezijos stipris buvo įvertintas naudojant nuplėšimo (angl. *pull-off*) metodą pagal ASTM D4541 standartą. Apdailos adhezijos stipriui su mediena įvertinti naudoti 20 mm skersmens aliuminio nutraukimo cilindrai, kurie prie apdailintų bandinių buvo priklijuojami epoksidiniais klijais. Po cilindrų priklijavimo bandiniai buvo išlaikomi 24 valandas. Po išlaikymo ir sanklijos sukietėjimo bandiniai buvo rėžtuvu apipjauti aplink nutraukimo cilindrą, jog būtų išmatuotas adhezijos stipris tik priklijuoto cilindro plote. Norint geriau suprasti adhezijos stiprio rezultatus, kiekvieno bandinio suirties pobūdis buvo įvertintas vizualiai. Gauti rezultatai parodė, jog Al_2O_3 nanodalelės turėjo nedidelę įtaką vandens pagrindo poliuretatinės-akrilinės lako dangos adhezijos stiprio reikšmėms. Tyrime klevo medienos bandinių, padengtų tik poliuretaniniu-akriliniu laku be nanodalių, adhezijos stipris buvo 6,4 ± 0,4 MPa. Lyginant šią reikšmę su Al_2O_3 nanodalelėmis, kaip jų koncentracija buvo 1 %, 3 % ir 5 %, gautos atitinkamai adhezijos stiprio reikšmės buvo 7,0 ± 0,6 MPa, 6,4 ± 0,5 MPa ir 6,4 ± 0,5 MPa. Tačiau vandens pagrindo poliuretano-akrlinis lakas su įterptomis SiO_2 nanodalelėmis parodė žymiai geresnius adhezijos stiprio rezultatus, t.y. kai SiO_2 nanodalelių koncentracija buvo 1 %, 3 % ir 5 %, adhezijos stiprio reikšmės atitinkamai padidėjo 36 %, 41 %, ir 20 %, lyginant su bandinių, padengtų poliuretaninio-akrilinio lako danga be nanodalių adhezijos stipriu. Mažiausios adhezijos stiprio reikšmės gautos, kai SiO_2 nanodalelių koncentracija buvo 5 %, lyginant jas su 1 % ir 3 % šių nanodalelių koncentracija. Tokius rezultatus galėjo nulemti padidėjas polimerinės medžiagos klampumas dėl nanodalelių agregavimo (susijungimo) efekto. Tačiau įvertinus adhezijos suirties pobūdžius pastebėta, kad dažniausiai jie buvo koheziniai, tai yra suirtis vyko per medieną, todėl tai patvirtina, jog SiO_2 nanodalelės pagerino apdailos medžiagos adhezijos stiprį su medienos paviršiumi [60].

Kitas tyrimas taip pat atliktas Kanados mokslininkų Cristea ir kt, kurie tyrė eksterjere naudojamų vandens pagrindo medienos apdailos dangose nanodalelių įtaką adhezijos stipriui. Šiam tyrimui atlikti buvo pasirinkti tangentinio pjūvio juodosios eglės (lot. *Picea mariana*) medienos bandiniai, kurie buvo kondicionuojami, esant 20 °C temperatūrai ir 40 % santykiniam oro drėgnumui. Prieš apdailinimą bandiniai buvo šlifuoti trimis šlifavimo ciklais su P80, P100 ir P120 grūdėtumo popieriumi. Medienos bandiniams apdailinti buvo paruoštos aštuonios apdailos dangų sistemos, kurių pagrindą sudarė pramoninis vandens pagrindo akrilinis lakas (AK), į kurį buvo įterptos miltelių ir dispersijos pavidalu ZnO nanodalelės, kurių dydis 20 nm ir TiO_2 nanodalelės, kurių dydis 10 nm. Gautos aštuonios apdailos sistemomis: (A danga – AK be nanodalelių), (B danga – AK ir 1 % miltelių pavidalo TiO_2 nanodalelių), (C danga - akrilinis lakas ir 1 % miltelių pavidalo ZnO nanodalelių), (D danga – AK ir 2 % miltelių pavidalo ZnO nanodalelių), (E danga - AK ir 2 %

dispersijos pavidalo ZnO nanodalelių), (F danga - AK ir 5 % dispersijos pavidalo ZnO nanodalelių), (G danga - AK ir 2 % kitos dispersijos pavidalo ZnO nanodalelių), (H danga - AK ir 2 % dar kitos dispersijos pavidalo ZnO nanodalelių). Kompozicinės apdailos ant eglės medienos bandinių buvo užneštos dengimo mašina „Roller Coater“ buvo padengti eglės medienos bandiniai, suformuotas plėvėdario storis 70 ± 5 μm. Adhezijos stipris buvo įvertintas naudojant nuplėšimo metodą pagal ASTM D4541-02 standartą. Aliuminio cilindras (20 mm skersmens) buvo klijuojamas ant padengtų bandinių paviršiaus su dvikomponentiniais epoksidiniais klijais „Araldite“. Sanklijos sukietinimui bandiniai buvo išlaikomi 24 val. Adhezijos stiprio matavimai atlikti su universalia tempimo mašina „MTS Systems Corporation Alliance“ RT / 50 modeliu, esant 50 mm/min. tempimo greičiui. Vidurkinė kiekvieno bandinio vertė buvo apskaičiuota iš 10 eksperimentinių matavimų. Gautos adhezijos stiprio vertės parodė, kad dangų sistemų B ir C adhezija su medienos bandinių paviršiumi buvo nežymiai didesnė už A dangos sistemą, kur eglės medienos bandiniai buvo apdailinti tik akriliniu laku be jokių priedų. Tačiau padidėjus nanodalelių koncentracijai apdailos medžiagoje sumažėjo ir adhezija. Taip parodė apdailos dangų sistemų (D, E, F ir H) adhezijos stiprio rezultatai. Tai galėjo nulemti skirtingas medžiagų įgėrimo gylis, o tai ypač svarbu norint užtikrinti gerą medienos sukibimą. Be to, dispersinio pavidalo nanodalelės galėjo sumažinti medienos drėkinimą ir įsiskverbimą į kapiliarus. Pagrindinė tokia dangų elgsenos priežastis yra skirtingas apdailos medžiagų įgertis į medienos paviršių. Tai svarbi savybė, kuri nulemia gerą mechaninį apdailos medžiagos prie medienos paviršiaus sukibimą, t.y. gerą adheziją [61]. Taip pat dispersinės medžiagos procentinis kiekis, kurioje yra nusodinamos nanodalelės, gali sumažinti medienos paviršiaus vilgumą ir kapiliarinę įgertį. Šią problematiką aptarė ir Turkijos mokslinikai, kurie savo darbe tyrė šlifuotos eglės medienos bandinius, kurių paviršius buvo impregnuotas vandeniniu impregnantu, apsaugančiu nuo biologinių kenkėjų ir padengtas dviem sluoksniais (užnešant apdailą rankiniu būdu, t.y. teptuku) akrilinėmis apdailos medžiagomis, kurios savo sudėtyje turėjo nano skalės priedų. Apdailos priedams buvo pasirinkos dvi medžiagos: organinis UV sugėriklis „Tinuvin DW 400” ir neorganinės TiO_2 nanodalelės „Tinuvin DW 477”. Priklausomai nuo laboratorijoje sintetinamos apdailos tipo ir jos sudėties variacijos, buvo dedamas fiksuotas nanodalelių kiekis, kuris sudarė 1,8 % visos apdailos medžiagos formuluotės. Atlikus adhezijos stiprio tyrimus gauta, kad didžiausią adheziją prie medienos turėjo tos kompozicinės apdailos medžiagos, kurios buvo mažesnio klampumo, tačiau elgsena nuo skirtingų nanodalelių tipo nebuvo nustatyta. Taip pat nustatyta, kad kompozicinės apdailos medžiagos, kurių adhezijos stipris prie medienos buvo didžiausias, buvo geriau įsigėrusios į medienos paviršių [62]. Kitame darbe Turkijos mokslininkai taip pat naudojo tas pačias apdailos medžiagas, tačiau be „Tinuvin DW 400” ir „Tinuvin DW 477”, papildomai buvo naudojamas UV sugėriklis „Tinuvin DW 5333”. Šiuo atveju į apdailą buvo įmaišoma 6 % pasirinktos nanodalelių dispersijos. Tyrimams naudoti pušies (lot. *Pinus sylvestris*) ir

buko medienos bandiniai, kurie po apdailos padengimo ir kondicionavimo buvo sendinami QUV įrenginyje pagal TS EN 972-6 tarptautinį standartą iš viso 2016 valandų. Tyrime nustatyta, kad pušies medienos bandiniai geriau įgėrė kompozicines apdailos medžiagas, nes susiformavęs plevėdaris buvo nuo 10 µm iki 2 µm mažesnis, lyginant su analogiškais buko medienos bandiniais. Priklausomybė nuo nanodalelių tipo šiame darbe taip pat buvo nenustatyta, čia nanokompozitinių apdailos medžiagų adhezijos stiprio vertės prie pušies medienos buvo 0,91 MPa – 2,38 MPa, o po sendinimo adhezijos stiprio vertės sumažėjo 0,1 % – 0,8 %. Geresnius rezultatus parodė „Tinuvin DW 477" ir „Tinuvin DW 400" nanodalelės, nei „Tinuvin DW 5333" [63].

2. Tyrimo metodika ir įranga

2.1. Bandinių paruošimas

Tyrimui atlikti pasirinktų bandinių duomenys pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Tyrimui naudojamų bandinių duomenys

Charakteristika	Reikšmė
Medienos rūšis	Pušis (lot. *Pinus sylvestris*)
Matmenys (ilgis × plotis × storis)	45 mm × 45 mm × 20 mm
Bandinių paviršiaus pluošto kryptis	Spindulinė
Pradinis drėgnis	~ 15 %
Pradinis apdirbimas	Obliavimas
Išvaizda	Be matomų defektų

Pušies medienos bandinių matmenys (ilgis × plotis × storis) išmatuoti naudojant „Messwerkzeug HKH“ slankmatį ± 0,01 mm tikslumu. Bandinių masė nustatyta elektroninėmis svarstyklėmis „Kern EW 3000-2M“ ± 0,01 mm tikslumu. Tyrime naudojamų bandinių drėgnis išmatuotas naudojant „Gann Hydromette compact – A“ drėgmėmatį ± 0,01 mm tikslumu.

W drėgnumo medienos tankis apskaičiuotas pagal formulę (Gydas ir Grigaitis, 1986):

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w b_w l_w}, \tag{2.1}$$

čia

ρ_w – medienos tankis, kg/m^3; m_w – W drėgnumo bandinio masė, kg; a_w, b_w – bandinio skerspjūvio matmenys, m; l_w – badinio ilgis, m.

Gautas tankis perskaičiuotas į normalizuoto drėgnumo medienos tankį pagal formulę (Jakimavičius, 2008):

$$\rho_{12} = \frac{\rho_{12}}{K_w^{12}}, \tag{2.2}$$

čia

K^w_{12} – perskaičiavimo koeficientas.

Taip pat visiems pušies medienos bandiniams buvo nustatytas metinių rievių skaičius viename centimetre.

Visų tyrime naudojamų pušies medienos bandinių išmatuotų parametrų vidutinės skaitinės vertės pateiktos 2.2 lentelėje.

2.2 Tyrime naudojamų visų pušies medienos bandinių išmatuoti vidutiniai duomenys

Bandinių matmenys, mm			**Bandinių masė, g**	**Tankis, kg/m^3**		**Metinių rievių skaičius 1 cm**	**Medienos drėgnis ω, %**
a	*b*	*l*		ρ_w	ρ_{12}		
45,2	44,3	19,8	21,1	533	529	4,9	12,8

Tada visi pušies medienos bandiniai paruošiami paviršiaus šiurkštumo matavimui. Tam tikslui bandinių paviršius buvo šlifuojamas. Šlifavimas atlliekamas rankiniu būdu. Apdirbimui naudojamos abrazyvinės medžiagos grdėtumas pagal FEPA yra P120. Po šlifavimo nuo bandinių paviršiaus buvo nuvalomos dulkės su švariu šepetėliu.

2.2. Apdailos medžiagų paruošimas

Išmatavus bandinių paviršiaus šiurkštumą, pušies medienos dalis bandinių buvo apdailinti nemodifikuota, o kita dalis modifikuota nanodalelėmis „Sherwin-Williams“ skaidria vandens pagrindo akriline lako danga, kurios techniniai duomenys yra pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Akrilinio lako „EM1401-0030LVNY Laqvin clear 30“ techniniai duomenys

Charakteristika	**Reikšmė**	**Vienetai**
Blizgesys	27–33	Pagal Gardnerį 60°
Sausųjų medžiagų kiekis	38 ± 1	% pagal svorį
Tankis	1020 ± 30	kg/m^3
Klampis	67–69	KU „Strormer“ esant 23 °C
Ph	7–9,5	-
Laikymo sąlygos	5–30	°C

Į skaidrų akrilinį laką (AK) koncentracijomis (0 %, 1 %, 3 % ir 5 %) buvo maišomos ZnO ir CeO_2 nanodalelės su „Eurostar power control-visc“ maišykle 2000 aps/min greičiu. Apdailos AK ir nanodalelių maišymo proceso trukmė buvo penkios minutės. ZnO ir CeO_2 nanodalelių techniniai duomenys pateikti 2.4 lentelėje. Taip sudarytos septynios apdailos sistemos:

1. AK0 (vandens pagrindo akrilinis lakas ir 0 % nanodalelių);
2. AK1ZNO (vandens pagrindo akrilinis lakas ir 1 % ZnO nanodalelių);
3. AK3ZNO (vandens pagrindo akrilinis lakas ir 3 % ZnO nanodalelių);
4. AK5ZNO (vandens pagrindo akrilinis lakas ir 5 % ZnO nanodalelių);
5. AK1CEO2 (vandens pagrindo akrilinis lakas ir 1 % CeO_2 nanodalelių);
6. AK3CEO2 (vandens pagrindo akrilinis lakas ir 3 % CeO_2 nanodalelių);
7. AK5CEO2 (vandens pagrindo akrilinis lakas ir 5 % CeO_2 nanodalelių).

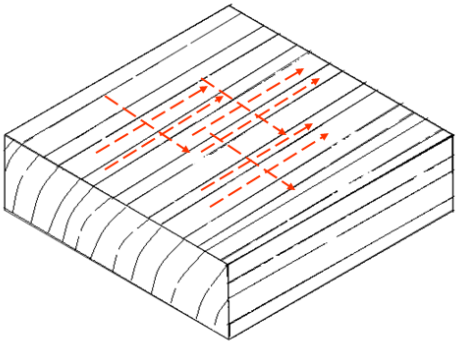
2.4 lentelė. Nanodalelių NANOBYK-3820 ir NANOBYK-3810 techniniai duomenys

Charakteristika	**ZnO (NANOBYK-3820)**	**CeO_2 (NANOBYK-3810)**
Tankis g/ml 20 °C	1,59	1,21
Sausųjų medžiagų kiekis	45 %	23 %
Nanodalelių kiekis	40 %	18 %
Nanodalelių dydis D50	20 nm	10 nm
Tirpiklis	Vanduo	Vanduo
Laikymo sąlygos	5 – 40 °C	5 – 40 °C

Kiekvienos iš sudarytų septynių apdailos sistemų, naudojant teptuką, rankiniu būdu dviem lako sluoksniais apdailinta po dvidešimt pušies medienos bandinių, kurie vėliau buvo džiovinami 24 valandas, esant 21 ± 2 C° temperatūrai ir 65 ± 2 % santykiniam oro drėgniui. Plėvelės dangos storis 50 ± 5 μm

2.3. Medienos paviršiaus šiurkštumo matavimas

Kiekvieno pušies medienos bandinio paviršiaus šiurkštumas mikrometrais įvertintas trimis šiurkštumo parametrais: R_a – vidutiniu aritmetiniu profilio nuokrypiu; R_z – profilio mikronelygumų vidutiniu aukščiu; R_{max} – didžiausiu profilio mikronelygumų aukščiu. Visi šie medienos paviršiaus šiurkštumo parametrai buvo matuojami kontaktiniu adatiniu profilometru „Mahr Marsuf PS1“, kurio deimantinės adatos spindulys yra 2 μm, vidutinė matavimo jėga – 0,7 mM, matavimo kampas – 90° ir matavimo eiga – 17,5 mm.

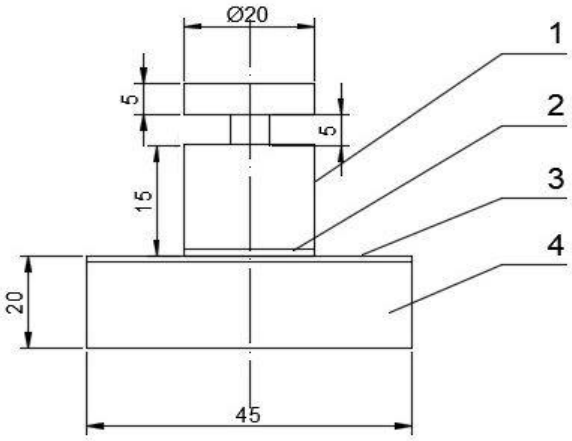


2.1 pav. Šiurkštumo parametrų matavimo schema

Kiekviename bandinyje šiurkštumo matavimai atlikti devyniuose taškuose trejomis kryptimis (išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje bei skersai medienos pluošto) kaip parodyta 2.1 paveiksle.

2.4. Apdailos adhezijos stiprio matavimas

Po pušies medienos bandinių apdailinimo visomis septyniomis apdailos sistemomis ir išlaikymo, toliau jie buvo ruošiami adhezijos stiprio matavimui. Bandinių paruošimo adhezijos stiprio matavimo schema yra pavaizduota 2.2 paveiksle.

