



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Apdailos įtaka mechaninėms ir vartojamosioms lininių audinių savybėms

Baigiamasis magistro projektas

Armida Valiulytė

Projekto autorė

prof. Sigitas Stanys

Vadovas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Apdailos įtaka mechaninėms ir vartojamosioms lininių audinių savybėms

Baigiamasis magistro projektas
Tekstilės ir aprangos technologija (6211FX007)

Armida Valiulytė

Projekto autorė

prof. Sigitas Stanys

Vadovas

doc. Eglė Kumpikaitė

Recenzentė

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Armida Valiulytė

Apdailos įtaka mechaninėms ir vartojamosioms lininių audinių savybėms

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto intelektualinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Kauno technologijos universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjusi;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Kauno technologijos universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta iš Kauno technologijos universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Armida Valiulytė

Patvirtinta elektroniniu būdu



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa: 6211FX007 Tekstilės ir aprangos technologija

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui (-ei)

Armidai Valiulytei

(Vardas, Pavardė)

1. Baigiamojo Projekto tema –

Apdailos įtaka mechaninėms ir vartojamosioms lininių audinių savybėms

(Lietuvių kalba)

Influence of Finishing Processes on Mechanical and End-use Properties of Linen Fabrics

(Anglų kalba)

2. Darbo tikslas ir uždaviniai –

Darbo tikslas – nustatyti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių mechaninėms ir vartojamosioms savybėms.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti ir palyginti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių trūkimo jėgai ir trūkimo ištiesai.
2. Nustatyti ir palyginti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių atsparumui dilinimui ir polinkiui pumpuruotis.
3. Nustatyti ir palyginti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių laidumui orui.
4. Nustatyti ir palyginti dažytų ir skaitmeniniu būdu margintų lininių audinių spalvos atsparumą šlapiai ir sausai trinčiai, prakaitui, skalbimui.

Studentas

Armida Valiulytė

(Vardas, Pavardė)

2021-03-31

(Parašas)

(Data)

Baigiamojo

projekto

vadovas

Sigitas Stanys

(Vardas, Pavardė)

2021-03-31

(Parašas)

(Data)

Valiulytė, Armida. Apdailos įtaka mechaninėms ir vartojamosioms lininių audinių savybėms. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Sigitas Stanys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Polimerų ir tekstilės technologijos (F02), Technologijų mokslai (F).

Reikšminiai žodžiai: lininiai audiniai, skaitmeninis marginimas, aktyviniai dažai, pigmentiniai dažai, mechaninės savybės, vartojamosios savybės.

Kaunas, 2021. 59 p.

Santrauka

Lininiai audiniai yra labai populiarūs ir naudojami įvairiai paskirčiai: drabužiams, namų tekstilei, technikoje. Jie pasižymi tvarumu, ekologiškumu bei geromis mechaninėmis ir fizikinėmis savybėmis.

Darbe analizuojami 100 % natūralaus linų pluošto audiniai, kuriems atliktos įvairios apdailos, naudojant chemines medžiagas. Tai drobinio pynimo audiniai, kurių paviršinis tankis prieš apdailas yra 151,7 g/m², žalio audinio plotis – 163 cm. Audiniai išausti iešminėmis *Itama R9500* (Italija) staklėmis. Ataudams ir metmenims panaudoti 38 tex ilginio tankio lininiai verpalai.

Apdailos procesas keičia audinių mechanines ir fizikines savybes. Darbo tikslas – nustatyti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių mechaninėms ir vartojamosioms savybėms. Nustatyta ir palyginta skirtingų apdailų įtaka lininių audinių trūkimo jėgai ir trūkimo ištiesai, atsparumui dilinimui ir polinkiui pumpuruotis, laidumui orui, dažytų ir skaitmeniniu būdu margintų lininių audinių spalvos atsparumas šlapiai ir sausai trinčiai, prakaitui, skalbimui. Darbe atlikta rezultatų analizė, lyginant skirtingų apdailų įtaką lininiams audiniams.

Vertinant tyrimo rezultatus, nustatytos mechaninės ir vartojamosios savybės parodė audinių cheminės apdailos daromą poveikį. Nustatyta, kad lininių audinių apdailos operacijos mažina audinių trūkimo jėgą ir ištiesą. Apdailos procesai pagerino lininių audinių atsparumą dilinimui, tačiau nevienodai pakeitė lininių audinių atsparumą pumpuravimuisi. Visi tirti audiniai pasižymėjo vienodai geru spalvos atsparumu skalbimui ir prakaitui. Nustatyta, kad dažytų audinių spalva buvo mažiau atspari šlapiai ir sausai trinčiai nei skaitmeniniu būdu margintų audinių spalva. Lininių audinių laidumas orui po skirtingų apdailų ženkliai pakito. Taip pat ištirta, kad apdailos procesai daro įtaką audinių pH vertėms.

Valiulytė, Armida. Influence of Finishing Processes on Mechanical and End-use Properties of Linen Fabrics. Master's Final Degree Project / supervisor prof. Sigitas Stanys; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Polymers and Textiles Technologies (F02), Technological Sciences (F).

Keywords: linen fabrics, digital printing, reactive dyes, pigment dyes, mechanical properties, end use properties.

Kaunas, 2021. 59 pages.

Summary

Linen fabrics are very popular and are used for many applications such as apparel, home furnishings and industrial. They are characterized by durability, environmental friendliness and good mechanical and physical properties.

In this work woven fabrics made from 100 % natural flax fibers with obtained various finishes using chemicals are analysed. They are plain weave fabrics with a surface density of 151.7 g/m² before finishing and a width of grey fabric of 163 cm. The fabric is woven with *Itama R9500* (Italy) loom. 38 tex linear density linen staple yarns were used for wefts and warps.

Finishing processes change the mechanical and physical properties of the fabrics. The aim of this work is to determine the influence of different finishes on the mechanical and end-use properties of linen fabrics. The influence of different finishes on the tensile strength and elongation at break of linen fabrics, abrasion resistance and pilling resistance, air permeability, color fastness of dyed and digitally printed linen fabrics to wet and dry abrasion, sweat and washing was determined and compared. The analysis of the results was performed, comparing the influence of different finishes on linen fabrics.

Evaluating the results of the study, the identified mechanical and end-use properties showed the effect of various chemical finishing on linen fabrics. It was found that finishes reduced fabric tensile strength and elongation at break. Finishing processes improved the abrasion resistance of linen fabrics although have unequally changed the resistance of linen fabrics to pilling. All tested fabrics showed equally good color fastness to washing and sweating. It was identified that the color of the dyed fabric was less resistant to wet and dry abrasion than the color of digitally printed fabrics. The air permeability of linen fabrics changed significantly after different finishes. It has also been established that finishing processes affect fabric pH values.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Žaliavos	13
1.1.1. Linas	13
1.2. Linų pluošto ir lininių audinių mechaninės ir vartojamosios savybės	14
1.2.1. Linų pluošto stiprumas	14
1.2.2. Lininių audinių laidumas orui.....	15
1.2.3. Lininių audinių atsparumas dilinimui ir pumpuravimuisi	16
1.3. Audinių apdaila	16
1.4. Apdailos įtaka lininių audinių mechaninėms ir vartojamosioms savybėms.....	19
1.4.1. Balinimo įtaka lininių audinių savybėms	19
1.4.2. Dažymo įtaka lininių audinių savybėms.....	22
1.4.3. Skaitmeninio marginimo įtaka lininių audinių savybėms	23
1.4.4. Hidrofobinės dangos įtaka lininių audinių savybėms.....	27
1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	29
2. Tyrimo objektas ir metodika	31
2.1. Tyrimo objektas	31
2.2. Tyrimų metodika	31
2.2.1. Komplektavimas	31
2.2.2. Šaltas balinimas	32
2.2.3. Plovimas po balinimo	32
2.2.4. Džiovinimas (PFD).....	32
2.2.5. Audinių paruošimas šaltam dažymui.....	32
2.2.6. Šaltas dažymas.....	32
2.2.7. Audinių plovimas po šalto dažymo	33
2.2.8. Audinių džiovinimas.....	33
2.2.9. Audinių įmirkymas su hidrofobinį efektą suteikiančiomis medžiagomis	33
2.2.10. Audinių, įmirkytų su hidrofobinį efektą suteikiančiomis medžiagomis, fiksavimas	33
2.2.11. Audinių paruošimas aktyviniam marginimui	33
2.2.12. Skaitmeninis marginimas aktyviais dažais.....	34

2.2.13. Audinių, margintų aktyviaisiais dažais, fiksavimas sočiu garu	34
2.2.14. Audinių plovimas po fiksavimo	34
2.2.15. Audinių džiovinimas (aktyvinis marginimas)	34
2.2.16. Audinių paruošimas pigmentiniam marginimui	34
2.2.17. Audinių pigmentinis marginimas	34
2.2.18. Audinių, margintų pigmentiniais dažais, fiksavimas karštu oru	35
2.2.19. Karštas balinimas.....	35
2.2.20. Gniūžtės skleidimas	35
2.2.21. Džiovinimas po gniūžtės skleidimo.....	35
2.2.22. Laboratoriniai tyrimai.....	35
2.2.23. Kokybės kontrolė.....	35
2.2.24. Tiriamų audinių apdailos technologinės eigos	36
2.2.25. Kondicinės sąlygos.....	37
2.2.26. Audinių trūkimo jėgos ir ištiesos nustatymas	37
2.2.27. Audinių atsparumo dilinimui nustatymas.....	37
2.2.28. Audinių atsparumo pumpuravimuisi nustatymas	37
2.2.29. Audinių laidumo orui tyrimo metodika	38
2.2.30. Audinių spalvos atsparumo skalbimui ir prakaitui nustatymas.....	39
2.2.31. Audinių spalvos atsparumo šlapiai, sausai trinčiai nustatymas.....	39
2.2.32. Audinių pH verčių nustatymas	39
2.2.33. Statistinių rodiklių nustatymo metodika.....	40
3. Tyrimo rezultatai.....	41
3.1. Apdailos įtakos lininių audinių trūkimo jėgai ir trūkimo ištiesai tyrimas.....	41
3.2. Apdailos įtakos lininių audinių atsparumo dilinimui tyrimas	43
3.3. Apdailos įtakos lininių audinių atsparumo pumpuravimuisi tyrimas.....	45
3.4. Apdailos įtakos lininių audinių laidumo orui tyrimas	46
3.5. Apdailos įtakos lininių audinių spalvos atsparumo skalbimui ir prakaitui tyrimas.....	47
3.6. Apdailos įtakos lininių audinių spalvos atsparumo sausai ir šlapiai trinčiai tyrimas	48
3.7. Apdailos įtakos lininių audinių pH vertėms nustatymas	49
Išvados	51
Literatūros sąrašas	53
Priedai.....	59
1 priedas. Tyrimų rezultatų publikavimas	59

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Tyrimo metu naudoti bandiniai.....	31
2 lentelė. Pumpuravimosi apžiūrimasis vertinimas [70]	38
3 lentelė. Audinių trūkimo jėgos ir ištiesos tyrimo rezultatai ir statistiniai rodikliai.....	41
4 lentelė. Lininių audinių po įvairių apdailų masės nuostoliai dilinimo metu (ADm).....	43
5 lentelė. Lininių audinių po įvairių apdailų atsparumo pumpuravimuisi tyrimo rezultatai	45
6 lentelė. Lininių audinių oro srauto debitas D, dm ³ /min	46
7 lentelė. Bandinių spalvos atsparumo skalbimui ir prakaitui vertinimo rezultatai	47
8 lentelė. Bandinių spalvos atsparumo šlapiai ir sausai trinčiai vertinimo rezultatai.....	48

Paveikslų sąrašas

1 pav. Pluošto sandara linų stiebe [7]	14
2 pav. (A) dviejų velenų pliusuotė su trimis skirtingomis įmirkymo vonelėmis, (B) trijų velenų pliusuotė su skirtingais pervėrimais [22]	18
3 pav. Tekstilės medžiagų iš celiuliozinių pluoštų apdailos procesų schema [24]	19
4 pav. Pjezoelektrinė spausdinimo galva [50]	24
5 pav. Purvo ir dulkių pašalinimas nuo lygaus hidrofobinio ir šiurkštaus superhidrofobinio paviršiaus [64]	29
6 pav. Apdailų technologinių eigų schema	36
7 pav. Laidumo orui matavimo prietaisas	38
8 pav. Pilkoji nusidažymo skalė	39
9 pav. Lininių audinių trūkimo jėga	41
10 pav. Lininių audinių trūkimo ištyša	42
11 pav. Lininių audinių atsparumas dilinimui	44
12 pav. Lininių audinių atsparumas pumpuravimuisi	46
13 pav. Lininių audinių laidumas orui	47
14 pav. Lininių audinių pH vertės	50

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

OB – optinis baliklis.

PFP (prepared for printing) – marginimui paruoštas audinys.

PFD (prepared for dyeing) – dažymui paruoštas audinys.

DOD (drop on demand) – spausdinimo galvos dažo lašelių formavimo būdas reikiamose vietose skaitmeniniame marginime.

CIJ – tolydinis skaitmeninio spausdintuvo spausdinimo galvos dažo lašelių formavimo būdas.

Pjezo-DOD – skaitmeninio spausdintuvo spausdinimo galvos dažo lašelių formavimo būdas reikiamose vietose, kai dažas išstumiamas naudojant slėgį, susiformavusį dėl pjezoelektrodo.

DOD TIJ – skaitmeninio spausdintuvo spausdinimo galvos dažo lašelių formavimo būdas reikiamose vietose, kai dažas išstumiamas naudojant slėgį, susiformavusį dėl kaitinimo elemento, esančio spausdinimo galvos antgalyje.

Įvadas

Tekstilės gaminiai iš natūraliųjų pluoštų dėl savo savybių išlieka labai populiarūs ir plačiai naudojami buityje ir technikoje. Lininiai audiniai pasižymi tvarumu, ekonomiškumu bei kokybe, taip pat labai geromis mechaninėmis ir fizikinėmis savybėmis. Dėl gero laidumo orui, antimikrobinių savybių, ilgalaikiškumo, jie yra dažnas pasirinkimas aprangos ir namų tekstilės gamyboje.

Audinių apdaila yra būtina norint suteikti jiems malonų lietimą, gražią išvaizdą ir tam tikras savybes, tokias kaip minkštumas, hidrofobiškumas, atsparumas įvairiems veiksniams. Ji lemia audinių galutinę išvaizdą, stiprumą, vartojamąsias savybes ir kokybę, nuo kurios priklauso audinio vertė. Norint pagaminti kokybiškus lininius audinius, reikia atlikti nemažai apdailos procesų, tokių kaip plovimas, balinimas, dažymas, marginimas, džiovinimas ir audinio dengimas įvairiomis medžiagomis.

Šlapi ir sausi lininių audinių apdailos procesai keičia jų mechanines bei vartojamąsias savybes, todėl norint užtikrinti gerą audinio kokybę, būtina atlikti tokius tyrimus, kaip trūkimo jėgos ir ištiesos nustatymas, atsparumas dilinimui ir pumpuravimuisi, audinio spalvos atsparumas sausai ir šlapiam trinčiam, prakaitui bei skalbimui, audinio laidumas orui ir audinio pH. Šiame tyrime aktualu sužinoti, kaip skiriasi lininių audinių mechaninės ir vartojamosios savybės atliekant skirtingas apdailas ir kokią įtaką įvairūs audinių apdailos procesai daro šioms savybėms.