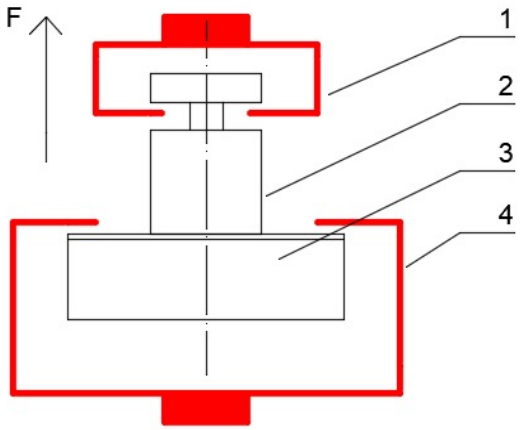


2.2 pav. Bandinio paruošimo adhezijos stiprio matavimui schema: 1 – nutraukimo cilindras; 2 – sanklija; 3 – apdailos sistema; 4 – medienos bandinys

Adhezijos stipriui su mediena įvertinti naudoti nerūdijančio plieno nutraukimo cilindrai, kurių skersmuo Ø 20 mm. Cilindrai prie apdailintų bandinių buvo priklijuojami „Super Moment“ momentiniais ciano akrilatiniais klijais. Po cilindrų priklijavimo bandiniai buvo išlaikomi 24

valandas, esant 21 ± 2 C° temperatūrai ir 65 ± 2 % santykiniam drėgniui. Taip pat, siekiant pagerinti sanklijos kokybę, bandiniai buvo veikiami prispaudimo jėgos. Po išlaikymo ir sanklijos sukietėjimo bandiniai apipjauti aplink nutraukimo cilindrą, naudojant rėžtuvą, jog būtų išmatuotas adhezijos stipris tik priklijuoto cilindro plote.

Adezijos stipris išmatuotas naudojant nuplėšimo (angl. *pull-off*) metodą, pagal DIN EN ISO 4624 (2002). Šis matavimas atliktas 2055-P-05 YXL 4.2 tempimo mašina, esant 30 mm/min tempimo greičiui. Bandinio tvirtinimo griebtuose schema pavaizduota 2.3 paveikslėlyje.



2.3 pav. Bandinio tvirtinimo griebtuose schema: 1 – viršutinis griebtas; 2 – nutraukimo cilindras; 3 – bandinys; 4 – apatinis griebtas

Kiekvienam bandiniui išmatuota jėga *F*, N. Tada, naudojant 2.3 formulę, buvo apskaičiuotas adhezijos stipris *σ,* MPa:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \tag{2.3}$$

čia

F – suirties jėga, N; *A* – cilindro plotas, mm^2.

Taip pat po kiekvieno adhezijos stiprio bandymo įvertinta vizualinė bandinių suirties kokybė procentais, kai *A* – suirtis per medieną, *A/B* – suirtis per apdailą ir *Y/Z* – suirtis per klijus.

2.5. Tyrimo duomenų statistinis apdorojimas

Tyrimo duomenų analizei buvo apskaičiuoti statistiniai rodikliai: aritmetinis vidurkis *x*, dispersija s^2, eksperimentinis standartinis nuokrypis *s*, variacijos koeficientas *v*, atsitiktinė (matavimo

rezultato) paklaida Δ, pasikliautinas intervalas I_β, santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats}, bendroji matavimo rezultato santykinė paklaida δ_b, reikalingas bandinių skaičius n_r (Liukaitis ir Kleveckas 2006).

Aritmetinis vidurkis buvo apskaičiuotas pagal formulę:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}. \tag{2.4}$$

Dispersija s^2 apskaičiuota pagal formulę:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}, \tag{2.5}$$

čia

$x_i - \bar{x}$ – atsitiktinio rezultato nuokrypis nuo aritmetinio vidurkio;

n – rezultatų skaičius.

Eksperimentinis standartinis nuokrpis s:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}}. \tag{2.6}$$

Variacijos koeficientas v apskaičiuotas pagal formulę:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100,\%. \tag{2.7}$$

Atsitiktinė (matavimo rezultato) paklaida Δ apskaičiuota pagal formulę:

$$\Delta = t_\beta \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}; \tag{2.8}$$

čia

t_β – koeficientas (Stjudento kriterijus), priklausantis nuo pasikliovimo tikimybės β = 0,95 ir nuo laisvės laipsnių skaičiaus $\varphi = n - 1$. Adhezijos stiprio duomenų analizei t_β = 2,145. Šiurkštumo tyrimo duomenų analizei naudotas t_β = 2,021.

Pasikliautinas intervalas I_β rastas pagal formulę:

$$I_\beta = (\bar{x} - \Delta; \bar{x} + \Delta). \tag{2.9}$$

Santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats} apskaičiuota pagal formulę:

$$\delta_{ats} = \frac{\Delta}{\bar{x}} \cdot 100,\%. \tag{2.10}$$

Bendroji matavimo rezultato santykinė paklaida δ_b rasta pagal formulę:

$$\delta_b = \sqrt{\delta^2 + \delta^2}. \tag{2.11}$$

Ruošiantis tyrimams, atlikti preliminarūs adhezijos stiprio bandinių kiekio skaičiavimai, kai bandinių skaičius $n = 6$. Reikalingas bandinių skaičius n_r apskaičiuotas pagal formulę:

$$n_r = \frac{t_\beta{}^2 s^2}{\alpha^2}, \tag{2.12}$$

čia

t_β – koeficientas (Stjudento kriterijus), kai $\beta = 0,95$ ir $\varphi = n - 1$; s^2 – dispersija ($s^2 = 0,37$); a – nustatyta paklaida, kai $\delta_b = 8,24$ % ($a = 0,411$).

Gauta, kad tyrimams reikalingas bandinių skaičius $n_r = 14,47 \approx 15$ vnt. Atsižvelgiant į standartą ISO 4624 (2002) ir formulės (2.12) skaičiavimus, bandinių skaičius yra pakankamas. Medienos paviršiaus šiurkštumo tyrimuose rezultatų skaičius taip pat buvo tinkamas.

3. Tyrimo rezultatai ir aptarimas

3.1. Pušies medienos tankio, drėgnio ir metinis rievių kiekio matavimas

Pušies medienos bandiniams, kurių matmenys 45 × 45 × 20 mm buvo nustatytas tankis, drėgnis bei metinis rievių kiekis viename centimetre. Bandinių tankiui nustatyti pirmiausiai buvo apskaičiuotas *w* drėgnumo medienos tankis ρ_w (kg/m^3) pagal 2.1 formulę. Tada gautas tankis perskaičiuotas į normalizuotą (standartinį 12 %) drėgnumo tankį ρ_{12} (kg/m^3) pagal 2.2 formulę. Visų pušies medienos bandinių gauti tankio, drėgnio ir metinių rievių kiekio viename centimetre rezultatai pateikti 1 – 7 prieduose. Statistiniai šių parametrų rodiklių rezultatai pateikti 8 priede. Pušies medienos bandinių grupių vidutinės tankio, drėgnio ir metinių rievių kiekio reikšmės su variacijos koeficentais pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Pušies medienos bandinių grupių vidutinio tankio, drėgnio ir metinių rievių rezultatai

Bandinių grupė	**Parametro vidutinė reikšmė ir variacijos koeficientas *v*, %**		
	Tankio ρ_{12}, kg/m^3	Medienos drėgnio ω, %	Metinių rievių skaičius 1 cm
AKP	474,73 (1,46)	11,8 (2,66)	3,78 (0,09)
AKP1ZN	472,62 (1,74)	11,4 (2,21)	4,03 (0,11)
AKP3ZN	487,18 (1,96)	11,9 (1,40)	4,07 (0,11)
AKP5ZN	496,35 (2,56)	12,0 (0,00)	4,15 (0,10)
AKP1CE	595,03 (6,78)	14,4 (3,09)	4,68 (0,17)
AKP3CE	588,73 (1,40)	14,3 (1,82)	6,86 (0,41)
AKP5CE	586,96 (1,18)	14,2 (1,36)	6,73 (0,41)

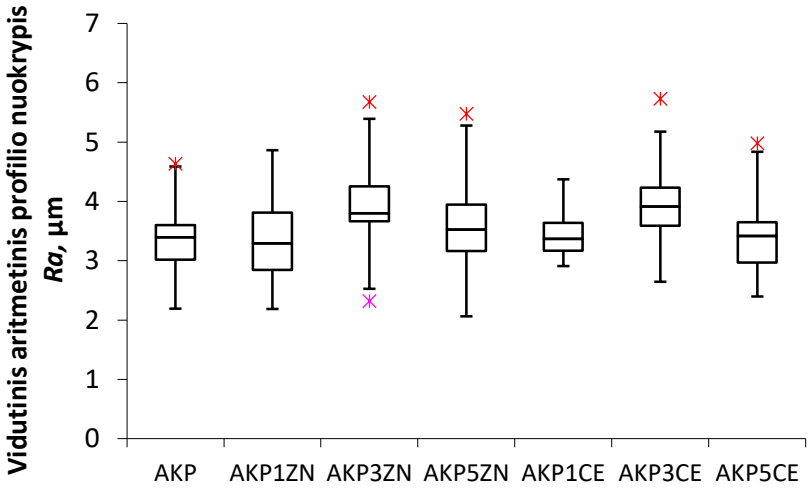
Iš 3.1 lentelės duomenų matyti, jog didžiausias vidutinis normalizuotas drėgnumo tankis ρ_{12} (kg/m^3) gautas AKP1CE pušies medienos bandinių grupėje ρ_{12} = 595 (kg/m^3). Visų kitų grupių pušies medienos bandinių tankiai buvo atitinkamai mažesni 1,01 – 1,26 karto. AKP1ZN bandinių grupėje užfiksuotas mažiausias vidutinis normalizuotas drėgnumo tankis, kur (ρ_{12} = 473 kg/m^3). Tokius rezultatus galėjo lemti tai, jog bandiniai buvo skirtingos imties ir skirtingų sezonų. Vidutinio drėgnio pušies medienos bandinių grupių reikšmės svyruoja nuo 11,4 % iki 14,4 %, pasak mokslininkų Sonmez A. ir kt. (2009), lyginant 8 % ir 15 % pušies medienos drėgnį, adhezijos stipriui tai didelės įtakos neturi. Nuo didžiausio gauto vidutinio drėgnio kitų pušies medienos bandinių grupių mažesni 1,01 – 1,26 karto. Daugiausiai metinių rievių viename centimetre nustatyta AKP3CE pušies medienos bandinių grupėje (*n* = 6,9). Tuo tarpu kitų bandinių grupių rievėtumas buvo 1,03 – 1,82 karto mažesni. Mažiausiai metinių rievių viename centimetre nustatyta AKP pušies medienos bandinių grupėje, kur (*n* = 3,8). Apskaičiuoti nedidelio tankio, drėgnio ir metinių

rievių skaičiaus 1 cm variancijos koeficientai, tai rodo mažą skaitinių reikšmių sklaidą, todėl rezultatai yra patikimi.

3.2. Pušies medienos paviršiaus šiurkštumo tyrimas

Pušies medienos bandinių paviršiaus šiurkštumo tyrimui naudoti šie parametrai: R_a – vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis; R_z – profilio mikronelygumų vidutinis aukštis; R_{max} – didžiausias profilio mikronelygumų aukštis, kurių vidutinių reikšmių rezultatai trejomis matvimo krytimis (išilgai medienos pluošto ankstyvojoje rievėje, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje rievėje bei skersai medienos pluošto), yra pateikti ir analizuojami šiame skyriuje. Visi išsamūs pušies medienos bandinių šiurkštumo matavimo duomenys pateikti prieduose 10 – 30 prieduose ir statistiniai šiurkštumo parametrų rodiklių rezultatai pateikti 31 – 33 prieduose.

Pušies medienos bandinių grupių vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a rezultatai išilgai medienos pluošto ankstyvojoje rievėje pateikti 3.1 paveiksle.

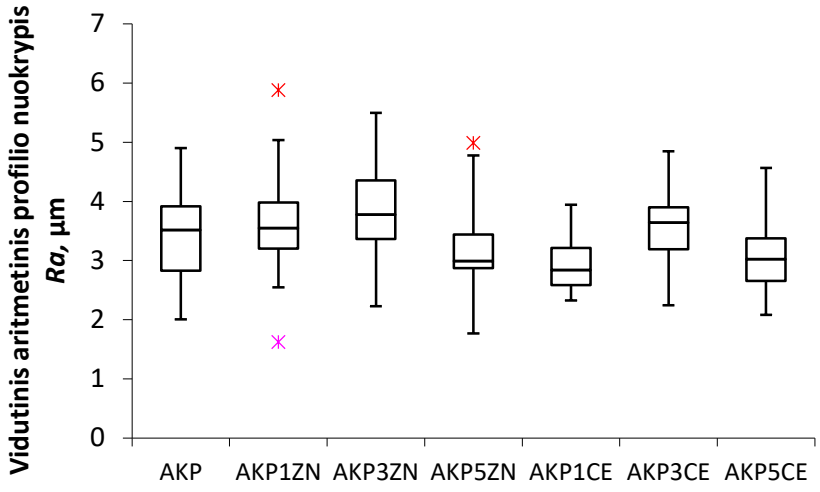


3.1 pav. Pušies medienos bandinių grupių vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Iš 3.1 pav. rezultatų matyti, jog visų septynių grupių vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a skaitinės vertės pasiskirstę gana tolygiai. Didžiausios šiurkštumo parametro R_a išilgai medienos pluošto ankstvojoje medienoje vertės gautos AKP3CE bandinių grupėje (R_a = 3,99 µm). Atitinkamai kitų grupių šio parametro vertės yra 1,0 - 1,2 karto mažesnės. Mažiausios šiurkštumo parametro R_a vertės gautos AKP ir AKP1ZN bandinių grupėse (R_a = 3,34 µm). Tyrinėjant variacijos

koeficientą v (%) vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje, gauta didžiausia (v = 19,03 %) ir mažiausia (v = 10,02 %) reikšmės.

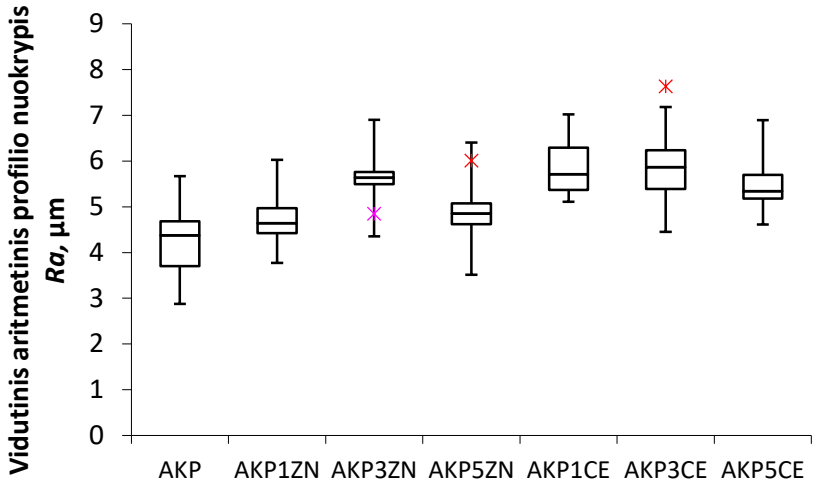
Pušies medienos bandinių grupių vidutinio aritmetinios profilio nuokrypio R_a rezultatai išilgai medienos pluošto vėlyvojoje rievėje pateikti 3.2 pav.



3.2 pav. Pušies medienos bandinių grupių vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Kaip ir išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje, taip ir išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje matome, kad visų pušies medienos bandinių grupių vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a skaitinės vertės pasiskirstę, gana tolygiai ir paklaida neviršija 30 %. Didžiausios šiurkštumo parametro R_a vertės vėlyvojoje medienoje gautos kitoje bandinių grupėje nei ankstyvojoje medienoje, čia AKP3ZN grupėje (R_a = 3,80 µm). Visų kitų grupių šiurkštumo parametro R_a vertės mažesnės 1,1 – 1,3 karto. Mažiausios šiurkštumo parametro R_a vertės gautos AKP1CE bandinių grupėje (R_a = 2,89 µm). Čia gautos variacijos koeficiento v (%) didžiausia reikšmė (v = 23,16 %) ir mažiausia reikšmė (v = 13,23 %).

Pušies medienos bandinių grupių vidutinio aritmetinios profilio nuokrypio R_a rezultatai skersai medienos pluošto pateikti 3.3 paveiksle.

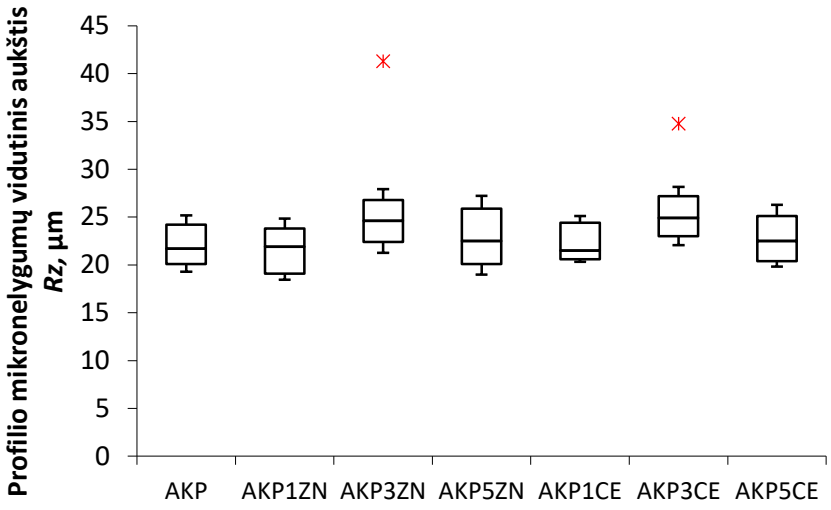


3.3 pav. Pušies medienos bandinių grupių vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a skersai medienos pluošto

Visų septynių pušies medienos bandinių grupių gautos R_a reikšmės skersai medienos pluošto yra šiek tiek mažiau tolygiai pasiskirstę nei išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje ir vėlyvojoje medienoje, tačiau, taip pat, paklaida neviršija 30 %. Didžiausios šiurkštumo parametro R_a vertės skersai medienos pluošto gautos AKP3CE bandinių grupėje (R_a = 5,87 µm), mažausia reikšmės išmatuotos AKP bandinių grupėje (R_a = 4,26 µm). Skirtumas tarp šių dviejų verčių yra 1,4 karto. Pušies medienos bandinių grupių vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a skersai medienos pluošto variacijos koeficiento v (%) reikšmės svyravo nuo 4,71 % iki 13,08 %.

Bendri 3.1, 3.2 ir 3.3 paveikslų rezultatai rodo, jog didžiausias vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis R_a gautas pušies medieną matuojant skersai pluošto. Ši vertė yra didesnė 1,5 karto didesnė už išmatuotas išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje ir 1,6 karto už išmatuotas išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje. Didžiausias variacijos koeficientas v (%) vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a variacijos koeficientas nustatytas AKP bandinių grupėje vėlyvojoje medienoje išilgai medienos pluošto. Atitinkamai šio parametro vertės išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje yra 1,5 karto ir skersai medienos pluošto 1,6 karto mažesnės.

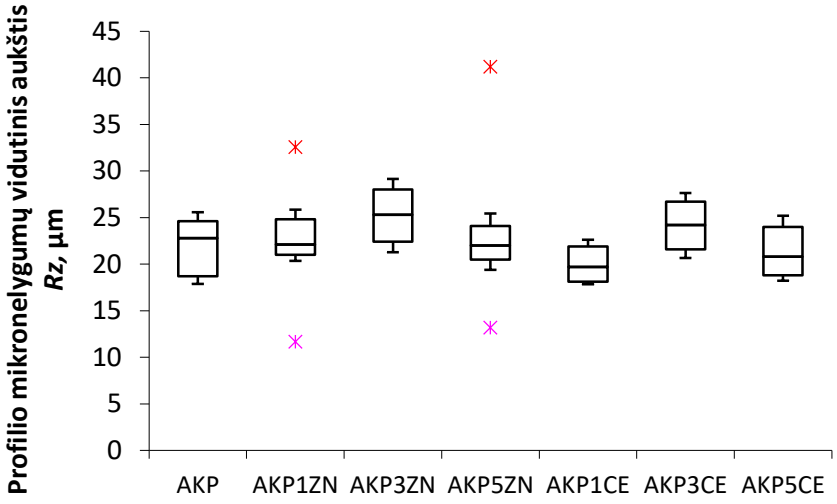
Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinio aukščio R_z rezultatai išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje pateikti 3.4 paveikslėlyje.



3.4 pav. Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Iš 3.4 pav. matoma, kad mažiausios pušies medienos bandinių profilio mikronelygumų vidutinio aukščio R_z vertės išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje gautos AKP1ZN grupėje (R_z = 21,53 µm). Didžiausios šiurkštumo parametro R_z išilgai medienos pluošto ankstvojoje medienoje vertės gautos bandinių grupėje AKP3ZN (R_z = 24,47 µm). Skirtumas tarp šių dviejų verčių yra 1,3 karto. Bendrai R_z parametro skaitinės vertės pasiskirstę tolygiai ir paklaida neviršija 30 %. Tyrinėjant šių bandinių grupių variacijos koeficientą v (%) profilio mikronelygumų vidutinį aukštį R_z išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje gauta didžiausia reikšmė (v = 17,53 %) ir mažiausia reikšmė (v = 1,57 %).

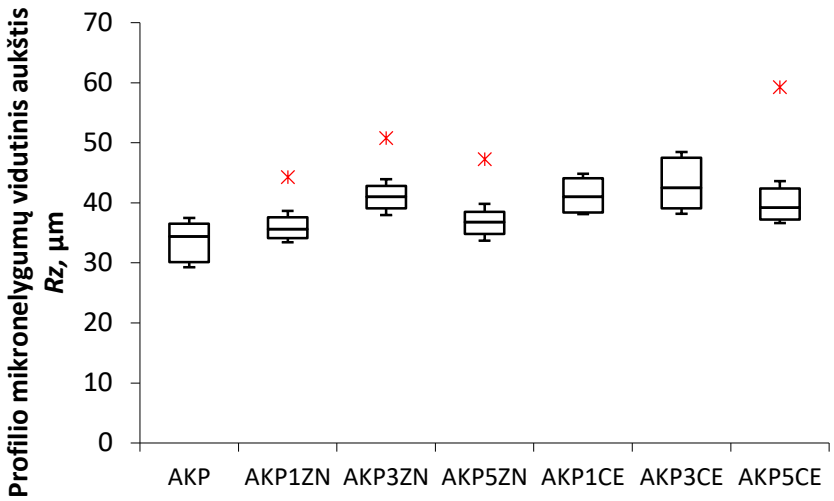
Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinio aukščio R_z rezultatai išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje pateikti 3.5 pav.



3.5 pav. Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Kaip ir išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje taip ir išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje matome, kad visų pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinis aukščio R_z reikšmės yra taip pat pasiskistę viedonai. Didžiausios šiurkštumo parametro R_z išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje, vertės gautos AKP3ZN bandinių grupėje (R_z = 25,34 µm). Visų kitų grupių šiurkštumo parametro R_z vertės yra atitinkamai 1,1 – 1,2 karto mažesnės. Mažiausias variacijos koeficientas v (%) gautas AKP1CE bandinių grupėje (v = 1,88 %), o didžiausias – AKP bandinių grupėje (v = 3,62 %).

Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinio aukščio R_z rezultatai skersai medienos pluošto 3.6 paveiksle.

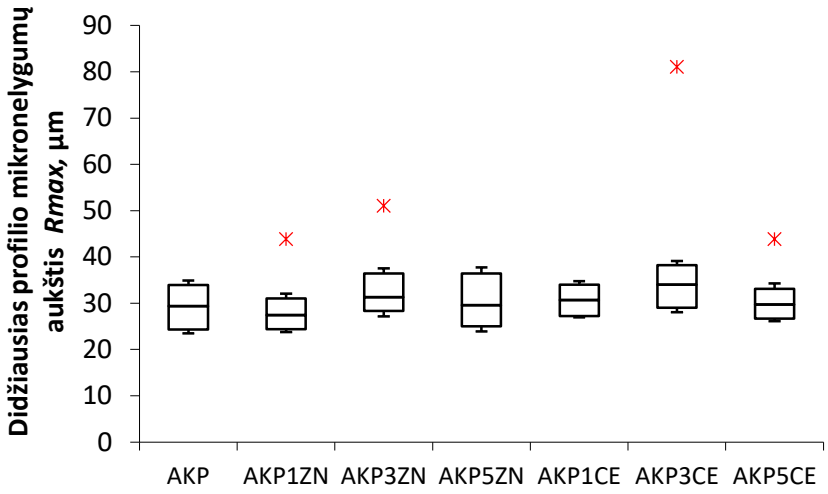


3.6 pav. Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z skersai medienos pluošto

3.6 paveiksle matyti, jog visų septynių pušies medienos bandinių grupių gautos R_z reikšmės skersai medienos pluošto yra išsidėstę gana tolygiai kaip ir išilgai medienos pluošto ankstyvojoje bei vėlyvojoje medienoje, paklaida neviršija 30 %. AKP3CE bandinių grupėje gautos didžiausios šiurkštumo parametro R_z skersai medienos pluošto reikšmės (R_z = 43,70 µm). Mažiausios šiurkštumo parametro R_z skersai medienos pluošto reikšmės išmatuotos pirmoje AKP bandinių grupėje (R_z = 33,78 µm). Šiurkštumo parametro R_z skersai medienos pluošto variacijos koeficiento v (%) reiškmės svyravo nuo 0,66 % iki 1,67 % ir tai rodo, jog rezultatai yra statistiškai patikimi.

Bendri 3.4, 3.5 ir 3.6 paveikslų duomenys rodo, kad didžiausias profilio profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z gautas pušies medieną matuojant skersai pluošto. Ši vertė yra 1,7 karto didesnė už išmatuotas išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje ir už išmatuotas ilšigai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje. Didžiausias profilio mikronelygumų vidutinio aukščio R_z variacijos koeficientas v (%) gautas AKP bandinių grupėje išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje. Atitinkamai šio parametro pušies medienos bandinių grupių vertės išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje yra 4,8 karto ir skersai medienos pluošto 10,5 karto mažesnės.

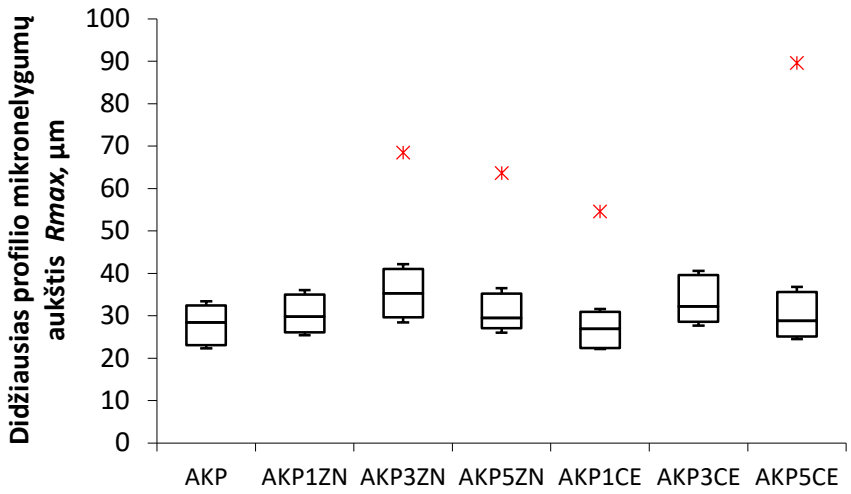
Pušies medienos bandinių grupių didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} rezultatai išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje pateikti 3.7 pav.



3.7 pav. Pušies medienos bandinių grupių didžiausias profilio mikronelygumų aukštis R_{max} išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Iš 3.7 pav. grafiko matyti, jog visų bandinių grupių gautoms didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} reikšmėms išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje būdingas tolygus pasiskirstymas, paklaida neviršija 30 %. Didžiausios šiurkštumo parametro R_{max} skaitinės vertės gautos AKP3CE bandinių grupėje (R_{max} = 35,35 µm). Mažiausios šiurkštumo parametro R_{max} išilgai medienos ankstyvojoje medienoje reikšmės išmatuotos AKP1ZN bandinių grupėje (R_{max} = 28,56 µm). Skirtumas tarp šių verčių yra 1,2 karto. Tyrinėjant šių bandinių grupių variacijos koeficientą v (%) didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje gauta didžiausia reikšmė AKP bandinių grupėje (v = 22,85 %) ir mažiausia reikšmė gauta AKP1CE bandinių grupėje (v = 1,44 %).

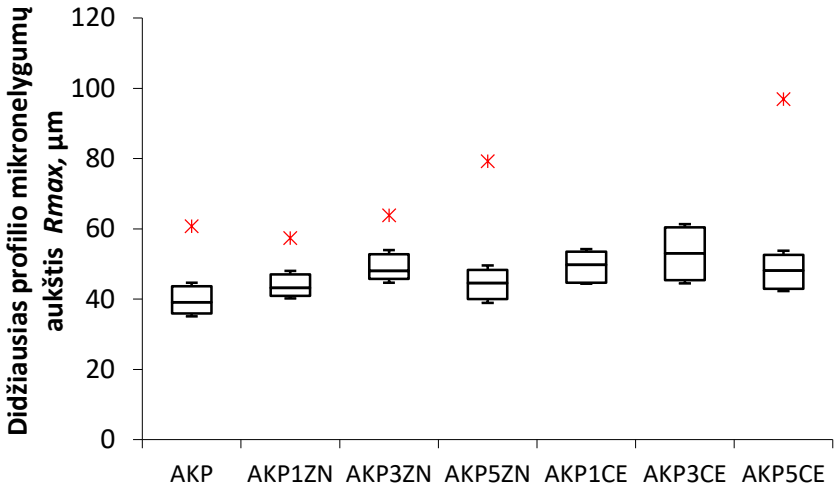
Pušies medienos bandinių grupių didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} rezultatai išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje pateikti 3.8 pav.



3.8 pav. Pušies medienos bandinių grupių didžiausias profilio mikronelygumų aukštis R_{max} išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Iš 3.8 paveikslo matome, kad kaip ir išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje, taip ir išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje, visų pušies medienos bandinių grupių didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} reikšmės irgi pasiskirsčiusios tolygiai ir paklaida neviršija 30 %. Didžiausios šiurkštumo parametro R_{max} išilgai medienos ankstyvojoje medienoje skaitinės vertės išmatuotos trečioje AKP3ZN bandinių grupėje (R_{max} = 35,86 µm). Tuo tarpu, mažiausia šiurkštumo parametro R_{max} išilgai medienos ankstyvojoje medienoje reikšmė gauta penktoje bandinių AKP1CE grupėje (R_{max} = 27,73 µm). Variacijos koeficiento v (%) gauta didžiausia reikšmė (v = 2,84 %) ir mažiausia gauta reikšmė (v = 1,36 %). Skirtumas tarp šių dviejų reikšmių yra 2,1 karto.

Pušies medienos bandinių grupių didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} rezultatai skersai medienos pluošto pateikti 3.9 paveiksle.



3.9 pav. Pušies medienos bandinių grupių didžiausias profilio mikronelygumų aukštis R_{max} skersai medienos pluošto

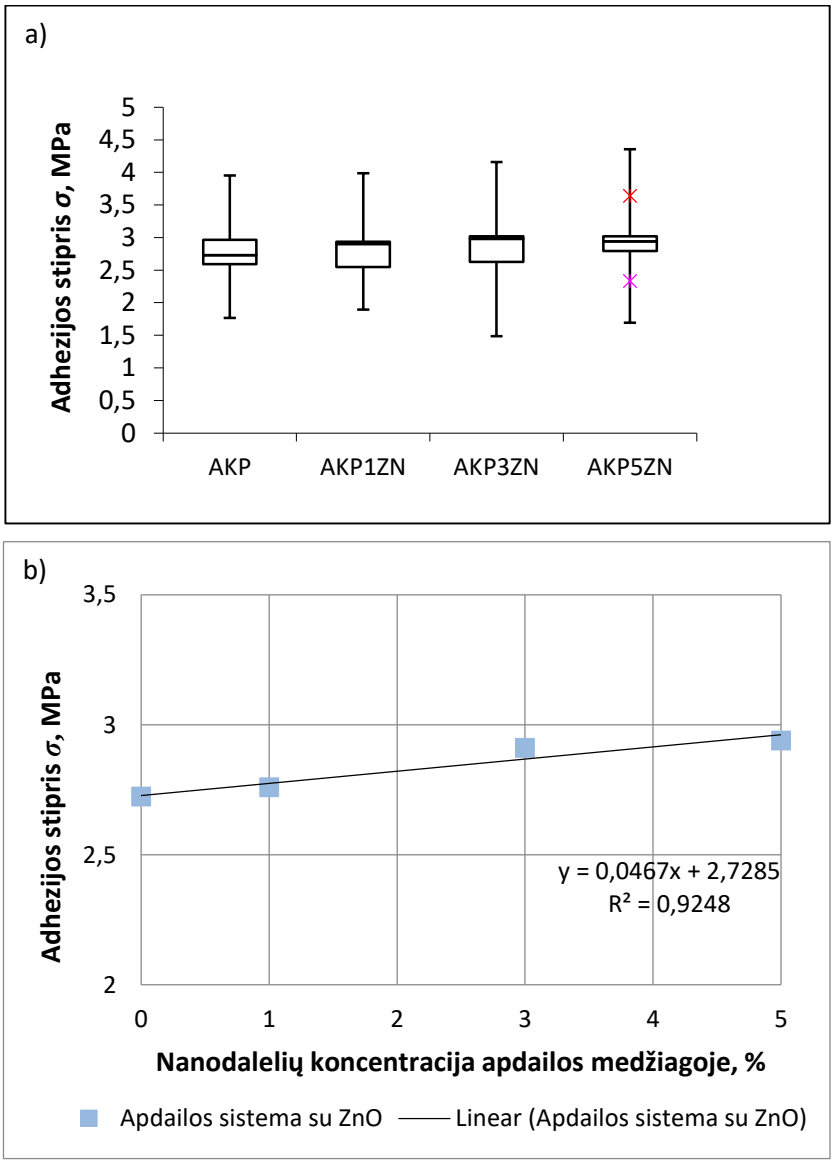
Pušies medienos bandinių grupių didžiausios šiurkštumo parametro R_{max} skaitinės reikšmės skersai medienos pluošto gautos šeštoje AKP3CE bandinių grupėje (R_{max} = 54,09 µm). Visų kitų grupių didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} skaitinės vertės yra atitinkamai mažesnės 1,4 – 1,4 karto mažesnės. Čia variacijos koeficiento v (%) didžiausia reikšmė gauta AKP bandinių grupėje (v = 1,43 %) ir mažiausia reikšmė gauta trečioje AKP3ZN bandinių grupėje (v = 0,57 %). Taip pat, visoms pušies medienos bandinių grupių reikšmėms būdingas tolygus pasiskirstymas.

Bendri 3.7, 3.8 ir 3.9 grafikų rezultatai rodo, jog didžiausios reikšmės didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} skaitinės reikšmės gautos matuojant pušies medienos bandinių grupes skersai medienos pluošto. Šios vertės yra didesnė 1,5 karto už išmatuotas išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje ir išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje. Didžiausias variacijos koeficientas v (%) vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_{max} nustatytas išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje AKP bandinių grupėje ir jos rezultatų sklaida ženkliai skiriasi nuo kitų grupių koeficientų. Atitinkamai šio parametro vertės išilgai medienos pluošto ankstyvojoje rievėje yra 8,1 karto ir skersai medienos pluošto 16,0 kartų mažesnės. Tai rodo, jog AKP bandinių grupės rezultatų sklaida yra didelė, lyginant su kitomis bandinių grupėmis.

3.3. Pušies medienos apdailos sistemų adhezijos stiprio tyrimas

3.3.1. Apdailos dangų su ZnO nanodalelėmis pušies medienos bandinių adhezijos stipris

Pušies medienos bandinių grupių AKP, AKP1ZN, AKP3ZN ir AKP5ZN, padengtų su apdailos dangų sistemomis, kur ZnO nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 %, 5 %, adhezijos stiprio rezultatai pateikti 3.10 paveiksle.