Darbo tikslas – nustatyti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių mechaninėms ir vartojamosioms savybėms.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti ir palyginti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių trūkimo jėgai ir trūkimo ištiesai.
2. Nustatyti ir palyginti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių atsparumui dilinimui ir polinkiui pumpuruotis.
3. Nustatyti ir palyginti skirtingų apdailų įtaką lininių audinių laidumui orui.
4. Nustatyti ir palyginti dažytų ir skaitmeniniu būdu margintų lininių audinių spalvos atsparumą šlapiam ir sausam trinčiam, prakaitui, skalbimui.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Žaliavos

1.1.1. Linas

Natūralieji pluoštai yra vis dar plačiai naudojami visame pasaulyje ir sėkmingai konkuruoja su cheminiais pluoštais, ypač aprangos ir namų tekstilės gamybos srityse. Natūralieji pluoštai dažniausiai naudojami drabužiams gaminti, ypač didesnės pridėtinės vertės gaminiais. Linas, medvilnė, vilna ir šilkas yra pagrindiniai natūralieji pluoštai, naudojami tekstilės gamyboje [1].

Augalinių pluoštų savybės labai priklauso nuo derliaus nuėmimo, kuriam įtakos turi augimo būklė, geografinė padėtis, dirvožemio kokybė, klimato bei oro sąlygos ir kt. Linų pluošto savybės priklauso nuo kristalinės struktūros, celiuliozės kiekio, kristalizacijos ir polimerizacijos lygio, mikrofibrilių orientacijos, akytumo. Pluošto stiprumas mažėja priklausomai nuo drėgmės kiekio, o standumas mažėja didėjant vandens įsisavinimui pluošto porose, nes sumažėja fibrilių sanglauda. Linas, palyginus su stiklo pluoštu, yra mažo tankio medžiaga, tačiau jis turi kompetentingą stiprumą [2].

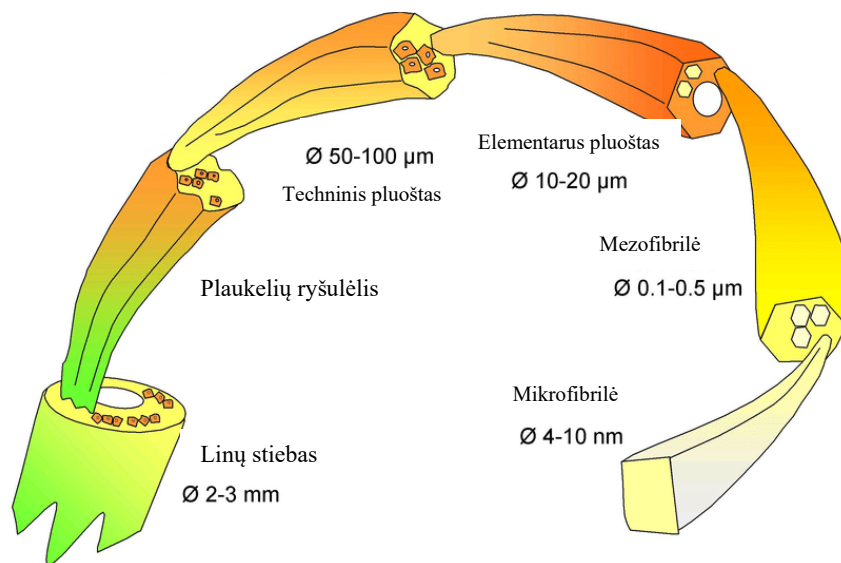
Lotyniško pluoštinio lino augalo pavadinimo *Linum usitatissimum L.* vertimas reiškia „naudingiausias linas“ ir tinkamai apibūdina jo universalumą ir svarbą pasaulio ekonomikai. Lininiai audiniai laikomi viena iš ankstyviausių sėkmių tekstilės pramonėje [3].

Linų pluoštai turi ilgą istoriją tekstilės pramonėje visame pasaulyje. Jie buvo vieni iš pagrindinių pluoštų Europoje nuo 1200 iki 1700 metų ir buvo plačiai naudojami drabužiams. Pastaraisiais metais lininiai ir kiti natūralūs augalinės kilmės pluoštai, tokie kaip kanapės, vėl sulaukia didelio susidomėjo. Aukščiausia pluošto kokybė, geras oro laidumas, antimikrobinės savybės bei palankios vandens absorbcijos savybės linų pluoštą ir linų augalą pavertė labai populiariu šiltuose pasaulio kraštuose. Kita vertus, dėl stiprių mechaninių ir fizinių savybių, kurios yra glaudžiai panašios į stiklo pluoštą, linų pluoštas tapo geru pasirinkimu sustiprinant biokompozitus. Dėl mažo tankio ir aukštų specifinių mechaninių savybių šie pluoštai gali būti puikiai alternatyva stiklo pluoštams kaip kompozitų armatūra. Skirtingai nei stiklo pluoštas, natūralūs pluoštai yra biologiškai skaidomi, nekenkia sveikatai ir daro teigiamą įtaką CO₂ [4, 5].

Linas (*Linum usitatissimum L.*) yra vienmetis augalas, užaugantis iki 0,5–1,25 m aukščio, kurio stiebo skersmuo gali būti 16–32 mm. Linai daugelį metų auginami dėl savo pluošto, aliejaus ir yra didelę ekonominę vertę turintys pasėliai [6]. Linų pluoštui pagaminti reikia maždaug 100 dienų arba praėjus mėnesiui po augalo žiedų susiformavimo ir praėjus dviem savaitėms po sėklų kapsulių susidarymo. Linai lengvai auginami, pasižymi geromis tempimo savybėmis, lengvai prieinami, tačiau yra jautrūs įvairioms grybelinėms ligoms. Lininis pluoštas yra stipresnis už medvilnės pluoštą, bet mažiau elastingas [8].

Linų pluoštas taip pat žinomas kaip techninis pluoštas, kurį sudaro daugybė ilgų gijų, kurios sudarytos iš vientisų ląstelių, tvirtai susijungusių tarpusavyje. Dėl šių puikių savybių ir mažo tankio, ganėtinai paprasto apdirbimo ir prieinamumo, linų pluoštas kelia didelį susidomėjimą daugeliu atvejų ir yra plačiai panaudojamas. Linų pluoštas yra vienas stipriausių natūralių pluoštų, lyginant su kitais augalinės kilmės pluoštais. Iš vieno linų augalo išgaunama apie 20000 plaušelių, kurių kiekvienas vidutiniškai sveria apie 0,4 g, o vidutinis ilgis yra apie 30 cm. Linų pluošto gamybai sunaudojama

nedaug energijos, be to, pluoštui reikia mažai trąšų ir pesticidų, todėl jį auginant taip stipriai nekenkiama aplinkai, net gi skatinama auginti linus, kadangi taip pagerinama dirvožemio kokybė ir biologinė įvairovė [6].



1 pav. Pluošto sandara linų stiebe [7]

Linas yra celiuliozinis pluoštas, tačiau jo struktūra yra labiau panaši į kristalinę, todėl šis pluoštas yra tvirtesnis, standesnis ir lengviau raukšlėjasi. Pagrindinės linų sudedamosios dalys yra celiuliozė (65–80 %), hemiceliuliozė (12–16 %), ligninas (2–5 %), pektinas (2–5 %) ir vaškas (2–5 %). Šios medžiagos pasiskirsto skirtingomis proporcijomis ir reikšmingai prisideda prie pluošto savybių, tokių kaip ilgis, tankis, atsparumas, stiprumas ir elektrinės savybės. Celiuliozė ir hemiceliuliozė yra pagrindinės sudedamosios dalys, jos lemia pluošto mechaninį stiprumą. Pati celiuliozė yra stipriausia ir standžiausia pluošto sudedamoji dalis. Ji turi puskrystalinį polisacharidą su dideliu hidroksilo grupės kiekiu, kuris suteikia pluoštui hidrofilines savybes [6, 9].