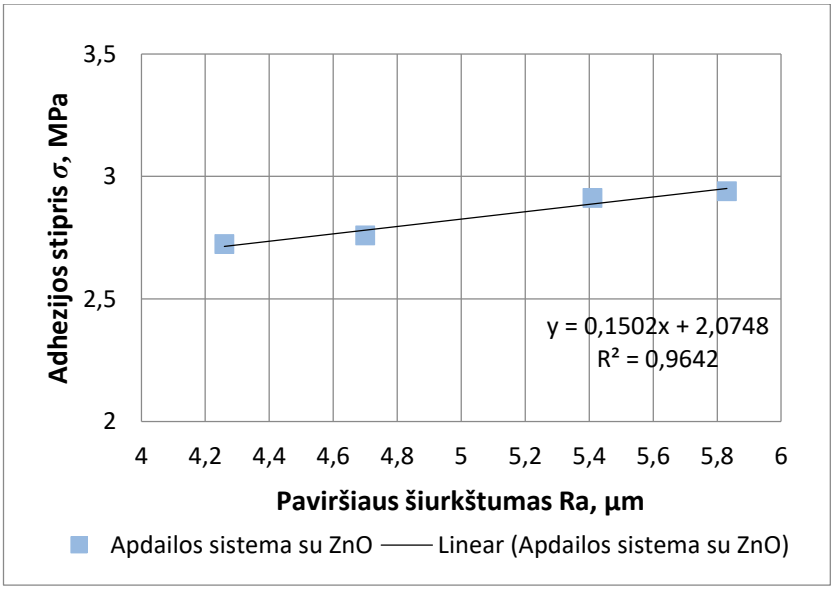


3.10 pav. Pušies medienos bandinių grupių (AKP, AKP1ZN, AKP3ZN ir AKP5ZN) adhezijos stiprio rezultatai: a – adhezijos stiprio reikšmių pasiskirstymas; b – vidutinių adhezijos stiprio reikšmių priklausomybė nuo ZnO nanodalelių koncentracijos apdailos medžiagoje

3.10 paveiksle adhezijos stiprio gautos skaitinės reikšmės rodo, kad didėjant ZnO nanodalelių koncentracijai apdailos dangų sistemose, adhezijos stipris nežymiai didėja. Visų keturių bandinių

grupių adhezijos stiprio reikšmių sklaida yra nedidelė, kadangi variacijos koeficiento *v* (%) reikšmės šiose pušies medienos bandinių grupėsė svyravo nuo 8,51 % iki 10,78 %, todėl rezultatai yra patikimi. Didžiausias adhezijos stipris gautas AKP5ZN bandinių grupėje (σ = 2,94 MPa), kur į akrilinę apdailos sistemą buvo maišomos ZnO nanodalelės, kurių koncentracija 5 %. Mažiausias adhezijos stipris gautas AKP apdailos sistemos grupėje (σ = 2,72 MPa), kur šių nanodalelių koncentracija akriliniame lake buvo 0 %. Gautas adhezijos stiprio pokytis, kaip ZnO nanodalelių koncentracija buvo 1 %, 3 % ir 5 %, adhezijos stiprio reikšmės atitinkamai padidėjo 1,01 karto, 1,07 karto, ir 1,07 karto, lyginant su bandinių, padengtų akrilinio lako danga be nanodalių adhezijos stipriu. Tokios mažos reikšmės rodo, jog adhezijos stiprio pokytis, kaip į apdailą buvo įterpiamos ZnO nanodalelės, yra nežymus ir šios nanodalelės įtakos praktiškai nedarė. Tačiau, tai galėjo nulemti ne tik nanodalelių koncentracija. Pasak Turkijos mokslininkų Ozdemir T. ir kt. (2015), tokias adhezijos reikšmes galėjo paveikti tai, jog spygliuočių medienoje yra ekstraktinių medžiagų, kurios pablogina apdailos medžiagos įsigėrimą. Taip pat lyginant ZnO nanodalelių 3 % koncentraciją su 5 % koncentracija akriliniame lake, nustatytas vienodas adhezijos stiprio pokytis. Pasak mokslininko Ozgenc O. (2016), tokį rezultatą galėjo lemti dispersinės medžiagos kiekio padidėjimas, t.y. įvedant į apdailos sudėtį didesnį procentą nanodalelių analogiškai padidėja ir jos dispersinės medžiagos kiekis (gaunamas didesnis apdailos medžiagos atskiedimas) ir tai gali ženkliai sumažinti medienos paviršiaus vilgumą bei jos kapiliarinę įgertį.

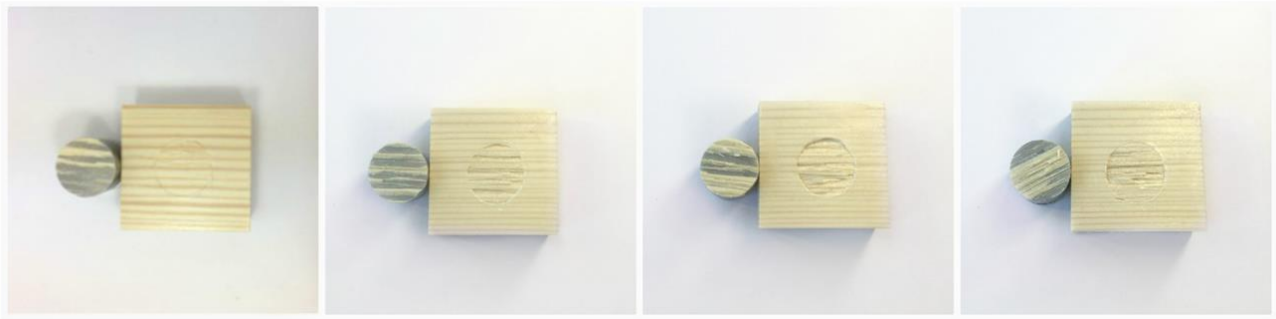
Apdailos sistemų su ZnO nanodalelėmis adhezijos stiprio priklausomybė nuo pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio (R_a) skersai medienos pluošto 3.11 paveiksle.



3.11 pav. Apdailos sistemų su ZnO nanodalelėmis adhezijos stiprio priklausomybė nuo pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio (R_a) skersai medienos pluošto

Apdailos adhezijos stipris priklauso nuo medienos paviršiaus šiurkštumo (Ugulino B. Ir kt., 2018). Iš 3.11 paveikslo reikšmių matyti, kad adhezijos stiprio tiesinė priklausomybė nuo paviršiaus šiurkštumo buvo gauta. Taip pat, pastebima tendencija, jog didėjant pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a vertėms skersai medienos, apdailos sistemų su įterptomis ZnO nanodalelėmis adhezijos stiprio reikšmės didėja. Medienos paviršiaus šiurkštumo parametro R_a vertėms padidėjus 1,4 karto šios apdailos sistemos adhezijos stipris padidėjo 1,1 karto.

Pušies medienos bandinių grupių AKP, AKP1ZN, AKP3ZN ir AKP5ZN, padengtų su apdailos medžiagų sistemomis, kur ZnO nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 % ir 5 % vizualūs tipiniai surities pobūdžiai pateikti 3.12 paveiksle ir procentiniai suirties pobūdžiai pateikti 3.1 lentelėje.



3.12 pav. Pušies medienos bandinių apdailintų su apdailos dangų sistemomis, kur ZnO nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 % ir 5 % tipiniai suirties pobūdžiai

3.2 lentelė. Apdailintų pušies medienos bandinių grupių su ZnO nanodalių danga procentiniai suirties pobūdžiai

Suirties pobūdis, %	Apdailintų pušies medienos bandinių grupė			
	AKP	**AKP1ZN**	**AKP3ZN**	**AKP5ZN**
A	56	54	66	59
A/B	42	44	33	40
Y/Z	1	3	1	0

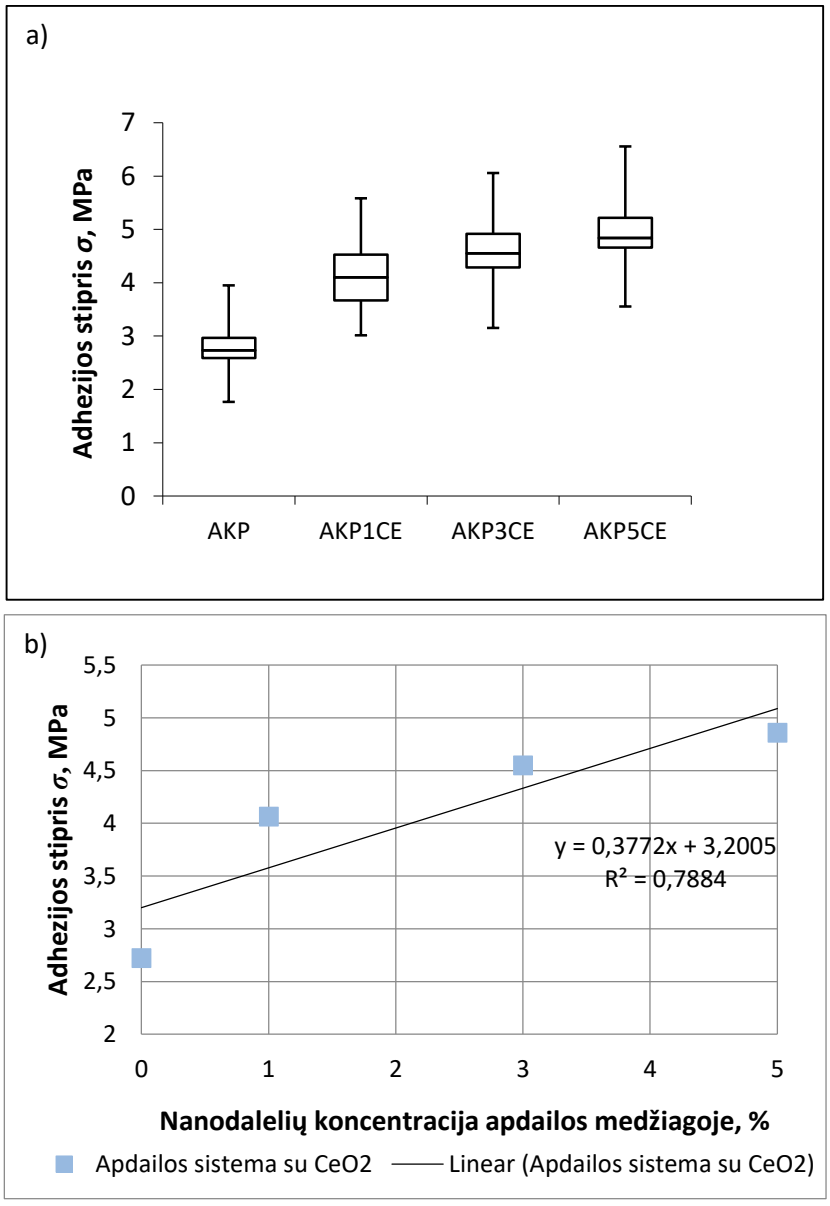
čia: A – suirtis per medieną; A/B – suirtis per dangą; Y/Z – suirtis per klijus.

Iš 3.12 paveikslo ir 3.1 lentelės matyti, kad visų keturių pušies medienos bandinių grupių, apdailintų su AK0, AK1ZNO, AK3ZNO ir AK5ZNO dangų sistemomis, adhezijos suirties pobūdžiai buvo koheziniai, tai yra suirtis daugiausiai vyko per medieną. Daugiausiai kohezinių medienos išplėšimų nustatyta AKP3ZN bandinių grupėje. Tuo tarpu kitų grupių kohezinių medienos išplėšimų reikšmės buvo atitinkamai 1,12 – 1,22 karto mažesnės. AKP1ZN pušies

medienos bandinių grupėje nustatyta mažiausia suirties per medieną reikšmė. Mažiausia suirtis per klijus gauta AKP5ZN bandinių grupėje, o didžiausia procentinės suirties reikšmė per klijus gauta AKP1ZN bandinių grupėje.

3.3.2. Apdailos dangų su CeO_2 nanodalelėmis pušies medienos grupių adhezijos stipris

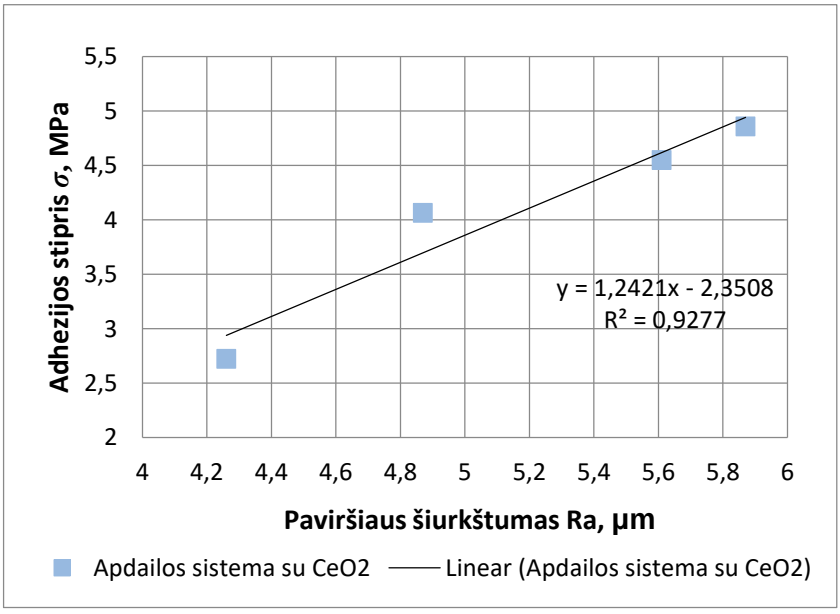
Pušies medienos bandinių grupių AKP, AKP1CE, AKP3CE ir AKP5CE, padengtų su apdailos dangų sistemomis, kur CeO_2 nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 % ir 5 %, adhezijos stiprio rezultatai pateikti 3.13 paveiksle.



3.13 pav. Pušies medienos bandinių grupių (AKP, AKP1CE, AKP3CE ir AKP5CE) adhezijos stiprio rezultatai: a – adhezijos stiprio reikšmių pasiskirstymas; b – vidutinių adhezijos stiprio reikšmių priklausomybė nuo CeO_2 nanodalelių koncentracijos apdailos medžiagoje

Iš 3.13 paveikslo matyti, jog padidinus CeO_2 nanodalelių kiekį skaidrios akrilinės medžiagos struktūroje, adhezijos stipris prie pušies medienos paviršiaus ženkliai keičiasi. Nustatyta tendencija, kad didėjant CeO_2 nanodalelių koncentracijai akrilinėje apdailos medžiagoje, didėja ir apdailos sistemų adhezijos stipris visoms pušies medienos bandinių grupėms. Visų keturių bandinių grupių adhezijos stiprio reikšmių sklaida yra nedidelė, variacijos koeficiento *v* (%) reikšmės šiose pušies medienos bandinių grupėsė svyravo nuo 9,86 % iki 13,32 %, tai rodo, jog rezultatai yra statistiškai patikimi. Nustatytas adhezijos stiprio pokytis, kaip CeO_2 nanodalelių koncentracija buvo 1 %, 3 % ir 5 %, adhezijos stiprio reikšmės atitinkamai padidėjo 1,5, 1,7, ir 1,8 karto, lyginant su bandinių, padengtų akrilinio lako danga be nanodalių adhezijos stipriu. Didžiausias adhezijos stipris gautas AKP5CE bandinių grupėje (σ = 4,86 MPa), kur į apdailos sistemą buvo įterptos CeO_2 nanodalelės, kurių koncentracija 5 %, tačiau lyginant šią adhezijos stiprio reikšmę su AKP3CE grupės reikšme (σ = 4,55 MPa), kaip šių nanodalelių koncentracija 3 %, pokytis yra tik 1,07 karto. Didesnis adhezijos pokytis 1,12 karto nustatytas lyginant AK1CE grupę, kur adhezijos stiprio vertė gauta (σ = 4,06 MPa), kaip CeO_2 nanodalelių koncentracija 1 % ir AKP3CE grupę. Tokius rezultatus galėjo nulemti padidėjęs polimerinės medžiagos klampumas, kurį paveikė nanodalelių agregavimo efektas (Caroline S. ir kt. 2011). Determinacijos koeficiento R^2 vertė yra artima tiesinei adhezijos stiprio parametro nuo nanodalelių koncentracijos priklausomybei (R^2 = 0,788).

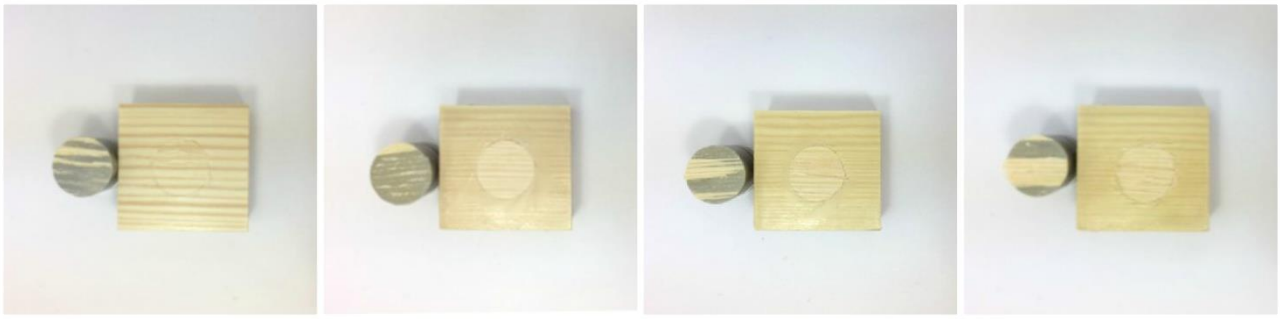
Apdailos sistemų su CeO_2 nanodalelėmis adhezijos stiprio priklausomybė nuo pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio (R_a) skersai medienos pluošto pateikta 3.14 paveiksle.



3.14 pav. Apdailos sistemų su CeO_2 nanodalelėmis adhezijos stiprio priklausomybė nuo pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio (R_a) skersai medienos pluošto

Iš 3.14 pav. grafiko matyti, jog didėjant pušies medienos vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a vertėms skersai medienos pluošto, apdailos sistemų su įterptomis CeO_2 nanodalelėmis adhezijos stipris didėja. Šią tendenciją galima paaiškinti tuo, jog medienai suteikus didesnį paviršiaus šiurkštumą, apdailos medžiaga geriau įsigėrė į gilesnius medienos ląstelių sluoksnius (Luiz Fernando de Moura ir kt. 2005). Medienos paviršiaus šiurkštumo parametro R_a vertėms padidėjus 1,4 karto šios apdailos sistemos adhezijos stipris padidėjo 1,8 karto.

Pušies medienos bandinių grupių AKP, AKP1CE, AKP3CE ir AKP5CE, padengtų su apdailos dangų sistemomis, kur CeO_2 nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 % ir 5 % tipiniai suirties pobūdžiai pateikti 3.15 paveiksle ir procentiniai suirties pobūdžiai pateikti 3.2 lentelėje.



3.15 pav. Pušies medienos bandinių apdailintų su apdailos dangų sistemomis, kur CeO_2 nanodalelių koncentracija kito atitinkamai 0 %, 1 %, 3 % ir 5 % tipiniai suirties pobūdžiai

3.3 lentelė. Apdailintų pušies medienos bandinių grupių su CeO_2 nanodalių danga suirties pobūdžiai

Suirties pobūdis, %	Apdailintų pušies medienos bandinių grupė			
	AKP	**AKP1CE**	**AKP3CE**	**AKP5CE**
A	56	53	55	56
A/B	42	44	43	39
Y/Z	1	3	2	3

čia: A – suirtis per medieną; A/B – suirtis per dangą; Y/Z – suirtis per klijus.

Įvertinus visų pušies medienos bandinių grupių, padengtų su AK0, AK1CEO2, AK3CEO2 ir AK5CEO2 apdailos sistemomis, adhezijos suirties pobūdžius pastebėta, jog dažniausiai jie buvo koheziniai, tai yra suirtis vyko per medieną, 3.15 pav. ir 3.3 lentelė. Pasak mokslininkės Caroline S. ir kt. (2011), jei gaunami dangos ir medienos paviršiaus suirties pobūdžiai yra koheziniai, vadinasi adhezija tarp šių dviejų medžiagų buvo gera. Todėl galime teigti, jog CeO_2 nanodalelės pagerino apdailos medžiagos adhezijos stiprį su medienos paviršiumi. AKP ir AKP5CE bandinių grupėse

nustatyta daugiausiai kohezinių medienos išplėšimų, mažiausiai – AKP1CE bandinių grupėje. Skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios vertės yra tik 1,1 karto. Didžiausia procentinė suirtis per klijus gauta AKP1CE ir AKP5CE bandinių grupėse. Mažiausia procentinė suirtis per klijus gauta AKP pušies medienos bandinių grupėje.

Išvados

1. Didžiausios vidutio aritmetinio profilio nuokrypio R_a skaitinės vertės gautos pušies medieną matuojant skersai pluošto. Šios vertės yra 1,5 karto didesnės už išmatuotas išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje ir 1,6 karto didesnės už išmatuotas išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje.

2. Didžiausias profilio mikronelygumų vidutinis aukštis R_z skaitinės vertės gautos pušies medieną matuojant skersai pluošto. Ši vertė yra 1,7 karto didesnė už išmatuotas išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje ir už išmatuotas išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje.

3. Didžiausias šiurkštumo reikšmės didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} skaitinės vertės gautos matuojant pušies medienos bandinių grupes skersai medienos pluošto. Ši vertė yra 1,5 karto didesnė už išmatuotas išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje ir išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje.

4. Tyrimo rezultatai parodė, kad adhezijos stiprio skaitines vertes daugiausiai nulėmė nanodalelės ir jų kiekis apdailos medžiagoje. Tačiau įtakos turėjo ir paviršiaus šiurkštumas. Nustatyta, jog didėjant medienos paviršiaus šiurkštumui, didėja ir adhezijos stipris.

5. Pastebėta, kad ZnO ir CeO_2 nanodalelės skaidriame vandens pagringo akriliniame lake skirtingai veikia adhezijos stiprį. Nustatyta tendencija, jog didėjant CeO_2 nanodalelių koncentracijai, atitinkamai didėja ir apdailos sistemų adhezijos stipris. Tačiau tokia tendencija pasireiškė nežymiai su ZnO nanodalelėmis.

6. Didžiausias adhezijos stipris gautas akrilinio lako sistemoje su ZnO nanodalelelėmis AKP5ZN bandinių grupėje (σ = 2,94 MPa), kurių koncentracija 5 %, tuo tarpu akrilinio lako sistemoje su CeO_2 nanodalelelėmis AKP5CE bandinių grupėje (σ = 4,86 MPa), kurių koncentracija taip pat 5 %. Mažiausias adhezijos stipris kaip ir tikėtasi gautas AKP apdailos sistemos grupėje, kur nanodalelių koncentracija buvo 0 %.

7. Norint detaliau ištirti nanodalelių įtaką adhezijos procesams, būtini tolimesni ir gilesni tyrimai.

8. Šio tyrimo duomenys galėtų būti pritaikomi medienos apdailos technologijoje, siekiant padidinti tarpusavio dangos ir skaidrių apdailos medžiagų adheziją tam, jog eksterjere naudojamos skaidrios dangos tamptų ilgaamžiškesnės.

Literatūros sąrašas

1. Bertrand F., German S.A., Anwar A., Irune V., Gemma B., Yolanda R., De Miguel and Lennart B. Dispersion and surface functionalization of oxide nanoparticles for transparent photocatalytic and UV-protecting coatings and sunscreens. *Sci. Technol. Adv. Mater*. 2013 p. 23.
2. Charles R. Frihart. Wood Structure and Adhesive Bond Strength. 2006.
3. Mojgan N., Paul C. Exterior wood coatings. Part-1: Performance of semitransparent stains on preservative-treated wood. *J. Coat. Technol. Res.* 2011, p. 449–458.
4. Elymen D. T., Ferhat A., Oktay G., Ebru D. Sam P. Influence of tannin containing coatings on weathering resistance of wood: Water based transparent and opaque coatings. Polymer Degradation and Stability 151, 2018, p. 152-159.
5. Barnett J. R., Jeronimidis G. Wood Quality and its Biological Basis. *CRC Press*, 2003, p. 30-90.
6. Jakimavičius Č. Medienotyra. *Kaunas, Technologija*, 2008. p. 34–128
7. Softwood structure. Internetinė prieiga: http://www.afrc.uamont.edu/pattersond/Coursework/Undergrad/softwood_cells.htm [žiūrėta 2018-05-09].
8. Wood anatomy. Internetinė prieiga: http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=PISY [žiūrėta 2018-05-09].
9. The wood database. Softwood anatomy. Internetinė prieiga: http://www.wood-database.com/wood-articles/softwood-anatomy/ [žiūrėta 2018-05-09].
10. Aleinikovas M., Grigaliūnas J. Differences of Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood Physical and Mechanical Properties From Different Forest Site Types in Lithuania. *Baltic Forestry*. 2006, 12 (1), p. 9–13.
11. Mederski, P. S., Bembenek M., Karaszewski, Z., Giefing D. F., Sulima-Olejniczak E., Rosinska M., Lacka A. Density and mechanical properties of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) wood from a seedling seed orchard. *Drewno*, 2015, 58 (195), p. 1–8.
12. Fernandes C., Gaspar M. J., Pires J., Alves A., Simoes R., Rodrigues J. C., Silva M. E., Carvalho A., Brito J. E. Lousada J. L. Physical, chemical and mechanical properties of *Pinus Sylvestris* wood at five sites of Portugal. *Italian Society of Silviculture and Forest Ecology*, 2017, 10, p. 669–679.

13. Meier, P., Stoor E., Kaps, T., Kallavus U. Mechanical properties of pinewood (*Pinus Sylvestris*) swollen in organic liquids. *Proc. Estonin Aca. Sci. Eng*., 2006, 12 (2), p. 125–133

14. Roszyk E., Molinski W., Kaminski M. Tensile Properties Along the Grains of Earlywood and Latewood of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Dry and Wet State. *BioResources*, 2016, 11 (2), p. 3027–3037.

15. Kamperidou V., Barmpoutis P. Correlation between the changes of colour and mechanical properties of thermally-modified Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Pro Ligno*, 2015, 11 (4), p. 360–365.

16. Korkut S., Akgul M., Dundar T. The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Bioresourse Technology*, 2008, 99, p. 1861–1868.

17. Zeno W. Wicks Jr., et al., Organic Coatings: Science and Technology. 2007, Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience.

18. Schniewind, A., Mechanism of check formation. *Forest Products Journal*, 1963. 13 (11): p. 475–480.

19. Landry, V., Riedl B., and Blanchet P., Alumina and zirconia acrylate nanocomposites coatings for wood flooring: Photocalorimetric characterization. *Progress in Organic Coatings*, 2008. 61 (1): p. 76–82.

20. Nejad, M., et al., Studying dispersion quality of nanoparticles into a bio-based coating. Progress in Organic Coatings, 2015. 89: p. 246–251.

21. Winkelaar, A., Coatings Basics ed. E.C.T. Files. 2010: William Andrew, Hannover, Germany.

22. Heilen, W., Haim J., and Hyatt D., Additives for Waterborne Coatings. 2009: Vincentz Network, Hannover, Germany.

23. Bullian F., Graystone J. A. Industrial Wood Coatings. Theory and Practice. *Elsevier Science*, The Netherlands, 2009, p. 320.

24. AIi M.F., Paints, Pigments and Industrial Coatings. Handbook of industrial chemistry, McGraw-Hill, USA, 2005, p. 201–257.

25. Weldon, D.G., Failure Analysis of Paints and Coatings. John Wiley & Sons, West Sussex, United Kingdom. 2002, p. 291.

26. Jeremic, D., Cooper P., and Brodersen P., Penetration of poly (ethylene glycol) into wood cell walls of red pine. Holzforschung, 2007. 61 (3): p. 272–278.

27. J. Pospíšil, S. Nešpurek., Photostabilization of coatings. Mechanisms and performance. *Prog. Polym. Sci*., 2000, 25, p. 1261–1335.

28. Van den Bulcke J., Van Acker J Stevens M., Experimental and theoretical behavior of exterior wood coatings subjected to artificial weathering. J. Coat. Technol. Res., 2008, 5 (2), p. 221–231.

29. Miroslav N., John M. L., Anand Ramesh Sanadi. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review. *J. Coat. Technol. Res*., 2015, 12 (3), p. 445–461.

30. Saha, S, Kocaefe, D, Boluk, Y, Pichette, A. Surface Degradation of CeO2 Stabilized Acrylic Polyurethane Coated Thermally Treated Jack Pine During Accelerated Weathering. *Appl. Surf. Sci*., 2013, 276, p. 86–94.

31. Saha, S, Kocaefe, D, Boluk, Y, Pichette, A., Surface Degradation of CeO2 Stabilized Acrylic Polyurethane Coated Thermally Treated Jack Pine During Accelerated Weathering. *Appl. Surf. Sci*., 2013, 276, p. 86–94.

32. Shailesh K. Dhoke. A.S. Khanna, T. Jai Mangal Sinha. Effect of nano-ZnO particles on the corrosion behavior of alkyd-based waterborne coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2009, 64, p. 371–382.

33. Michael S. L., David R. H., Amy L. W., Menas S. V., Frank R. P., Charles R. H. Assessment of UV-permeability in nano-ZnO filled coatings via high throughput experimentation. *J. Coat. Technol. Res.*, 2008, 5 (2), p. 233–239.

34. M. Rashvanda, Z. Ranjbar. Effect of nano-ZnO particles on the corrosion resistance of polyurethane-based waterborne coatings immersed in sodium chloride solution via EIS technique. *Progress in Organic Coatings*, 2013, 76, p. 1413-1417.

35. Awaja F., Gilbert M., Kelly G., Fox B., Pigram P. J. Adhesion of polymers. *Progress in Polymer Science*, 2009, 34, p. 948–968.

36. Carl A. Dahlquist. The Theory of Adhesion. 2006.

37. Ulrich Z. Adhesion Testing. 2006.

38. Gordon L. N. Adhesion. 1995.

39. DIN EN ISO 2409. Pains and Varnishes. Cross-cut Test, 2013.

40. DIN EN ISO 4624. Paints, Varnishes and Plastics. Pull-off Tests for Adhesion, 2016.

41. Meijer M. A Review of Interfacial Aspects in Wood Coatings: Wetting, Surface Energy, Substrate Penetration and Adhesion / *Cost E18 – Final Seminar A Review of Interfacial Aspects in Wood Coatings*, 2004, p. 1 – 16.

42. Hernandez R. E., Moura L. F. Evaluation of varnish coating performance for two surfacing methods on sugar maple wood. *Wood and Fiber Science*, 2005, 37 (2), p. 355-366.

43. Plotze M., Niemez P. Porosity and Pore Size Distribution of Different Wood Types as Determined by Mercury Intrusion Porosimetry / *Eur. J. Wood Prod.*, 2011, 69, p. 649 – 657.

44. Rijckaert V., Stevens M., Van Acker J., de Meijer M., Militz, H. Quantitative assessment of the penetration of water-borne and solvent-borne wood coatings in Scots pine sapwood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2001, 59, p. 278-287.

45. Van den Bulcke J., Rijckaert V., Van Acker J., Stevens M. Quantitative measurement of the penetration of water-borne coatings in wood with confocal lasermicroscopy and image analysis. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2003, 61, p. 304-310.

46. Sonmez A., Budakci M., Bayram M. Effect of wood moisture content on adhesion of varnish coatings. *Scientific Research and Essay*, 2009, 4 (12), p. 1432-1437.

47. Luiz F.de M., Roger E. H. Evaluation of varnish coating performance for two surfacing methods on sugar maple wood. *Wood and Fiber Science*, 2005, 37 (2), p. 355–366.

48. Ozdemir T., Hiziroglu S., Kocapinar M. Effect of Heartwood and Sapwood Ratio on Adhesion Strength of Finished Wood Species. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015, p. 1–5.

49. Vokietaitytė J., Ukvalbergienė K., Keturakis G. The Effects of Surface Roughness on Adhesion Strength of Coated Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Birch (*Betula* L.) *Wood. ISSN 1392–1320 Materials Science (Medžiagotyra)*. Vol. 18, No. 4. 2012.

50. Salsa E. A., Krystofiak T., Lis, B., Mazela B., Proszyk S. Some Coating Properties of Black Alder Wood as a Function of Varnish Type and Application Method. *Bioresources*. 2016, 11 (3), p. 7580–7594.

51. Salsa E. A., Krystofiak T., Lis, B. Evaluation of Selected Properties of Alder Wood as Functions of Sanding and Coating. *Coatings*. 2017, p. 1–10.

52. Josip M., Vlatka J. R., Marko S. The impact of sanding and curing time on quality of coated wood surface. *Proceedings of "27th International Conference on Wood Modification and Technology"*. 2016, p. 153–158.

53. Ugulino B., Hernandez R. E. Analysis of sanding parameters on surface properties and coating performance of read oak wood. *Wood Material Science & Engineering*. 2018, 13 (2), p. 64–72.

54. Xue W., Yang T., Liu Y. Influence of Machining Methods on Wood Surface Roughness and Adhesion Strength. *Proceedings of International Conference on Biobase Material Science and Engineering.* 2012, p. 284–287.

55. Herrera R., Muszynska M., Krystofiak T., Labidi J. Comparative evaluation of different thermally modified wood samples finishing with UV-curable and waterborne coatings. *Applied Surface Science*. 2015, p. 1444–1453.

56. Yalcin M., Ceylan H. The effects of tannins on adhesion stregth and surface roughness of varnished wood after accelerated weathering. *J. Coat. Technol. Res*. 2017, 14 (1), p. 185–193.

57. Hanemann T. and Vinga S. D. Polymer–nanoparticle composites: from synthesis to modern applications. *Materials.* 2010, 3, p. 3468–517.

58. Shi X. M. Effect of nanoparticles on the anticorrosion and mechanical properties of epoxy coating *Surf. Coat. Technol.* 2009, 204, p. 237–45.

59. Sabagh S, Bahramian A. R. and Kokabi M. SiAlON nanoparticles effect on the behaviour of epoxy coating *Iran Polym. J.* 2012, 21, p. 229–37.

60. Caroline S., Bernard R., Pierre B. UV-waterborne polyurethane-acrylate nanocomposite coatings containing alumina and silica nanoparticles for wood: mechanical, optical, and thermal properties assessment. *J. Coat. Technol. Res*. 2011, 8 (2), p. 211-221.

61. Mirela V. C., Bernard R., Pierre B. Effect of addition of nanosized UV absorbers on the physico-mechanical and thermal properties of an exterior waterborne stain for wood. *Progress in Organic Coatings*. 2011, 72, p 755-762.

62. Ozgenc O. Determination of some technological properties on coating systems based acrylic resin with UV absorber. *Proceedings of "IFC 2016 International Furniture Congress"*. 2016, p. 295–297.

63. Ozgenc O., Durmaz S. Comparison of resistance of some water based acrylic resin based wood coating systems against outdoor conditions. *Proceedings of 3rd International Scietific Conference „Wood Technology & Product Design“*. 2017, p. 1–8.

64. Gydas J. Medienotyra. Laboratoriniai darbai. Kaunas: KPI, 1986, p. 19-25.

65. Liukaitis J., Kleveckas T. Medžiagų tyrimo pagrindai. Kaunas: Technologija, 2008, p. 13-54.

Priedai

Pirmos pušies medienos bandinių grupės AKP duomenys, adhezijos stiprio ir suirties kokybės rezultatai

Bandinio nr.	Bandinio matmenys, mm			Bandinio masė, g	Tankis, kg/m^3		Metinių rievių skaičius 1 cm	Medienos drėgnis ω, %	Suirties jėga F, N	Adhezijos stipris σ, MPa	Vizualinė bandinių suirties kokybė, %		
	a	b	l		ρ_w	ρ_{12}					A	A/B	Y/Z
1	45,19	45,07	20,07	20,09	491,48	487,58	3,6	12,0	858,7	2,73	55	45	0
2	45,23	44,86	19,84	19,46	483,41	479,57	4,0	12,0	928,0	2,96	55	40	5
3	45,21	44,79	19,87	19,64	488,12	484,25	3,6	12,2	640,2	2,04	50	49	1
4	45,19	45,01	20,09	19,44	475,73	471,96	3,6	11,9	855,8	2,73	55	42	3
5	45,20	45,02	19,96	19,47	479,36	475,56	4,1	11,8	955,0	3,04	60	39	1
6	45,22	45,17	20,28	19,64	474,13	470,36	3,6	12,0	791,9	2,52	55	45	0
7	45,07	45,07	20,21	19,59	477,19	473,40	3,8	12,1	835,7	2,66	60	40	0
8	45,28	45,11	20,05	19,46	475,17	471,40	3,6	12,2	769,0	2,45	55	34	1
9	45,11	45,02	19,93	19,86	490,67	486,78	3,8	11,6	754,8	2,40	55	45	0
10	45,23	44,55	20,27	19,26	471,55	467,81	3,8	11,9	942,5	3,00	50	48	2
11	45,09	44,79	19,83	19,07	476,18	472,40	4,0	11,6	999,4	3,18	60	40	0
12	45,08	44,75	20,07	19,29	476,44	472,66	3,8	11,3	884,2	2,82	60	40	0
13	45,15	44,74	19,86	19,22	479,09	475,29	3,6	11,3	933,8	2,97	60	40	0
14	45,15	45,03	19,99	19,11	470,21	466,47	3,8	11,8	840,7	2,68	50	50	0
15	45,10	44,99	19,64	18,70	469,25	465,53	4,0	11,3	840,1	2,68	65	35	0

Antros pušies medienos bandinių grupės AKP1ZN duomenys, adhezijos stiprio ir suirties kokybės rezultatai