1.2. Linų pluošto ir lininių audinių mechaninės ir vartojamosios savybės

1.2.1. Linų pluošto stiprumas

Paprastai augalo kamiene pluoštas yra stipresnis ir standesnis, o vidurio tarpatramyje ir augalo viršuje pluoštas turi vidutines savybes. Linų pluoštas išgaunamas iš skirtingų stiebo vietų, o tai taip pat daro įtaką ir jo stiprumui, nes skirtingose vietose esančių pluoštų cheminė sudėtis ir poringumas yra skirtingi [10].

Daugelis veiksnių, tokių kaip struktūra, eksperimentinės sąlygos ir bandymų atlikimo greitis, daro įtaką linų pluošto savybėms. Parametrai, susiję su santykinę drėgme, pluošto ilgiu, skirtingu cheminiu apdorojimu, buvusi pluošto vieta augalo kamiene, pluošto mikrostruktūra, vandens ir džiovavimo ciklo apdaila, pluošto defektai, pluošto skersmuo ir ilgis daro įtaką lininių pluoštų stiprumui. Pluošto stipris gali svyruoti nuo 100 MPa iki 2200 MPa, o trūkimo ištįsa yra tarp 0,6 % ir 3,7 % [10].

M. Ramesh atliktame linų pluošto tempimo savybių tyrime pastebėta, kad šios savybės tiesiogiai priklauso nuo pluošto vietos augale. Pluošto vieta augale svarbi kaip ir pluošto skersmuo, kuris daro didelę įtaką trūkimo jėgai. Be to, pluošto ekstrahavimo metodai taip pat lemia pluošto savybių

išsisklaidymą. Prieš bandymą pluoštas buvo pritvirtintas prie bandymo įrangos, pakrautos 2 N apkrova. Tada pluoštas iki trūkio buvo apkrautas skersiniu greičiu 1 mm / min. Kiekvienoje augalo zonoje buvo išbandyta mažiausiai 30 skaidulų. Atliekant bandymą pastebėta, kad elementaraus pluošto trūkimo jėga yra apie 1500 MPa, o subrendusio pluošto siekia 800 MPa. Linų pluošto Jungo modulis priklauso nuo pluošto skersmens ir pluoštams, kurių skersmuo yra 35–5 μm, kinta nuo 39 GPa iki 78 GPa. Variacija greičiausiai yra susijusi su santykinio spindžio dydžio kitimu tarp įvairaus skersmens pluoštų [6].

Tokie pluoštai kaip linas yra perspektyvūs stiprinant polimerų matricos kompozitus, pakeičiant plačiai naudojamus sintetinius E stiklo pluoštus. Šias ekologiškas sistemas būtų galima plačiai pritaikyti, pvz., automobilių pramonėje. Pluoštams būdingas mažas tankis (apie 1,5 g/cm³) ir geros specifinės savybės, o linų pluošto trūkimo jėga ir standumas yra atitinkamai 1500 MPa ir 90 GPa [10].

Vidutines 65 linų pluošto partijų ruošinių mechaninių savybių vertes paskelbė „Baley“ žurnalas. Šioje publikacijoje galima rasti daugiau nei 4000 pluoštų testų rezultatus tiriant 17 skirtingų linų, užaugintų Normandijoje tarp 1993 ir 2017 metų, pluoštus. Vidutinis ištirtų pluoštų tangentinis įtempis svyravo tarp 8,3 GPa ir 52,3 GPa, vidutinis stipris buvo 945±200 MPa, trūkimo ištįsa – 2,09±0,4 %. Vidutinis tirtų pluoštų skersmuo buvo 16,6±2,7 μm [11].

K. Charlet ir kt. atliko tyrimą, kuriame linų tempimo charakteristikos buvo nustatytos naudojant universalią MTS tipo tempimo bandymo mašiną su 2 N talpos apkrovos elementu. Manometro ilgis nustatytas 10 mm, o skersinio galvos poslinkio greitis 1 mm/min. Buvo iširtos pagrindinės linų pluošto mechaninės savybės, atsižvelgiant į specifinę šių pluoštų morfologiją. Stipriausia ir didžiausia komponentų orientacija buvo pluošto ląstelių sienelėje. Pagrindinės linų pluošto mechaninės savybės buvo iširtos tempiant. Vidutinis šio pluošto stipris buvo apie 1200 MPa, trūkimo ištįsa apie 2 %, o vidutinis Jungo modulis siekė 60 GPa [10].

A. Del. Mastro ir kt. atliktame tyrime buvo lyginamos linų ir kanapių pluoštų mechaninės savybės, tokios kaip trūkimo jėga, trūkimo ištįsa ir standumas, su kitais literatūroje randamais darbais. Nustatyta linų pluošto trūkimo jėga, kuri lygi 479 MPa, o standumas – 52,3 GPa, buvo didesni už kanapių pluošto vertes, tačiau mažesni nei kitoje literatūroje gautos vertės (1197 MPa ir 56,2 GPa). Linų pluošto trūkimo ištįsa (1,11 %) buvo truputį mažesnė už kanapių pluošto (1,44 %) bei mažesnė už kitoje literatūroje publikuotas vertes (2,2 %) [12].

1.2.2. Lininių audinių laidumas orui

Patogumas yra apibrėžiamas kaip maloni psichologinės, fiziologinės ir fizinės harmonijos tarp žmogaus ir aplinkos būseną. Linas užtikrina gaivumą ir vėsios jausmą karštomis oro sąlygomis, tačiau dėl hidrofiliųjų savybių blogai perneša ir išskiria drėgmę. Laidumas orui yra vienas iš audinio patogumo rodiklių, kuris vaidina svarbų vaidmenį perduodant drėgmės garus iš odos į išorinę atmosferą. Laidus orui audinys leidžia vykti skysčio ir garų perėjimui, nes šis parametras turi įtakos drėgmės išlaikymo ar praradimo greičiui [13].

E.S. Dalbaši ir kt. atliktame tyrime buvo pateiktos balintų lininių audinių, prieš ir po enzimatinės apdailos, laidumo orui vertės (matavimo plotas – 20 cm², slėgio kritimas – 100 Pa). Neapdoroto audinio laidumo orui vertė buvo didesnė už apdorotų audinių laidumo orui vertes, nes apdailos

procedūros sukėlė audinių susitraukimą, todėl audinio struktūra buvo glaudesnė. Remiantis daugkartiniais palyginamaisiais bandymais nustatyta, kad daugkartinės apdailos procedūros žymiai sumažino laidumo orui vertes [14].

1.2.3. Lininių audinių atsparumas dilinimui ir pumpuravimuisi

Atsparumo dilimui ir pumpuravimuisi charakteristikos yra dvi svarbiausios audinių savybės [15]. Atsparumas dilimui reiškia tekstilės pluošto sugebėjimą atlaikyti ilgalaikį trynimą, jam nepablogėjus. Verpalų struktūra, pynimo ar mezgimo struktūra ir apdaila turi tam įtakos [16].

Pumpuravimasis yra audinio defektas, kai maži pluošto rutuliukai arba grupė, susidedanti iš išsikišusio pluošto, prisitvirtina prie audinio paviršiaus vienu ar keliais siūlais. Pumpuravimosi procesą galima paprastai apibūdinti kaip pumpurėlių susidarymą, sąveikaujant atsilaisvinusiems paviršiaus siūlams. Pumpuravimasis yra svarbi problema ne tik tekstilės ir drabužių gamintojams, bet ir vartotojams. Šio proceso poveikis žymiai sumažina audinio kokybę ir daro neigiamą įtaką vartotojo patogumui. Pumpuravimasis apibūrinamas kaip paviršiaus pluoštų šiurkštėjimas arba pluoštų išsipūtimas iš audinio, dėl kurio matomas paviršiaus pokytis. Abu tipai gali atsirasti skalbiant, chemiškai valant ar dėvint gaminį. Veiksniai, darantys įtaką audinio pumpuravimosi susidarymui:

- pluošto tipas
- siūlų sandara
- audinio sandara
- apdailos procesai (pvz., mechaninis poveikis, naudojami dažikliai ir kt.) [15].