Bandinio nr.	Bandinio matmenys, mm			Bandinio masė, g	Tankis, kg/m^3		Metinių rievių skaičius 1 cm	Medienos drėgnis ω, %	Suirties jėga F, N	Adhezijos stipris σ, MPa	Vizualinė bandinių suirties kokybė, %		
	a	b	l		ρ_w	ρ_{12}					A	A/B	Y/Z
1	45,07	44,99	19,94	19,01	470,17	466,44	4,0	11,3	764,2	2,43	52	48	0
2	45,20	44,98	19,96	19,22	473,63	469,87	4,2	11,3	920,0	2,93	52	48	0
3	45,09	45,01	19,70	18,86	471,72	467,98	4,0	11,3	920,3	2,93	50	48	2
4	45,12	44,98	19,73	18,61	464,76	461,07	3,8	11,3	960,9	3,06	55	47	3
5	45,30	44,74	20,11	18,81	461,51	457,85	4,0	11,3	804,5	2,56	50	50	0
6	45,26	44,90	19,59	19,06	478,77	474,97	4,4	11,3	798,7	2,54	52	47	1
7	45,06	44,89	19,54	18,87	477,43	473,64	4,2	11,2	915,7	2,92	52	48	0
8	45,10	44,86	19,65	18,85	474,15	470,38	3,8	11,2	737,5	2,35	55	45	0
9	45,19	44,84	19,69	19,01	476,46	472,68	3,8	11,3	863,1	2,75	52	46	2
10	45,05	45,09	20,09	19,96	489,11	485,23	4,4	12,0	910,4	2,90	55	45	0
11	45,22	44,63	19,96	19,08	473,65	469,89	3,8	11,3	792,4	2,52	55	45	0
12	45,30	45,09	20,03	20,06	490,31	486,42	3,8	12,0	923,5	2,94	60	40	0
13	45,20	44,92	20,01	19,86	488,83	484,95	4,0	11,3	937,7	2,99	40	30	30
14	45,23	44,95	19,91	19,37	478,52	474,72	4,4	11,4	933,9	2,97	70	30	0
15	45,13	44,09	20,09	19,07	477,05	473,27	3,8	11,4	817,9	2,60	55	45	0

Trečios pušies medienos bandinių grupės AKP3ZN duomenys, adhezijos stiprio ir suirties kokybės rezultatai

Bandinio nr.	Bandinio matmenys, mm			Bandinio masė, g	Tankis, kg/m^3		Metinių rievių skaičius 1 cm	Medienos drėgnis ω, %	Suirties jėga F, N	Adhezijos stipris σ, MPa	Vizualinė bandinių suirties kokybė, %		
	a	b	l		ρ_w	ρ_{12}					A	A/B	Y/Z
1	45,23	44,93	20,75	20,67	490,18	486,29	3,8	12,0	948,6	3,02	65	45	0
2	45,06	44,76	20,59	20,16	485,46	481,61	3,8	12,0	806,9	2,57	60	40	0
3	45,24	44,99	19,82	19,53	484,13	480,29	4,2	11,6	898,2	2,86	60	39	1
4	45,06	45,00	19,73	19,44	485,92	482,06	4,0	11,6	885,7	2,82	55	40	5
5	45,01	44,81	20,35	19,85	483,63	479,79	3,8	12,0	803,0	2,56	75	25	0
6	45,01	44,91	20,26	19,88	485,43	481,58	4,4	12,0	1000,1	3,19	85	15	0
7	45,07	44,80	20,34	20,32	494,77	490,85	4,4	12,0	814,7	2,59	75	25	0
8	45,00	45,01	20,47	20,14	485,76	481,90	4,2	11,8	818,8	2,61	55	44	1
9	45,13	44,83	20,08	19,50	480,00	476,19	4,0	11,6	938,8	2,99	97	3	0
10	45,11	44,93	20,78	21,24	504,31	500,31	3,8	12,0	940,3	2,99	60	39	1
11	45,19	44,65	20,43	20,14	488,57	484,69	4,2	12,0	1077,2	3,43	75	20	5
12	45,06	44,93	19,96	20,57	509,03	504,99	4,4	12,0	937,0	2,98	52	47	1
13	45,04	44,43	20,38	20,05	491,63	487,72	4,2	12,0	1068,8	3,40	65	35	0
14	45,04	44,43	20,24	20,71	511,32	507,26	4,0	12,0	947,6	3,02	52	48	0
15	45,06	44,74	20,37	19,96	486,05	482,19	3,8	11,8	827,8	2,64	65	35	0

Ketvirtos pušies medienos bandinių grupės AKP5ZN duomenys, adhezijos stiprio ir suirties kokybės rezultatai

Bandinio nr.	Bandinio matmenys, mm			Bandinio masė, g	Tankis, kg/m^3		Metinių rievių skaičius 1 cm	Medienos drėgnis ω, %	Suirties jėga F, N	Adhezijos stipris σ, MPa	Vizualinė bandinių suirties kokybė, %		
	a	b	l		ρ_w	ρ_{12}					A	A/B	Y/Z
1	45,09	44,85	20,58	20,48	492,09	488,18	4,2	12,0	901,7	2,87	70	30	0
2	45,09	44,84	20,79	21,09	501,74	497,76	4,4	12,0	924,3	2,94	60	40	0
3	45,15	44,97	20,81	21,20	501,75	497,76	4,4	12,0	1043,3	3,32	50	49	1
4	45,17	45,05	20,81	22,36	528,03	523,83	4,4	12,0	859,7	2,74	50	48	2
5	45,10	45,05	20,84	21,53	508,48	504,45	4,2	12,0	961,2	3,06	55	45	0
6	45,12	44,97	20,88	21,50	507,48	503,45	4,0	12,0	1021,6	3,25	55	45	0
7	45,22	44,92	20,44	20,11	484,35	480,51	3,8	12,0	1143,4	3,64	52	48	0
8	45,23	44,98	20,36	20,17	486,95	483,08	3,8	12,0	896,2	2,85	65	34	1
9	45,27	44,98	20,22	20,34	494,01	490,09	4,2	12,0	936,0	2,98	60	40	0
10	45,12	45,02	20,71	21,81	518,44	514,33	4,4	12,0	731,4	2,33	50	50	0
11	45,06	44,92	20,43	20,59	497,92	493,97	4,2	12,0	908,1	2,89	55	45	0
12	45,13	44,97	20,63	20,99	501,33	497,35	4,0	12,0	924,0	2,94	80	20	0
13	45,26	45,00	19,99	20,17	495,41	491,48	4,2	12,0	925,7	2,95	60	40	0
14	45,15	44,97	20,18	20,80	507,65	503,62	4,0	12,0	848,9	2,70	55	43	2
15	45,28	44,93	20,72	20,20	479,20	475,40	4,1	12,0	825,1	2,63	75	25	0

5 priedas

Penktos pušies medienos bandinių grupės AKP1CE duomenys, adhezijos stiprio ir suirties kokybės rezultatai

Bandinio nr.	Bandinio matmenys, mm			Bandinio masė, g	Tankis, kg/m^3		Metinių rievių skaičius 1 cm	Medienos drėgnis ω, %	Suirties jėga F, N	Adhezijos stipris σ, MPa	Vizualinė bandinių suirties kokybė, %		
	a	*b*	*l*		ρ_w	ρ_{12}					A	A/B	Y/Z
1	45,04	43,22	19,12	22,34	600,22	595,46	4,8	14,0	1272,0	4,05	50	45	5
2	45,47	43,45	19,54	22,68	587,49	582,83	4,4	14,0	1132,2	3,61	45	37	18
3	45,16	43,33	19,21	21,22	564,51	560,03	4,8	13,9	1097,4	3,49	55	40	5
4	45,41	43,89	19,36	20,80	539,06	534,79	4,0	15,2	1172,5	3,73	55	40	5
5	45,43	43,71	19,70	21,73	555,48	551,07	4,0	14,3	1431,6	4,56	57	43	0
6	45,26	43,45	19,36	21,39	561,83	557,37	5,0	14,2	1403,2	4,47	56	44	0
7	44,94	43,42	19,31	24,00	636,95	631,90	4,7	14,7	952,9	3,03	50	40	10
8	45,11	43,42	19,38	25,02	659,13	653,90	5,1	14,4	1270,6	4,05	54	46	0
9	45,43	43,60	19,39	23,35	607,97	603,14	5,0	14,5	1293,2	4,12	55	45	0
10	45,10	43,53	19,40	25,24	662,71	657,45	4,9	14,0	1471,0	4,68	54	46	0
11	45,06	43,46	19,27	24,51	649,50	644,35	4,8	15,0	1487,9	4,74	57	43	0
12	45,40	43,47	19,64	22,54	581,52	576,91	4,3	14,2	1288,9	4,10	50	50	0
13	45,18	43,54	19,28	21,28	561,09	556,63	4,6	15,1	1029,8	3,28	43	50	7
14	44,98	43,28	19,64	24,35	636,87	631,82	4,7	13,8	1424,6	4,54	55	45	0
15	45,05	43,09	19,33	22,23	592,43	587,73	5,1	14,4	1420,0	4,52	55	45	0

Šeštos pušies medienos bandinių grupės AKP3CE duomenys, adhezijos stiprio ir suirties kokybės rezultatai

Bandinio nr.	Bandinio matmenys, mm			Bandinio masė, g	Tankis, kg/m^3		Metinių rievių skaičius 1 cm	Medienos drėgnis ω, %	Suirties jėga F, N	Adhezijos stipris σ, MPa	Vizualinė bandinių suirties kokybė, %		
	a	b	l		ρ_w	ρ_{12}					A	A/B	Y/Z
1	45,36	43,28	19,37	22,69	596,68	591,95	5,8	14,2	1585,5	5,05	52	48	0
2	45,46	43,12	19,14	22,59	602,10	597,32	5,3	14,6	1061,4	3,38	52	47	0
3	45,07	43,49	19,17	22,34	594,54	589,83	6,2	14,3	1385,2	4,41	55	45	0
4	45,59	43,58	19,30	22,57	588,60	583,92	7,6	14,7	1488,5	4,74	85	15	0
5	45,11	43,38	19,38	22,80	601,20	596,43	7,8	14,2	1736,5	5,53	51	49	0
6	45,06	43,54	19,39	22,62	594,61	589,89	7,8	14,5	1690,6	5,38	75	25	0
7	45,38	43,38	19,32	22,87	601,32	596,55	5,8	14,4	1561,8	4,97	58	42	0
8	45,12	43,50	19,23	22,23	588,98	584,31	7,8	14,2	1340,2	4,27	50	40	10
9	45,44	43,54	19,07	21,69	574,89	570,32	7,0	13,8	1427,0	4,54	53	47	0
10	45,26	43,49	19,35	22,68	595,47	590,74	6,4	13,9	1067,5	3,40	40	35	25
11	45,44	43,47	19,17	22,99	607,14	602,32	7,8	14,4	1529,4	4,87	51	49	0
12	45,09	43,46	19,34	22,03	581,28	576,67	6,8	14,3	1434,2	4,57	50	50	0
13	45,05	43,48	19,06	22,16	593,56	588,85	6,4	14,2	1354,1	4,31	50	49	1
14	45,45	43,54	19,23	22,41	588,90	584,22	7,6	13,9	1427,2	4,55	51	49	0
15	45,04	43,44	19,01	22,03	592,30	587,60	6,8	14,5	1342,0	4,27	52	48	0

Septintos pušies medienos bandinių grupės AKP5CE duomenys, adhezijos stiprio ir suirties kokybės rezultatai

Bandinio nr.	Bandinio matmenys, mm			Bandinio masė, g	Tankis, kg/m^3		Metinių rievių skaičius 1 cm	Medienos drėgnis ω, %	Suirties jėga F, N	Adhezijos stipris σ, MPa	Vizualinė bandinių suirties kokybė, %		
	a	b	l		ρ_w	ρ_{12}					A	A/B	Y/Z
1	45,17	43,42	19,14	21,99	585,79	581,14	7,3	14,3	1473,7	4,69	80	15	5
2	45,09	43,29	19,33	22,45	595,00	590,28	5,8	14,2	1355,3	4,32	60	40	0
3	45,23	43,52	19,37	23,10	605,85	601,04	5,6	14,1	1466,1	4,67	40	35	15
4	45,30	43,37	19,43	22,34	585,22	580,58	6,3	14,4	1519,8	4,84	57	43	0
5	45,42	43,60	19,30	22,93	599,95	595,19	5,8	13,9	1717,0	5,47	52	48	0
6	45,55	43,35	19,36	22,64	592,23	587,53	5,6	14,5	1746,6	5,56	50	49	1
7	45,48	43,74	19,47	23,00	593,83	589,12	7,2	14,3	1596,9	5,09	52	48	0
8	45,22	43,57	19,40	22,45	587,35	582,69	7,4	14,0	1507,3	4,80	54	45	1
9	45,12	43,47	19,09	22,36	597,18	592,44	7,4	14,2	1461,2	4,65	54	34	2
10	45,09	43,81	19,09	22,17	587,90	583,24	6,2	14,4	1681,4	5,35	53	36	1
11	45,35	43,81	19,31	22,74	592,73	588,03	7,5	13,9	1219,0	3,88	50	42	8
12	45,57	43,71	19,34	22,58	586,15	581,50	6,0	14,1	1529,1	4,87	55	40	5
13	45,76	43,75	19,14	22,57	589,01	584,34	7,8	14,3	1730,4	5,51	65	35	0
14	45,69	43,50	19,42	22,32	578,28	573,69	7,9	14,4	1520,1	4,84	60	40	0
15	45,50	42,47	19,13	22,12	598,38	593,63	7,2	14,0	1363,7	4,34	55	38	7

Pušies medienos bandinių grupių tankio, metinių rievių skaičiaus ir drėgnio statistiniai rodikliai

Bandinių grupė	Vidurkis $\bar{x}$	Dispersija s^2	Standartinis nuokrypis s	Variacijos koef. v, %	Matvimo rezultato paklaida Δ	Pasikliautinis intervalas I_β	Santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats},%	Bendroji santykinė paklaida δ_b, %
Tankio ρ_{12}								
AKP	474,73	48,25	6,95	1,46	3,42	469,51; 476,62	0,72	1,02
AKP1ZN	472,62	67,44	8,21	1,74	4,04	466,53; 477,44	0,86	1,21
AKP3ZN	487,18	91,27	9,55	1,96	4,70	481,10; 491,39	0,96	1,36
AKP5ZN	496,35	160,96	12,69	2,56	6,24	487,78; 499,95	1,26	1,78
AKP1CE	595,03	1627,35	40,34	6,78	19,85	567,80; 605,14	3,34	4,72
AKP3CE	588,73	67,47	8,21	1,40	4,04	586,52; 593,87	0,69	0,97
AKP5CE	586,96	48,36	6,95	1,18	3,42	585,32; 592,11	0,58	0,82
Metinių rievių skaičiaus 1 cm								
AKP	3,78	0,03	0,18	4,71	0,09	3,73; 3,90	2,32	3,28
AKP1ZN	4,03	0,06	0,24	5,90	0,11	3,88; 4,10	2,83	4,00
AKP3ZN	4,07	0,06	0,24	5,78	0,11	3,95; 4,16	2,78	3,92
AKP5ZN	4,15	0,04	0,20	4,89	0,10	4,00; 4,21	2,35	3,32
AKP1CE	4,68	0,13	0,36	7,67	0,17	4,50; 4,83	3,68	5,21
AKP3CE	6,86	0,73	0,85	12,44	0,41	6,45; 7,27	5,97	8,45
AKP5CE	6,73	0,72	0,85	12,59	0,41	6,26; 7,01	6,04	8,55
Medienos drėgnio ω								
AKP	11,80	0,10	0,31	2,66	0,15	11,65; 11,95	1,31	1,85
AKP1ZN	11,39	0,06	0,25	2,21	0,12	11,27; 11,51	1,06	1,50
AKP3ZN	11,89	0,03	0,17	1,40	0,08	11,81; 11,97	0,67	0,95
AKP5ZN	12,00	0,00	0,00	0,00	00,0	12,00; 12,00	0,00	0,00
AKP1CE	14,38	0,20	0,44	3,09	0,21	14,17; 14,59	1,48	2,10
AKP3CE	14,27	0,07	0,26	1,82	0,13	14,15; 14,40	0,88	1,24
AKP5CE	14,20	0,04	0,19	1,36	0,09	14,11; 14,29	0,65	0,92

9 priedas

Pušies medienos bandinių grupių ahezijos stiprio statistiniai rodikliai

Bandinių grupė	Vidurkis $\bar{x}$	Dispersija s^2	Standartinis nuokrypis s	Variacijos koef. v, %	Matvimo rezultato paklaida Δ	Pasikliautinis intervalas I_β	Santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats},%	Bendroji santykinė paklaida δ_b, %
Adhezijos stiprio σ								
AKP	2,72	0,09	0,29	10,78	0,14	2,57; 2,94	5,30	7,50
AKP1ZN	2,76	0,06	0,23	8,51	0,12	2,66; 3,00	4,19	5,92
AKP3ZN	2,91	0,08	0,29	9,82	0,14	2,79; 3,13	4,83	6,84
AKP5ZN	2,94	0,09	0,31	10,48	0,15	2,86; 3,20	5,16	7,29
AKP1CE	4,06	0,29	0,54	13,18	0,26	3,41; 4,30	6,49	9,17
AKP3CE	4,55	0,37	0,61	13,32	0,30	4,04; 5,08	6,55	9,27
AKP5CE	4,86	0,23	0,48	9,86	0,24	4,69; 5,25	4,85	6,86

Pirmos pušies medienos bandinių grupės AKP paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,971	24,6	31,0	4,124	26,1	39,0	3,594	21,2	25,1
2	3,380	21,7	29,5	2,753	18,5	20,8	3,019	20,1	22,8
3	3,678	27,8	37,6	3,556	22,0	29,3	3,602	23,1	30,9
4	3,134	20,5	30,0	3,672	24,7	28,5	2,836	20,5	26,5
5	3,784	26,4	43,9	4,572	29,8	33,6	3,524	21,7	37,8
6	4,264	30,2	36,3	3,786	25,4	31,9	2,687	16,1	23,4
7	3,326	24,1	33,9	3,116	23,0	35,2	3,370	23,7	27,5
8	3,082	20,3	25,3	2,192	14,4	18,1	3,523	23,5	36,8
9	3,555	22,0	29,2	2,427	15,0	23,4	3,049	21,7	32,9
10	3,829	23,6	29,3	2,405	17,9	31,0	3,416	27,0	34,7
11	3,336	20,8	33,6	2,623	17,7	20,4	2,967	16,3	20,7
12	3,113	20,7	24,0	3,395	21,7	26,6	3,532	22,0	38,9
13	3,581	24,2	30,3	4,635	25,8	29,4	4,458	27,0	40,4
14	3,533	23,4	42,1	3,056	19,8	25,8	2,517	17,3	20,0
15	3,421	20,9	24,3	2,610	16,7	17,8	2,252	15,1	18,4

Pirmos pušies medienos bandinių grupės AKP paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,419	24,0	32,7	3,821	21,6	24,6	3,686	24,4	32,1
2	3,690	22,9	26,2	3,815	22,3	32,2	3,916	28,9	38,0
3	4,047	23,8	28,2	2,328	18,7	21,5	3,524	21,7	37,8
4	2,122	14,2	21,2	4,082	30,7	39,9	3,147	18,5	22,4
5	2,288	16,1	21,0	4,087	26,3	32,0	2,801	19,5	23,4
6	2,829	22,8	27,3	2,542	19,3	23,1	3,147	20,6	25,4
7	1,739	12,5	18,5	1,635	13,1	21,1	3,107	18,9	25,6
8	4,033	26,8	35,6	3,517	24,6	32,7	3,597	26,7	36,7
9	2,169	14,1	22,8	3,161	17,9	24,5	3,011	17,7	20,3
10	3,697	23,9	30,5	4,103	24,1	31,4	4,318	26,6	29,0
11	2,951	19,8	27,0	4,106	25,7	37,7	3,988	25,3	33,1
12	4,338	28,8	37,3	3,456	22,0	23,1	3,452	26,6	32,4
13	3,805	25,2	29,9	3,911	23,4	30,0	3,945	24,4	28,4
14	3,472	21,9	29,4	3,825	23,8	36,9	4,124	24,4	29,5
15	1,917	13,8	18,8	2,779	18,6	21,5	1,664	13,5	21,1

Pirmos pušies medienos bandinių grupės AKP paviršiaus šiurkštumo rezultatai, skersai medienos pluošto

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Skersai medienos pluošto								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	4,689	36,5	37,8	4,806	35,4	43,5	4,689	38,0	43,7
2	4,308	35,4	43,9	4,373	35,8	43,8	4,621	36,1	49,4
3	4,428	34,4	36,9	4,695	39,2	47,4	4,686	36,7	49,6
4	4,769	34,4	60,8	4,542	37,0	52,1	4,910	39,5	54,4
5	3,413	29,8	33,9	3,592	29,5	31,9	3,539	29,1	32,8
6	3,700	31,3	37,9	4,572	40,6	60,4	3,702	28,8	33,0
7	4,874	36,6	41,5	4,943	41,7	47,0	4,777	34,7	45,1
8	4,468	34,5	40,2	4,442	35,0	40,0	4,660	37,0	42,0
9	4,319	35,2	38,4	4,090	31,0	36,8	4,314	35,3	39,0
10	3,334	28,2	31,7	3,690	30,6	34,3	3,779	32,9	39,5
11	4,576	33,0	39,1	4,273	32,7	35,9	4,381	37,2	39,1
12	4,665	33,8	39,0	5,214	35,8	43,0	5,653	38,9	43,6
13	4,104	29,4	33,7	3,971	33,6	39,0	4,120	32,5	40,5
14	3,673	30,1	36,2	3,288	26,9	31,7	3,541	29,7	34,5
15	3,622	30,0	37,7	3,413	27,4	29,6	3,690	28,9	31,0

Antros pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	2,911	18,0	21,5	4,809	25,3	33,4	2,681	16,9	22,2
2	2,885	16,8	20,8	3,296	19,3	31,6	3,367	22,1	27,4
3	2,700	19,5	21,9	2,455	16,5	22,3	2,380	17,9	21,7
4	2,683	20,8	26,5	2,776	17,8	22,4	3,013	17,2	22,0
5	3,858	23,1	28,3	3,075	21,0	28,5	3,475	23,6	27,0
6	3,811	27,0	32,6	2,569	19,1	27,8	2,961	22,7	38,6
7	3,170	22,1	42,4	2,072	15,7	20,8	3,553	20,4	26,4
8	3,370	22,0	25,5	4,808	29,7	43,9	4,007	26,6	40,0
9	3,953	23,5	34,6	3,989	22,6	28,3	2,618	16,4	21,4
10	3,309	20,9	29,5	3,834	25,2	31,0	4,707	25,5	32,5
11	3,488	23,8	26,4	4,184	24,7	38,7	3,869	24,2	30,3
12	3,526	21,9	27,3	3,180	22,5	30,2	3,637	23,4	30,1
13	3,157	19,1	24,4	2,774	17,4	26,5	3,234	21,6	26,4
14	3,268	21,1	25,2	3,750	24,6	30,5	3,770	26,9	38,5
15	2,845	17,5	26,8	3,832	25,5	29,4	2,698	19,5	21,9

Antros pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,278	21,2	28,1	2,912	22,1	32,3	2,943	21,7	26,1
2	3,129	19,8	25,2	3,459	21,2	28,2	1,621	11,7	13,8
3	3,418	22,7	25,5	4,197	23,5	41,2	3,889	22,3	38,3
4	4,112	23,5	27,2	3,983	27,0	34,0	2,926	21,3	26,1
5	3,771	28,6	41,0	4,000	23,3	33,5	3,988	24,8	30,1
6	3,581	22,3	25,5	3,983	25,1	35,0	3,204	18,4	23,5
7	3,277	21,4	28,5	2,728	19,0	31,9	5,883	32,6	42,6
8	3,473	26,9	43,3	2,614	19,4	25,4	3,544	24,5	32,1
9	3,859	28,5	36,5	4,417	23,6	37,0	4,484	27,4	37,2
10	3,724	22,7	25,4	4,420	25,7	37,5	4,106	22,8	27,8
11	3,985	27,8	36,5	3,672	20,4	26,2	2,852	18,8	32,4
12	3,588	21,6	30,4	3,248	19,9	24,2	2,394	18,3	29,8
13	3,152	21,9	27,4	3,903	26,6	42,6	4,159	26,1	30,3
14	3,317	21,0	27,0	3,550	22,0	24,0	3,437	21,1	28,3
15	3,658	21,5	29,9	3,362	20,5	27,4	2,589	19,1	21,8

Antros pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, skersai medienos pluošto

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Skersai medienos pluošto								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	4,372	32,3	42,5	4,678	35,8	44,3	4,364	30,3	32,8
2	3,977	33,3	36,8	4,457	35,8	52,4	4,297	36,4	44,3
3	4,553	37,6	47,4	5,640	44,3	57,4	4,546	37,8	42,8
4	5,125	38,0	44,6	5,313	43,0	52,1	5,464	41,3	55,8
5	4,642	35,3	43,9	4,564	35,3	45,1	4,499	33,4	36,1
6	4,494	35,0	41,9	4,852	37,3	44,5	4,637	35,0	40,9
7	5,246	36,7	49,0	5,318	37,8	44,6	5,451	42,0	55,2
8	4,332	36,0	41,2	3,741	33,3	37,6	4,046	35,6	45,4
9	4,135	32,7	47,6	4,451	34,4	39,9	4,369	31,5	37,6
10	4,740	34,2	39,5	4,685	35,3	42,1	4,964	37,0	43,2
11	4,651	37,6	43,2	5,315	37,5	53,5	4,861	34,8	39,7
12	4,971	41,3	52,0	4,594	35,4	48,6	5,001	33,8	41,6
13	4,776	34,1	43,0	4,953	36,0	40,0	4,609	39,6	47,0
14	4,427	34,2	37,8	4,224	33,0	45,2	4,238	32,7	43,5
15	4,821	33,0	39,3	5,157	38,7	43,2	5,136	38,4	40,9

Trečios pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,866	26,0	32,2	2,523	18,8	25,2	5,678	41,3	49,0
2	4,009	26,8	36,4	3,862	24,0	31,1	4,803	27,1	38,2
3	3,545	20,8	24,0	5,468	31,6	40,5	3,616	23,4	29,9
4	3,781	19,3	25,1	4,027	26,1	33,4	3,211	24,2	28,4
5	4,701	29,9	40,5	3,777	23,3	29,8	3,733	23,6	34,2
6	4,650	27,1	36,4	3,289	20,6	27,6	4,621	25,2	35,8
7	4,450	29,1	40,3	4,252	25,1	32,5	4,592	27,0	32,9
8	4,071	26,0	39,2	3,679	22,4	28,3	3,809	22,9	28,0
9	4,172	21,7	26,4	3,671	29,2	41,1	3,667	22,4	29,6
10	4,176	26,8	29,9	3,761	22,8	32,6	3,489	22,7	27,2
11	4,510	28,7	31,9	2,321	17,5	31,3	3,021	21,3	28,4
12	3,543	21,9	27,0	3,203	19,5	23,6	3,190	21,8	31,7
13	4,293	24,6	28,6	3,769	24,8	29,1	3,801	24,7	39,0
14	3,727	24,6	37,8	4,418	30,4	51,1	3,729	26,0	41,8
15	4,228	25,0	29,8	3,831	24,2	27,9	3,775	22,5	24,2

Trečios pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,367	20,0	23,9	3,758	25,0	37,0	3,650	22,0	26,2
2	3,666	24,5	34,3	3,020	20,8	28,1	2,852	20,1	23,4
3	4,722	33,2	45,9	2,998	26,0	36,2	3,020	25,3	34,6
4	4,651	28,5	33,9	4,771	30,4	41,0	3,869	27,8	32,9
5	3,591	22,2	29,5	3,614	24,7	29,6	3,062	25,1	43,7
6	4,466	27,4	44,2	4,424	30,7	53,5	3,573	22,6	28,6
7	4,200	24,8	32,6	4,826	29,8	43,4	3,998	25,9	38,7
8	4,342	29,6	41,0	3,717	29,3	41,9	3,116	20,8	31,6
9	3,949	26,4	35,5	3,865	24,8	31,7	4,446	25,7	36,4
10	2,829	19,2	26,3	2,498	19,4	24,3	2,622	18,5	28,1
11	4,897	29,1	34,6	4,356	26,5	40,5	3,829	26,4	41,2
12	3,702	28,8	38,3	3,204	26,7	40,0	3,775	23,7	46,0
13	3,927	24,6	33,3	4,770	28,0	35,3	4,543	29,2	46,9
14	3,820	22,4	25,6	3,951	25,9	37,4	3,078	17,7	21,0
15	4,458	34,5	68,5	3,432	21,0	31,0	3,579	25,1	36,0

Trečios pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, skersai medienos pluošto

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Skersai medienos pluošto								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	5,650	39,1	47,1	5,568	40,2	52,8	5,678	41,3	49,0
2	5,774	41,3	53,3	5,675	41,2	49,4	5,524	45,0	63,2
3	5,584	40,9	49,6	5,551	37,9	42,0	5,365	42,2	47,6
4	5,856	39,6	46,3	6,044	45,4	57,6	5,634	39,3	44,7
5	5,212	34,1	42,2	5,140	41,1	53,7	5,125	36,3	43,8
6	5,429	40,3	45,5	5,447	41,0	45,8	5,335	37,8	41,9
7	5,453	37,9	48,3	5,767	45,9	54,0	5,635	41,5	47,8
8	5,590	44,5	49,4	5,693	38,5	42,4	5,765	39,3	45,2
9	5,664	41,3	58,2	5,774	39,7	46,2	4,853	36,9	47,6
10	6,165	42,8	45,5	5,586	43,9	53,7	6,049	50,8	63,9
11	5,721	43,8	61,5	5,495	41,6	52,2	6,019	50,0	56,4
12	5,730	39,4	46,8	5,792	41,9	48,1	5,619	40,6	48,0
13	5,273	37,2	38,5	5,651	43,3	50,0	5,631	39,8	45,7
14	5,116	37,9	46,1	5,567	38,3	46,5	5,659	38,6	46,3
15	5,760	42,6	51,7	5,775	45,4	54,8	5,948	43,4	52,1

Ketvirtos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,142	20,6	26,0	2,293	14,7	20,5	3,797	22,5	29,8
2	3,801	21,9	32,7	2,058	14,3	22,6	4,721	26,2	42,2
3	3,197	20,1	22,3	3,129	21,9	25,0	3,714	22,7	32,5
4	3,153	19,9	22,4	3,736	20,6	25,7	3,323	22,2	29,6
5	4,014	23,2	28,3	3,739	28,3	31,1	3,525	23,0	28,5
6	3,470	22,4	36,4	2,595	17,7	21,1	3,340	22,9	32,9
7	4,194	29,7	48,3	3,361	19,1	24,3	3,877	25,9	31,1
8	4,041	25,4	31,7	4,502	29,8	52,1	2,996	19,1	22,2
9	3,501	20,1	25,0	2,566	15,5	18,7	3,355	20,0	22,3
10	3,454	22,5	26,6	5,481	33,7	41,6	4,898	31,5	41,2
11	3,581	22,5	25,3	3,164	19,3	27,5	3,590	24,4	38,8
12	4,080	30,1	48,6	4,266	29,7	45,6	3,980	26,0	28,4
13	3,527	21,2	31,8	3,946	27,3	50,2	4,407	27,0	36,8
14	3,426	24,7	42,7	2,835	20,2	25,2	3,102	22,7	34,9
15	3,689	21,7	30,5	3,025	20,2	21,3	3,407	19,8	28,5

Ketvirtos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	2,902	21,1	27,2	2,910	18,5	20,9	3,012	20,3	28,2
2	2,937	20,2	23,4	2,756	20,3	33,0	3,874	23,9	29,7
3	3,641	22,2	30,4	3,441	23,5	29,3	2,876	20,5	37,8
4	3,334	24,2	29,4	3,167	24,9	35,2	4,921	29,3	35,8
5	2,869	23,0	38,9	2,807	24,0	34,5	2,603	18,1	31,7
6	3,731	24,1	27,7	3,997	24,8	31,3	3,334	23,1	25,0
7	2,946	20,7	28,9	2,756	22,7	38,5	3,123	28,0	51,0
8	2,920	21,6	27,9	3,646	30,6	44,8	3,996	29,3	38,8
9	2,960	21,3	32,2	3,079	24,1	28,8	2,929	22,2	35,0
10	3,662	27,3	34,4	2,928	21,2	28,0	2,872	18,7	22,9
11	2,804	22,1	27,2	2,900	20,7	23,0	2,287	20,9	39,3
12	3,075	18,2	27,1	2,742	20,7	26,4	2,564	17,7	24,7
13	2,990	21,3	26,6	4,990	41,2	63,7	4,416	29,3	36,1
14	3,317	22,0	31,2	2,388	17,0	24,5	2,039	13,2	15,5
15	3,349	25,8	41,0	3,270	19,6	25,9	3,602	21,9	29,5

Ketvirtos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, skersai medienos pluošto

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Skersai medienos pluošto								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	4,959	37,5	41,8	5,023	35,5	39,5	4,894	37,2	48,0
2	5,098	38,3	54,5	4,862	36,1	42,6	4,855	41,2	49,3
3	4,885	34,9	40,0	4,692	34,6	44,2	4,607	35,0	55,6
4	5,232	43,3	53,0	4,739	37,9	48,2	4,599	34,8	38,1
5	5,018	38,8	68,0	5,166	37,0	39,8	4,811	34,6	42,2
6	5,047	38,5	45,1	6,017	47,3	62,6	5,242	36,7	46,5
7	5,159	36,6	38,8	5,288	39,9	44,6	5,193	36,8	45,6
8	4,838	35,1	40,2	4,996	36,8	41,3	4,661	36,9	49,0
9	5,120	41,1	50,8	5,073	37,2	48,3	5,027	39,8	48,0
10	4,760	37,1	46,5	5,498	43,3	79,3	4,939	38,7	44,8
11	4,488	34,4	37,1	4,761	36,4	46,0	4,573	40,0	54,8
12	4,548	34,6	39,5	4,562	35,0	42,4	4,665	38,1	43,0
13	5,098	40,4	68,2	4,620	33,4	41,2	4,709	37,1	43,0
14	4,554	33,8	44,6	4,504	31,8	34,1	4,686	34,1	38,3
15	4,366	31,3	32,9	4,402	30,3	35,5	4,511	33,7	37,5

Penktos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,344	19,8	24,4	3,113	20,1	24,0	3,211	20,7	28,4
2	3,213	19,3	25,0	3,042	21,1	28,4	3,182	23,3	32,4
3	3,203	20,6	29,0	3,505	23,6	26,6	3,423	23,5	35,8
4	3,640	25,1	30,7	3,620	20,8	27,2	3,167	21,0	39,3
5	3,825	25,5	34,0	3,921	25,7	31,9	3,425	20,4	27,8
6	3,239	23,2	32,8	3,165	22,3	31,6	2,908	21,0	29,2
7	3,301	20,9	34,0	3,375	20,7	26,0	3,108	20,3	29,3
8	3,586	25,3	33,8	2,936	21,3	32,1	3,624	24,3	36,6
9	3,136	18,5	25,5	3,108	19,5	26,0	3,518	22,3	31,8
10	3,870	28,0	43,9	4,240	25,1	28,4	3,780	22,2	34,0
11	3,170	18,9	23,5	3,478	21,5	37,4	3,512	24,7	39,7
12	3,827	25,1	32,5	2,997	20,6	29,3	3,685	21,4	28,3
13	3,911	25,7	36,4	2,974	18,7	25,0	3,348	19,7	24,9
14	3,323	20,2	25,0	3,644	24,4	32,3	3,150	22,5	30,3
15	3,368	23,6	31,3	4,041	25,0	39,2	4,303	24,7	34,6

Penktos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,350	23,5	30,3	3,290	21,8	31,5	3,193	19,3	29,5
2	2,589	18,6	23,3	2,187	13,6	18,9	2,953	16,7	19,3
3	2,771	20,7	27,7	3,213	20,8	27,4	3,410	25,7	36,0
4	2,583	17,1	24,7	3,444	23,7	30,9	2,890	18,3	24,3
5	2,789	20,4	29,6	3,231	25,2	54,6	2,977	20,3	32,7
6	2,731	24,5	39,8	2,523	18,6	20,9	2,580	25,5	36,9
7	3,162	18,1	25,8	2,773	19,0	22,8	2,369	19,1	22,4
8	2,722	17,4	23,7	2,815	18,3	26,9	2,991	21,1	27,3
9	3,022	19,8	24,0	2,621	21,9	38,8	3,137	17,8	20,7
10	2,838	18,7	21,8	2,672	17,2	22,2	2,531	16,6	20,7
11	3,374	23,4	32,0	2,248	21,7	34,9	3,460	21,8	25,5
12	3,266	25,7	31,9	3,707	22,4	28,7	2,524	19,7	24,7
13	3,544	24,8	27,9	3,307	17,9	21,2	2,151	16,3	22,1
14	2,915	21,3	29,6	2,533	15,5	22,0	2,583	19,4	24,2
15	2,484	16,1	19,8	2,972	25,8	40,7	2,734	19,6	27,1

Penktos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, skersai medienos pluošto