Audinių naudojimo spektras yra gana įvairus. Paprastai bet kuris audinys turi lygų paviršių, storį, trūkimo jėgą ir lankstumą. Paprastai pumpuravimasis yra savaimė besiribojantis procesas, vykstantis trijuose skirtinguose vartojimo etapuose: paviršiaus pūkelio susidarymas, susipynimas ir virsmas pumpurėliu. Trinties jėgos lemia audinio dilinimąsi ir pumpuravimąsi. Taigi tarp jų yra tam tikri ryšiai. Audinio struktūra taip pat yra svarbi nustatant jo atsparumą pumpuravimuisi. Labai tvirtos, kompaktiškos sandaros audinio pumpuravimasis yra mažas, tačiau laisvai megztas ar austas audinys labiau pumpuruosis tiek dėvimas, tiek valomas [17].

1.3. Audinių apdaila

Apdaila yra tekstilės apdirbimas, naudojamas siekiant pagerinti tekstilinių medžiagų išvaizdą, suteikti funkcionalumą ir pagerinti tekstilės gaminių patvarumą bei perdirbimą. Apdaila taip pat turi atitikti tinkamus reikalavimus ir užtikrinti klientų pasitenkinimą rezultatu [18].

Tekstilės medžiagų apdaila susideda iš daugiapakopių procesų, pradedant pluošto gamyba ir baigiant paruoštu audiniu. Šiuos etapus sudaro verpimas, audimas / mezgimas, šlapias apdorojimas, sausas apdorojimas, tolimesnė apdaila [19].

Apdaila atliekama fiziniiais, cheminiaiiais, biocheminiaiiais ir fizikiniaiiais-cheminiaiiais metodais, o tokios medžiagos ilgaamžiškumas gali būti laikinas arba nuolatinis. Tekstilės apdaila gali būti skirstoma į kategorijas pagal tikslą ar galutinį rezultatą. Asmenys, besidomintys gaminiiais (dizaineriai, prekybininkai ir pardavimų personalas), paprastai apdailą priskiria estetinei ir funkicinei apdailai.

Estetinė apdaila modifikuoja audinių išvaizdą, o funkcinė apdaila pagerina audinio savybes esant tam tikroms galutinio vartojimo sąlygoms. Paprastai tekstilės pluošto paviršius daugiausia lemia tokias makroskopines savybes, kaip hidrofiliškumas, sukibimo savybės ir išvaizda. Be to, tekstilės pluošto paviršiaus modifikavimas vaidina svarbų vaidmenį apdailos procese, pagerindamas apdailos efektyvumą. Vandeniui atspari apdaila paprastai yra pageidaujama ir atliekama baigus visas dažymo ir apdailos operacijas [20].

Audinių apdaila susideda iš įvairių apdorojimo etapų, kuriuose tekstiliniai gaminiai tampa galutiniais vartotojus pasiekiančiais produktais. Tai yra audinio paruošimas, balinimas, dažymas, marginimas, fizinis / mechaninis apdirbimas ir cheminė apdaila. Audiniai turi būti tinkamai paruošti prieš juos dažant ir marginant, kad būtų užtikrintas tolygus dažų pasisavinimas, pageidaujamos spalvos. Visi šie procesai turi būti atliekami kuo mažiau paveikiant fizines audinių savybes, kad galutinis gaminyt atitiktų minimalius fizinius reikalavimus, kuriems jis buvo projektuotas ir pagamintas. Tinkamai paruošus audinį, jis gali būti naudojamas dažymo ar marginimo procesuose [21].

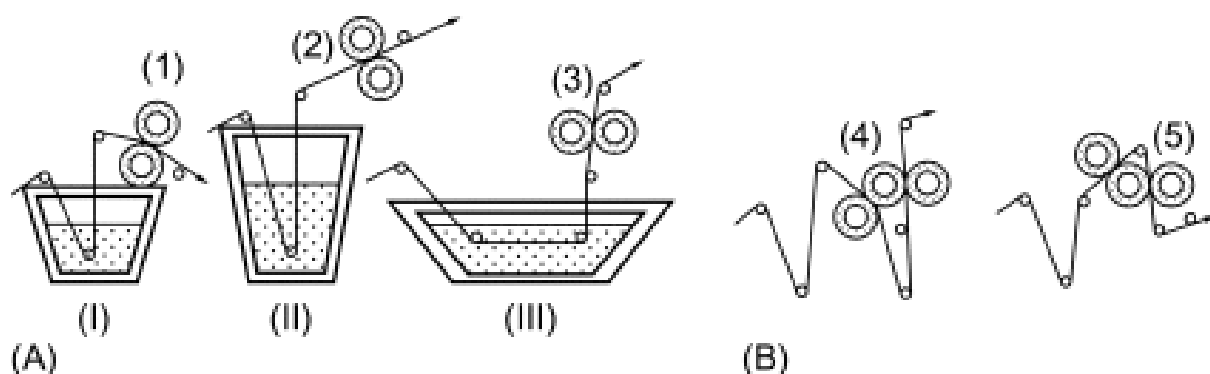
Balinimas yra natūraliai atsirandančių atspalvių pašalinimas iš pluoštų. Balinimo tikslas yra gauti baltus audinius, rimtai nepažeidžiant pačio pluošto fizinių savybių. Reikėtų balinti tik natūralius pluoštus, nes sintetinius pluoštus galima gaminti be pridėtinių priemaišų. Optiniai balikliai dažnai pridedami prie balinimo mišinių, jei balintą audinį reikia parduoti kaip baltą, o ne dažytą. Apdailos proceso pabaigoje audinys džiovinamas naudojant ataudų tiesintuvą, rėmą (stento) ir džiovinimo kamerų rinkinį. Pradiniam džiovinimo etape audinys ištiesinamas naudojant ataudų tiesinimo priemonę, audinio kraštai ištempiami ant rėmo su adatomis. Abiejų rėmo kraštų adatos traukia audinį ir džiovinimo metu ištiesina metmenis ir ataudus į abi puses [21].

Daugiausia apdailos procesų yra taikoma austoms, megztoms ir neaustinėms medžiagoms. Beveik visai tekstilei yra taikoma apdaila. Kai apdaila vykdoma drėgnoje terpėje, ji vadinama šlapia apdaila, o sausoje – sausa apdaila. Vykstant mechaninei (sausai) apdailai audinio savybėms pakeisti naudojamos daugiausia fizinės priemonės. Mechaninė apdaila taip pat apima terminius procesus, tokius kaip šilumos nustatymas (terminė apdaila) ir laikoma sausa operacija, nors norint sėkmingai apdoroti audinį dažnai reikia drėgmės (impregnavimo) ir cheminių medžiagų [22].

Cheminė, kitaip dar vadinama šlapia, apdaila apima cheminių medžiagų pridėjimą prie audinių, kad būtų pasiektas norimas rezultatas. Cheminės apdailos metu vanduo naudojamas kaip terpė cheminėms medžiagoms pernešti, o šiluma naudojama joms suaktyvinti. Efektui pagerinti daugelis cheminių metodų yra derinami su mechaniniais metodais. Cheminis apdirbimas gali būti naudojamas keliais būdais, įskaitant ištraukimo metodą (dažant partijomis), įmerkymą pliusuotėje (panardinant į cheminį tirpalą, po to nuspaudžiant, kad būtų pašalintas perteklius ir termiškai apdorojant), purškiant, marginant, apdorojant putomis ar veikiant garais. Taikant ištraukimo metodą, atlikus dažymą gniūžtėje, džigeryje ar dažymo pliusuotėje, tirpalo likutis išpilamas ir tekstilės medžiaga kruopščiai skalaujama, tiekiant švarų vandenį. Praėjus nurodytam laikui, medžiaga tiekama džiovinimui [22].