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Skersai medienos pluošto								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	6,532	43,0	48,7	6,161	43,4	45,5	6,476	44,8	59,3
2	5,217	40,2	42,8	5,193	42,0	52,5	5,238	38,4	44,2
3	5,850	40,1	43,5	6,533	50,6	64,6	6,067	42,5	54,1
4	6,361	45,9	64,8	5,984	41,5	45,8	6,317	43,3	53,1
5	5,023	35,4	49,8	5,653	39,8	52,8	5,073	35,6	42,9
6	5,608	44,2	54,0	5,577	43,1	47,3	5,340	39,0	40,8
7	6,231	43,3	53,8	5,713	39,8	44,7	5,828	40,0	43,8
8	6,301	44,7	52,1	5,613	42,4	54,4	6,129	42,3	46,3
9	5,215	37,7	51,8	5,105	36,3	48,6	5,024	34,1	46,7
10	5,577	37,2	40,9	5,442	39,6	49,3	5,372	36,7	42,0
11	5,887	44,5	58,8	6,270	44,1	53,5	6,291	38,4	48,0
12	6,316	44,4	53,3	7,232	47,6	56,3	6,866	46,0	53,3
13	5,712	39,5	50,0	5,346	36,0	39,1	5,433	41,0	49,8
14	5,248	40,9	50,4	5,465	36,2	39,5	5,432	35,7	39,2
15	6,068	40,3	63,2	6,374	48,4	65,1	6,573	45,5	51,0

Šeštos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,611	24,9	32,9	4,865	26,5	36,9	3,642	20,4	21,8
2	3,646	24,5	30,3	5,731	32,5	44,6	3,621	23,5	40,4
3	3,477	22,1	25,7	5,026	30,6	38,2	3,603	22,9	29,0
4	3,997	23,6	29,0	3,724	20,8	25,5	4,362	29,0	35,4
5	3,967	26,3	35,3	5,450	32,1	35,2	4,230	26,5	35,2
6	3,502	20,3	32,5	3,588	21,6	27,6	4,253	27,2	42,3
7	3,552	18,7	23,3	3,559	24,9	43,7	4,591	24,4	49,4
8	3,766	26,6	37,0	4,495	30,7	43,4	4,146	24,7	31,8
9	3,538	24,7	35,4	4,926	33,5	81,1	4,086	25,2	38,5
10	3,928	21,9	24,3	4,191	30,2	57,4	4,515	30,6	34,0
11	3,435	25,6	40,8	4,776	34,8	47,6	4,030	26,2	33,7
12	3,778	28,6	36,4	3,874	23,3	32,8	3,270	23,0	30,0
13	3,953	29,0	36,4	4,151	25,2	33,5	3,116	22,9	26,0
14	3,550	27,2	32,0	3,751	19,2	23,5	2,949	20,2	25,2
15	3,996	25,7	27,9	3,916	24,4	38,0	3,195	24,0	29,9

Šeštos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,084	21,8	30,9	4,750	26,8	35,0	3,639	20,9	28,6
2	3,222	24,2	30,6	3,027	20,6	28,7	3,031	21,4	32,1
3	3,787	23,7	32,2	3,851	25,0	31,5	3,520	24,4	34,4
4	3,276	21,9	27,8	3,297	20,8	26,9	2,925	22,6	34,5
5	3,621	22,4	26,5	4,101	24,3	39,6	4,852	32,8	43,2
6	4,850	30,6	45,3	3,146	19,7	25,4	3,722	20,7	26,1
7	3,249	18,7	26,7	2,927	18,5	26,0	2,582	18,3	22,3
8	3,918	25,5	40,3	2,866	26,7	43,9	3,180	21,6	27,7
9	3,631	22,4	28,6	3,685	26,4	45,8	2,823	21,7	28,1
10	3,972	26,0	44,1	4,389	30,2	36,0	3,189	20,0	31,6
11	3,788	23,3	30,4	3,398	23,4	29,8	3,959	26,9	47,7
12	3,901	32,7	39,0	4,118	27,3	52,8	3,713	23,2	27,9
13	3,841	25,2	35,7	3,884	27,3	46,7	3,759	26,4	41,6
14	3,230	27,7	38,4	2,444	20,3	38,9	4,430	25,3	36,7
15	3,560	24,4	31,2	4,054	28,7	36,3	3,892	33,6	54,6

Šeštos pušies medienos bandinių grupės paviršiaus šiurkštumo rezultatai, skersai medienos pluošto

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas,µm								
	Skersai medienos pluošto								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	5,358	39,1	42,4	5,208	37,7	46,7	4,882	36,6	49,9
2	6,095	41,9	57,8	5,852	39,1	43,7	5,840	40,6	51,9
3	6,224	46,7	56,0	6,169	53,4	69,9	6,584	58,1	78,3
4	5,393	42,5	56,5	5,391	41,7	49,1	5,169	34,7	38,2
5	6,338	44,5	52,4	6,339	49,9	68,4	6,211	47,7	53,1
6	5,538	46,0	61,5	5,438	40,5	47,6	4,956	36,4	42,8
7	6,412	47,9	56,2	6,837	43,6	46,3	7,635	56,1	65,0
8	5,714	42,7	56,7	5,439	37,6	45,4	5,454	39,4	43,7
9	6,261	47,5	63,8	6,179	48,0	59,4	6,454	49,0	60,4
10	5,985	47,5	62,0	5,094	36,1	38,6	5,864	39,5	44,4
11	6,148	43,7	56,7	5,746	42,3	50,8	5,229	37,6	44,4
12	6,062	42,4	50,7	5,898	47,0	60,4	5,640	40,3	44,8
13	6,622	47,5	53,9	6,808	53,7	80,7	5,832	48,3	63,0
14	6,438	53,3	65,3	6,183	40,5	52,7	6,237	46,4	57,7
15	5,192	37,3	43,8	5,068	37,3	57,6	4,937	37,0	43,3

Septintos pušies medienos bandinių grupės AKP5CE paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,539	24,8	30,0	2,911	18,3	22,5	3,982	25,5	43,9
2	3,420	18,5	25,5	2,885	17,9	22,6	2,810	19,1	27,7
3	3,506	25,6	40,1	2,796	21,1	26,3	2,824	18,0	23,2
4	3,863	22,7	31,4	3,459	22,2	29,9	3,583	26,2	33,5
5	4,062	31,7	43,0	3,205	23,2	31,2	2,790	22,0	27,9
6	3,282	21,3	30,7	2,536	23,7	33,1	3,154	22,5	26,6
7	3,251	23,5	28,5	2,899	20,1	27,7	4,980	26,4	35,4
8	2,968	21,9	28,3	3,866	23,8	26,7	3,749	26,2	34,9
9	3,647	23,3	29,7	3,544	26,3	42,1	3,784	20,4	23,5
10	3,845	27,9	37,5	2,903	20,3	28,3	2,953	20,1	28,6
11	3,481	24,3	33,0	3,368	26,0	34,3	2,814	20,7	24,2
12	3,470	23,8	32,3	3,208	18,2	25,2	3,244	19,5	27,0
13	3,159	22,2	25,4	4,081	30,1	37,3	3,206	21,9	30,3
14	3,586	23,8	28,6	3,290	22,0	28,4	3,535	19,3	23,1
15	3,960	25,4	36,6	3,837	21,6	32,0	3,435	25,1	30,9

Septintos pušies medienos bandinių grupės AKP5CE paviršiaus šiurkštumo rezultatai, išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	3,158	20,2	26,1	3,457	26,8	41,4	3,265	21,0	30,9
2	4,114	23,9	31,4	3,466	20,1	29,1	2,823	19,6	25,2
3	4,321	25,4	37,3	4,153	26,0	33,4	2,956	20,8	28,8
4	3,219	26,4	36,2	2,737	17,8	23,0	2,162	16,7	28,8
5	2,871	18,0	26,3	3,024	17,7	21,3	2,278	20,5	29,2
6	3,125	21,6	25,3	3,583	31,3	89,6	2,486	19,6	25,4
7	3,391	21,9	27,7	3,934	29,3	44,2	3,075	21,3	25,4
8	3,504	22,3	41,2	2,538	17,2	19,1	2,776	16,1	22,9
9	3,147	21,4	35,8	2,292	16,5	29,9	2,826	20,7	25,1
10	2,973	21,3	30,0	2,592	20,6	29,7	2,725	24,3	44,2
11	4,202	30,5	51,3	2,533	18,8	24,8	2,637	19,2	26,2
12	3,373	24,0	32,5	2,430	20,8	23,5	3,282	20,3	25,3
13	2,544	16,3	21,4	2,459	18,2	23,8	2,655	16,6	19,5
14	3,265	26,2	33,1	2,727	18,8	23,2	3,284	27,4	51,0
15	3,191	19,8	24,6	3,495	26,7	37,1	2,797	21,6	35,6

Septintos pušies medienos bandinių grupės AKP5CE paviršiaus šiurkštumo rezultatai, skersai medienos pluošto

Bandinio nr.	Paviršiaus šiurkštumas, µm								
	Skersai medienos pluošto								
	1 taškas			*2 taškas*			*3 taškas*		
	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}	R_a	R_z	R_{max}
1	5,903	40,1	44,9	5,187	38,3	44,8	5,155	39,2	48,8
2	5,670	43,5	52,1	5,485	39,8	49,6	5,375	38,0	42,1
3	5,726	41,7	51,8	6,397	46,7	64,8	6,254	47,8	58,0
4	5,907	41,9	60,8	5,347	38,2	41,3	6,098	48,7	57,9
5	5,394	39,4	46,5	5,344	39,0	52,6	5,281	39,0	42,9
6	5,210	36,1	41,4	5,038	37,7	39,0	5,183	34,4	42,1
7	6,080	47,7	75,0	5,702	42,4	52,3	6,294	59,3	97,0
8	5,049	36,4	39,1	4,983	35,9	43,9	5,213	41,6	55,4
9	4,460	34,1	41,7	4,499	31,2	37,1	4,660	34,5	36,5
10	4,804	33,5	39,2	5,390	41,6	46,9	5,276	38,7	56,7
11	5,246	37,7	41,6	5,000	37,0	46,4	5,283	37,8	46,0
12	5,380	42,5	52,4	4,824	37,2	49,2	5,241	36,5	45,1
13	5,137	40,3	54,7	5,217	40,9	49,7	5,568	36,0	52,5
14	5,874	44,3	53,4	6,222	48,3	52,2	5,816	42,2	48,1
15	5,477	38,9	46,2	5,590	43,5	48,1	5,195	44,2	57,5

Pušies medienos bandinių grupių vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio R_a statistiniai rodikliai

Bandinių grupė	Vidurkis $\bar{x}$	Dispersija s^2	Standartinis nuokrypis s	Variacijos koef. v, %	Matvimo rezultato paklaida Δ	Pasikliautinis intervalas I_β	Santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats},%	Bendroji santykinė paklaida δ_b, %
Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
AKP	3,34	0,35	0,59	17,60	0,15	3,22; 3,53	4,63	6,55
AKP1ZN	3,34	0,40	0,64	19,03	0,17	3,05; 3,40	5,01	7,08
AKP3ZN	3,92	0,41	0,64	16,33	0,17	3,82; 4,16	4,30	6,08
AKP5ZN	3,58	0,43	0,65	18,30	0,17	3,45; 3,80	4,81	6,81
AKP1CE	3,43	0,12	0,34	10,02	0,09	3,37; 3,58	2,64	3,73
AKP3CE	3,99	0,35	0,59	14,85	0,16	3,60; 3,95	3,91	5,53
AKP5CE	3,39	0,22	0,47	13,73	0,12	3,26; 3,53	3,61	5,11
Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
AKP	3,31	0,59	0,77	23,16	0,20	2,90; 3,36	6,09	8,62
AKP1ZN	3,55	0,47	0,69	19,29	0,18	3,31; 3,67	5,08	7,18
AKP3ZN	3,80	0,41	0,64	16,88	0,17	3,51; 3,87	4,44	6,28
AKP5ZN	3,19	0,37	0,61	19,00	0,16	3,05; 3,37	5,00	7,07
AKP1CE	2,89	0,15	0,38	13,23	0,10	2,78; 3,03	3,48	4,92
AKP3CE	3,60	0,32	0,56	15,61	0,15	3,38; 3,73	4,11	5,81
AKP5CE	3,06	0,28	0,53	17,41	0,14	2,94; 3,22	4,58	6,48
Skersai medienos medienoje								
AKP	4,26	0,31	0,56	13,08	0,15	4,16; 4,51	3,44	4,87
AKP1ZN	4,70	0,18	0,43	9,09	0,11	4,60; 4,86	2,39	3,38
AKP3ZN	5,61	0,07	0,26	4,71	0,07	5,52; 5,71	1,24	1,75
AKP5ZN	4,87	0,10	0,32	6,53	0,08	4,81; 5,07	1,72	2,43
AKP1CE	5,83	0,30	0,54	9,32	0,14	5,68; 6,06	2,45	3,47
AKP3CE	5,87	0,35	0,60	10,13	0,16	5,88; 6,26	2,67	3,77
AKP5CE	5,41	0,21	0,46	8,54	0,12	5,42; 5,77	2,25	3,18

Pušies medienos bandinių grupių profilio mikronelygumų vidutinio aukščio R_z statistiniai rodikliai

Bandinių grupė	Vidurkis $\bar{x}$	Dispersija s^2	Standartinis nuokrypis s	Variacijos koef. v, %	Matvimo rezultato paklaida Δ	Pasikliautinis intervalas I_β	Santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats},%	Bendroji santykinė paklaida δ_b, %
Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
AKP	21,91	14,76	3,84	17,53	1,01	20,91; 22,88	4,61	6,52
AKP1ZN	21,53	0,37	0,60	2,81	0,16	19,94; 21,85	0,74	1,05
AKP3ZN	24,77	0,32	0,56	2,27	0,15	24,29; 26,54	0,60	0,84
AKP5ZN	22,98	0,41	0,64	2,80	0,17	22,43; 25,31	0,74	1,04
AKP1CE	22,27	0,12	0,35	1,57	0,09	21,94; 23,33	0,41	0,59
AKP3CE	25,57	0,35	0,59	2,32	0,15	23,64; 25,76	0,60	0,85
AKP5CE	22,85	0,22	0,47	2,04	0,12	21,95; 23,70	0,54	0,76
Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
AKP	21,79	0,62	0,79	3,62	0,21	19,42; 22,06	0,95	1,35
AKP1ZN	22,70	0,48	0,69	3,06	0,18	21,47; 23,30	0,80	1,13
AKP3ZN	25,34	0,44	0,66	2,60	0,17	23,92; 26,07	0,69	0,97
AKP5ZN	22,78	0,39	0,62	2,74	0,16	21,50; 23,97	0,72	1,02
AKP1CE	20,24	0,15	0,38	1,88	0,10	19,23; 20,96	0,50	0,70
AKP3CE	24,36	0,30	0,55	2,25	0,14	23,07; 25,13	0,59	0,84
AKP5CE	21,59	0,30	0,55	2,54	0,14	20,45; 22,40	0,67	0,94
Skersai medienos pluošto								
AKP	33,78	0,32	0,56	1,67	0,15	32,97; 35,23	0,44	0,62
AKP1ZN	36,08	0,19	0,44	1,21	0,11	35,35; 37,16	0,31	0,45
AKP3ZN	41,13	0,07	0,27	0,66	0,07	40,13; 42,01	0,17	0,25
AKP5ZN	36,95	0,11	0,33	0,89	0,09	36,10; 38,43	0,23	0,33
AKP1CE	41,23	0,29	0,54	1,31	0,14	40,23; 42,60	0,34	0,49
AKP3CE	43,70	0,34	0,58	1,33	0,15	43,11; 46,45	0,35	0,49
AKP5CE	40,30	0,22	0,47	1,16	0,12	40,02; 43,03	0,31	0,43

Pušies medienos bandinių grupių didžiausio profilio mikronelygumų aukščio R_{max} statistiniai rodikliai

Bandinių grupė	Vidurkis $\bar{x}$	Dispersija s^2	Standartinis nuokrypis s	Variacijos koef. v, %	Matvimo rezultato paklaida Δ	Pasikliautinis intervalas I_β	Santykinė atsitiktinė paklaida δ_{ats},%	Bendroji santykinė paklaida δ_b, %
Išilgai medienos pluošto ankstyvojoje medienoje								
AKP	29,51	45,47	6,74	22,85	1,77	27,41; 30,79	6,01	8,50
AKP1ZN	28,56	0,39	0,62	2,18	0,16	26,03; 29,23	0,57	0,81
AKP3ZN	32,64	0,32	0,57	1,73	0,15	31,72; 35,45	0,46	0,64
AKP5ZN	31,35	0,35	0,59	1,88	0,16	29,15; 33,48	0,50	0,70
AKP1CE	30,88	0,12	0,35	1,14	0,09	29,80; 32,66	0,30	0,42
AKP3CE	35,35	0,29	0,54	1,53	0,14	31,93; 36,98	0,40	0,56
AKP5CE	30,42	0,22	0,47	1,54	0,12	29,50; 33,06	0,41	0,57
Išilgai medienos pluošto vėlyvojoje medienoje								
AKP	28,31	0,65	0,80	2,84	0,21	25,48; 29,31	0,75	1,06
AKP1ZN	30,62	0,41	0,64	2,08	0,17	28,11; 31,25	0,54	0,77
AKP3ZN	35,86	0,43	0,65	1,82	0,17	32,99; 37,92	0,48	0,68
AKP5ZN	31,61	0,40	0,63	2,00	0,17	29,20; 33,91	0,53	0,75
AKP1CE	27,73	0,14	0,38	1,36	0,10	25,71; 29,40	0,36	0,51
AKP3CE	34,85	0,30	0,55	1,58	0,14	32,20; 36,74	0,42	0,59
AKP5CE	31,48	0,29	0,54	1,70	0,14	28,23; 34,02	0,45	0,63
Skersai medienos pluošto								
AKP	40,50	0,34	0,58	1,43	0,15	39,16; 43,38	0,38	0,53
AKP1ZN	44,16	0,18	0,43	0,97	0,11	42,51; 45,51	0,25	0,36
AKP3ZN	49,39	0,08	0,28	0,57	0,07	47,52; 50,67	0,15	0,21
AKP5ZN	46,10	0,12	0,34	0,74	0,09	44,00; 49,98	0,19	0,27
AKP1CE	50,03	0,29	0,53	1,07	0,14	48,61; 52,50	0,28	0,40
AKP3CE	54,09	0,36	0,60	1,11	0,16	52,73; 58,73	0,29	0,41
AKP5CE	49,90	0,24	0,49	0,97	0,13	48,88; 54,61	0,26	0,36