Populiariausias metodas yra įmerkymo metodas. Medžiaga nuolat įmerkiama į paruoštus tirpalus ir nuspaudžiama iki tam tikro laipsnio, audiniui judant tarp nuspaudimo velenų. Po minkštinimo audinys turi būti išdžiovintas (pašildomas tiek, kad sukeltų cheminę reakciją) džiovinimo mašinoje. Taikant tolydinį metodą, audinys po minkštinimo yra nuolat perleidžiamas per cilindrinę džiovinimo mašiną arba stentą. Kiekviena proceso dalis gali daryti įtaką apdailos rezultatams. Kitas būdas yra

audinio minkštėjimas ir vyniojimas ant veleno. Tačiau šis pusiau tolydinis procesas labiau tinkamas dažymui, o ne sausai apdailai. Daugeliu atvejų norint gauti norimą efektą, labai svarbu sudrėkinti audinį chemikalų tirpalu ir tolygiai jį paskleisti ant paviršiaus. Įmirkymo vonia su pliusuote yra labiausiai paplitęs metodas, kai audinys panardinamas į minkštiklio tirpalą arba dažus [22].

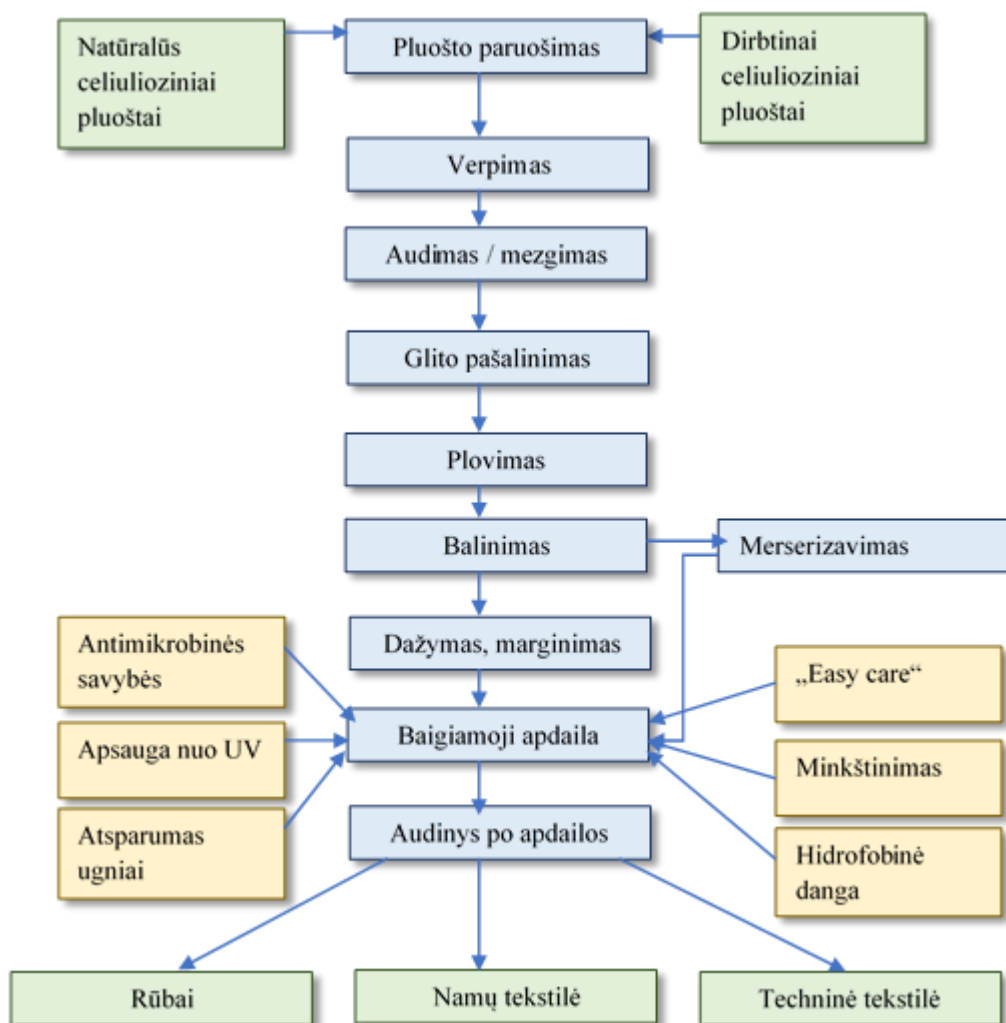


2 pav. (A) dviejų velenų pliusuotė su trimis skirtingomis įmirkymo vonelėmis, (B) trijų velenų pliusuotė su skirtingais pervėrimais [22]

Žinoma, kad paprastas fizinis ar mechaninis apdorojimas gali žymiai pakeisti tekstilės audinių išvaizdą ir savybes. Mechaniniam apdorojimui reikšmingą įtaką daro šilumos ir slėgio kiekis, medžiagos drėgmės kiekis apdorojimo metu ir išankstinis audinio apdorojimas. Tradicinę periodinę mechaninę apdailą dabar pakeitė tolydinis apdorojimas, galintis vykti dideliu greičiu. Audinių paviršiaus savybes galima keisti įvairiais būdais, o pasitelkiant paviršiaus modifikacijas siekiama pagerinti lygumą, šiurkštumą, blizgesį, sukibimą, dažomumą ir drėgnį [23].

Šlapios apdailos etapai palengvina žalio audinio pavertimą norimais tekstilės gaminiiais ir skiriasi priklausomai nuo celiuliozės audinių pobūdžio ir paruoštų gaminių tipo. Pirminis žalių audinių apdirbimas yra ypač svarbus. Dažniausiai apdailoje žali audiniai yra balinami ir plaunami. Priklausomai nuo balinimo stiprumo, parenkamas plovimo režimas. Labai svarbu gerai išplauti perteklinius chemikalus ir gerai išdžiovinti audinius. Dažymo metu audiniai privalo būti visiškai sausi, tam, kad būtų išgauta gera dažymo kokybė [24].

Balinimas atliekamas siekiant užtikrinti vienodą baltumo laipsnį ir pašalinti natūraliai dažančias medžiagas bei kitų medžiagų likučius. Šis procesas vyksta šarminėje terpėje naudojant oksidatorius. Audinys yra paruoštas dažymui arba marginimui po pirmojo apdailos paruošiamojo etapo ir įgauna PFD arba PFP pavadinimą, kuris išvertus iš anglų kalbos atitinkamai reiškia paruoštas dažymui ir paruoštas marginimui. Audinių iš celiuliozinių pluoštų apdaila yra labai svarbus etapas tekstilės pramonėje, nes maksimali tekstilės gaminių pridėtinė vertė pasiekama pagerinant jų eksploatacines savybes, pagerinant vartojamąsias ir funkcines tekstilės gaminių savybes, mechanines savybes, lengvo dėmių pašalinimo efektą [24].



3 pav. Tekstilės medžiagų iš celiuliozinių pluoštų apdailos procesų schema [24]

1.4. Apdailos įtaka lininių audinių mechaninėms ir vartojamosioms savybėms

1.4.1. Balinimo įtaka lininių audinių savybėms

Balinimas – tai procesas, plačiai naudojamas tekstilės gaminiuose, siekiant pagerinti linų pluoštų baltumą. Jis daro didelę įtaką linų pluoštų struktūrai ir savybėms, pašalindamas natūralias pluošto dažančiąsias ir kitas neceliuliozines medžiagas. Be to, celiuliozės oksidacijos dėka atsiranda naujos funkcinės grupės, suteikiančios jai ypatingų savybių arba pakeičiančios esamas, pavyzdžiui, gerinant sorbcines savybes, kurios yra būtinos pluošto šlapios apdailos procesams [25].

Kadangi oksidacijos metu keičiasi paviršiaus grupių skaičius ir tipas, jų disociacijos gebėjimas turi įtakos paviršiaus krūvio pasiskirstymui, taip pat dvigubo elektrinio slauksnio storiui ir pasiskirstymui, dėl kurio keičiasi elektrokinetinės savybės, kurios taip pat yra labai svarbios pluošto šlapios apdailos procesams, taip pat pluoštams, naudojamiems kaip cheminių medžiagų, kurios turi būti stipriai sujungtos su jų paviršiumi, nešikliai [26].

Vandenilio peroksidas (H_2O_2) yra plačiausiai naudojamas balinimo agentas tekstilės pramonėje dėl mažų sąnaudų, palankumo aplinkai, pritaikymo lankstumo ir vienos vonios proceso galimybės. Be

to, balinant vandenilio peroksidu, gaunamas didelis pluoštų baltumo laipsnis, kuris yra stabilus ir laikydamasis nelinkęs gelsti [27].

Celiuliozinių pluoštų balinimas peroksidu jau labai seniai pritraukė daugumos tyrinėtojų dėmesį. Peroksidu apdoroti celiuliozinius pluoštus yra labai lengva ir tuo pat metu pluoštui suteikiamos geros mechaninės savybės. Organiniai peroksidai lengvai suskaidomi į laisvuosius radikalus, kurie toliau reaguoja su pluošto celiulioze ir vandenilio matricos grupe [28]. Balinimo peroksidu schema parodyta žemiau:



Pramoniniais tikslais vandenilio peroksidas dažnai naudojamas kaip celiuliozinių medžiagų balinimo priemonė. Taip pat yra žinoma, kad lininiams audiniams naudojamas ozonavimo ir vandenilio peroksido balinimo derinys. Be to, tekstilės pramonėje taikomi įprasti šarminiai audinių balinimo metodai. Audinio apdorojimas šarmu yra vienas iš paprasčiausių ir populiariausių linų pluošto apdirbimo būdų. Šiame procese pluoštas panardinamas į šarminį tirpalą, kuriame keičiasi pluošto savybės. Šis apdorojimas atliekamas siekiant pagerinti pluošto paviršiaus sukibimo savybes ir prekinę išvaizdą, taip pat šarminimas turi teigiamą efektą, nes pašalinamos pluošte esančios priemaišos. Vienas iš šarminio apdorojimo pranašumų yra tas, kad šarmai, tokie kaip NaOH ir KOH, gali padėti linų pluošto kristalinei gardelei iš vienos celiuliozės formos virsti kita forma, kuri yra stabilesnė ir geba lengvai keistis jonais. Šio proceso metu pašalinamas tam tikras kiekis lignino, vaško ir aliejaus, kuris padengia išorinį pluošto paviršių ir depolimerizuoja natūralios celiuliozės struktūrą [29].

Apdorojus audinį šarmais, sutrinka vandenilio sujungimas tinklo struktūroje, ligninas, vaškas ir aliejai pašalinami iš paviršiaus, padidėja paviršiaus šiurkštumas ir galimų reakcijos vietų skaičius dėl padidėjusio celiuliozės procento. Šarminis apdorojimas yra naudingas, palyginus su kitais metodais, nes yra paprastas, nebrangus, greitas, palyginti ekologiškas, pasižymi pakankamai mažu pluošto savybių pablogėjimu, plačiai pritaikomas skirtingiems natūraliems pluoštams, pasižymi geru našumu ir kt. Jo trūkumas – pluoštų mechaninio stiprumo sumažėjimas [30].

Jinhua Ding ir kiti išanalizavo linų pluošto savybes jį balinant ir plaunant. Siekiant geriau suprasti cheminės sudėties įtaką ilgų linų pluoštų mechaninėms ir morfologinėms savybėms, lininiai siūlai su keturiais šveitimo ir balinimo metodais buvo lyginami su neapdorotais lininiais siūlais. Linų pluoštui buvo naudojami tokie balinimo ir plovimo metodai: šarminio deguonies (AO), chloro-šarmo-deguonies (Cl-AO), apdorojimo fermentais ir šarminiu deguonimi (EAO) ir pirminio apdorojimo rūgštimi (AA). Po šių apdailų struktūrinės savybės buvo lyginamos su nepaveikto pluošto savybėmis. Celiuliozės kiekio pluošte procentas padidėjo po balinimo ir plovimo procedūrų, dėl hemiceliuliozės ir lignino pašalinimo. Po plovimo ir balinimo apdailos tempimo savybės, įskaitant trūkimo jėgą ir ištįsą, padidėjo 13,6–47,3 % ir 5,3–25,3 %, palyginus su žaliu linų pluoštu. Nebalinto pluošto, gauto paveikus jį AA, trūkimo jėga buvo 6,58 cN/dtex ir atitinkamai ištįsa – 3,73 %, o apdorojus Cl-AO ir EAO būdais, gauta trūkimo jėga buvo lygi 7,28 cN/dtex ir 7,69 cN/dtex, o ištįsa – 3,16 % ir 3,60 %. Apdorojimas su Cl-AO nepadarė jokio reikšmingo ištįsos pagerėjimo, o apdaila su AO nepadarė jokio reikšmingo poveikio linų trūkimo jėgai. Fizinė savybių požiūriu linų pluoštas, gautas po apdailos procesu, buvo net 19,8–28,8 % silpnesnis nei apdaila nepaveikto linų pluošto bandiniai. Reikšmingų skirtumų tarp žalių ir EAO apdorotų linų pluoštų nebuvo. Kartu su padidėjusiu masės nuostoliu

padidėjo ir linų pluošto trūkimo jėga ir ištįsa. Lignino pašalinimas turi daugiau įtakos nei hemiceliuliozės pašalinimas, taip pat tai turi daugiau reikšmės trūkimo ištįsai nei trūkimo jėgai [31].

M. Barczewski ir kiti atliko linų / medvilnės epoksidinio kompozito tyrimą. Dalis paruoštų audinio fragmentų buvo modifikuoti naudojant 6 % vandenilio peroksido tirpalą. Audiniai buvo panardinti į H_2O_2 ir palikti 24 valandoms kambario temperatūroje. Po to vandens perteklius buvo išgarinamas laboratorijos džiovykloje esant 80 °C temperatūroje. Kitas pluošto modifikavimo bandymas apėmė dviejų žingsnių cheminį apdorojimą, šarminį balinimą naudojant H_2O_2 ir silanizavimą [32].

Balinimo procesas keičia pluošto struktūrą ir gali sumažinti pektino bei priemaišų kiekį, o silanizacijos procesas pluoštų paviršiuje sukuria naujas grupes, kurios gali apriboti pluošto segmentų mobilumą ir sumažinti pluošto drėgmę. Todėl, sujungus šiuos du linų / medvilnės pluošto apdailos metodus, buvo sudaryti epoksidiniai kompozitai, pasižymintys palankiomis termomechaninėmis savybėmis. Taip pat buvo matomas trūkimo jėgos ir atsparumo lenkimui pagerėjimas balintiems ir silanizuotiems kompozitams [32].

Linų pluošto paruošimo, tokio kaip plovimas, balinimas ir merserizavimas, apdaila ir jos įtaką linų / epoksidinių kompozitų savybėms aprašė Cherif ir kt. Merserizavimo ir balinimo procesas pagerino kompozitų mechanines savybes ir atsparumą vandens absorbcijai [33].

Razak ir kt. savo darbe pasiūlė naudoti vandenilio peroksidą modifikuojant kinrozės pluoštus, naudojamus kaip polilaktido (PLA) kompozitų armatūrą. Balinimo procesas naudojant vandenilio peroksidą, dėl pasikeitusios pluoštų cheminės sudėties, leido gaminti padidinto stiprumo kompozitus, palyginus su medžiagomis, sustiprintomis nemodifikuotais pluoštais. Tai yra netiesioginis natūralių lignino pluoštų pašalinimo iš cheminės sudėties ir specifinio pluoštų paviršiaus pakeitimo poveikis, kuris daro įtaką jų drėkinimui polimero matricoje [34].

Optinius baliklius galima priskirti dažikliams, jei dažus apibūdinsime kaip medžiagą, kuri sugeba prisitvirtinti prie tekstilės audinio ir paveikti akivaizdžią audinio spalvą. Jie iš esmės yra bespalviai fluorescenciniai dažai, naudojami balinant tekstilės gaminius. Ne fluorescuojančiomis medžiagomis nudažytą medžiagą padėjus dienos šviesoje arba dirbtinoje baltoje šviesoje, ji atspindės dalį į ją patekusios šviesos, o dalį sugers. Atspindėta šviesa suvokiama kaip spalva. Sugerta šviesa paverčiama infraraudonaisiais spinduliais ir spinduliuojama kaip šiluma. Naudojant optinį baliklį, matoma šviesa nėra sugerama, o nematoma ultravioletinė energija absorbuojama, paverčiama ilgesnėmis bangomis ir skleidžiama kaip matoma mėlyna šviesa (400–450 nm) [35, 36].

Optiniai balikliai efektyviai užmaskuoja bet kokį pageltimą, kuris gali būti audinyje. Jie naudojami įvairiems apdailos procesams ir turėtų būti suderinami su praktiškai visomis cheminėmis medžiagomis ir pagalbinėmis medžiagomis, naudojamomis skirtingais etapais. Optiniais balikliais apdirbti audiniai privalo pasižymėti gerais atsparumais. Be to, pageidaujama ir skirtingų baltų atspalvių. Optiniai balikliai gali būti klasifikuojami pagal cheminę baliklio sudėtį arba jo taikymo būdą. Jie gali būti suskirstyti į dvi dideles grupes: tiesioginiai balikliai (agentai yra tirpūs vandenyje, naudojami natūraliems pluoštams ir kartais sintetinėms medžiagoms, tokioms kaip poliamidas, pašviesinti) ir dispersiniai balikliai (agentai netirpsta vandenyje, kaip ir dispersiniai dažai, naudojami sintetinėms medžiagoms balinti, tokioms kaip poliamido poliesterio acetatas) [37].

Įgudusiam koloristui net balintos medžiagos turi švelnų geltoną atspalvį. Šis nedidelis geltonos spalvos kiekis gali sukelti nešvarumo įspūdį ir gali pakenkti audinių estetiniam patrauklumui, o dėl mėlynos spalvos susidaro efektas, jog tekstilinė medžiaga yra baltesnė. Optinių baliklių plėtojimas reiškė, kad ši nežymų mėlynos spalvos priedą galima išgauti per šviesą, kurią jie atspindi ultravioletinėje spinduliuotėje. Tai ir sudaro balintos tekstilės baltesnį ir ryškesnį efektą. Šie balikliai yra daugumoje namų apyvokos reikmenų, tačiau jie dažniausiai tinka tik celiuliozinėms tekstilės medžiagoms. Šių junginių atsparumas šviesai labai skiriasi, o pritaikius juos celiuliozės ir baltyminiams pluoštams, jų atsparumas šviesai svyruoja nuo 1 iki 2 balų. Prastą bendrą fluorescencinių balinimo medžiagų šviesos atsparumą lemia jų nuolatinė šviesos absorbcija ir emisija, o dėl to vyksta jų cheminis skaidymas. Fluorescencinių balinimo priemonių skalbimo atsparumo skalės balas yra 3. Tikrąjį fluorescencinių baliklių atsparumą skalbimui iš dalies lemia ir tai, kad nuolatos vyksta jų laipsniškas skilimas veikiant saulės šviesai [37].

M. Kert ir kt. atliktame tyrime chemiškai išbalintas medvilninis audinys buvo sėkmingai padengtas fotochrominių dažų mikrokapsulėmis ir su optiniais balikliais, ir be jų. Padengus audinį, lankstumas padidėjo metmenų ir ataudų kryptimis, neatsižvelgiant į tai, ar mirkymo vonioje yra OB. Trūkimo jėga padidėjo, o audinio trūkimo ištįsa šiek tiek pagerėjo. Dengto audinio laidumas orui sumažėjo, kai buvo naudojamas optinis baliklis. Audinio spalvos atsparumas šlapiai trinčiai buvo geresnis nei sausai trinčiai, tuo tarpu spalvos atsparumas skalbimui sumažėjo didinant skalbimo ciklą skaičių. Optinio baliklio buvimas ir jo koncentracija neturėjo įtakos padengto audinio spalvos atsparumui šlapiai bei sausai trinčiai ir skalbimui, o spalvos atsparumas šviesai pagerėjo padidėjus optinio baliklio koncentracijai [38].

1.4.2. Dažymo įtaka lininių audinių savybėms

Audiniai iš celiuliozinių pluoštų dažniausiai dažomi kelių tipų dažais: aktyviniais, sieriniais ir kubiniais [39].

Tekstilėje apdailai naudojami dažai yra organiniai junginiai, kurie geba sugerti šviesos spinduliavimą matomoje spektro srityje ir atspindėti ar išsklaidyti papildomą spinduliuotę. Taip pat labai svarbu, kad dažymo procesas būtų kuo įmanoma tvaresnis. Dažų struktūra susideda iš chromoforinių grupių, auksochromų ir konjuguotų aromatinių struktūrų. Šios grupės turi specifinių nepriklausomų savybių. Tai reiškia, kad dažai turi didelę spalvų paletę, geba fiksuotis ant audinių paviršiaus dažant ar spausdinant. Chromoforinės grupės yra nesočiosios grupės, kurios susideda iš atomų arba jų grupių, kuriose vienas po kito einančių viengubų ir dvigubų jungčių išdėstymas rezonuoja su nestabilia mezomerine forma, tokiu būdu leidžiant absorbuoti šviesos spindulius. Aktyviniuose dažuose šios chromoforų grupės dažniausiai gaunamos iš azo, antrachinono ir ftalocianinų šeimų. Jų pavadinimas siejamas su triazino arba vinilsulfono tipo aktyviosiomis cheminėmis funkcijomis, taip užtikrinant stiprų kovalentinio ryšio su pluoštu susidarymą. Aktyviniai dažai taip pat gerai tirpsta vandenyje [40].

Aktyviniai dažai pasirodė kaip viena sėkmingiausių šiuolaikinių sintetinių dažiklių klasė. Jie visame pasaulyje naudojami celiuliozinių pluoštų, pavyzdžiui, medvilnės, linų ir viskozės dažymui, kadangi yra lengvai pritaikomi, sąlyginai mažai kainuoja, spalvos blizga ir pasižymi dideliu atsparumu šlapiai trinčiai, skalbimui [41, 42]. Aktyviniai dažai užtikrina geresnį spalvų atsparumą plovimo ir dilimo metu [43]. Jie yra vieninteliai tekstiliniai dažai, sukurti formuojant kovalentinį ryšį su substratu aplikacijos metu. Aktyvios dažų molekulės struktūroje pateikiamos funkcinės grupės turi aiškiają įtaką

dažymo elgsenai [44]. Apie šiuos dažus galime daug suprasti ir iš pavadinimo, kadangi jie turi polinkį chemiškai reaguoti su celiuliozinės kilmės medžiagų hidroksilo grupėmis ir suformuoti kovalentinius ryšius, kurie suteikia geras apdirbtų medžiagų atsparumo savybes. Su šiais dažais galima išgauti puikias spalvas, kurios atitinka reikalavimus atsparumui. Aktyviniai dažai sudaro daugiau kaip 80 % visų dažiklių, kurie naudojami celiuliozinėms medžiagoms dažyti, nors lyginant tamsias spalvas su šviesiomis, gaunami ganėtinai prasti šlapios trinties rezultatai [45].

B.K. Behera atliko tyrimą, kuriame linų pluošto ir linų / medvilnės mišriapluoščiai audiniai buvo nubalinti, o po to nudažyti standartiniais proceso parametrais. Laidumas orui buvo matuojamas su „FX 3300 Textest“ laidumo orui testeriu, bandymo plotas buvo 38 cm², bandomasis slėgis buvo 200 Pa, matavimo vienetas – l/(m²/s). Rezultatuose nustatytas laidumas orui buvo lygus 2408 l/(m²/s). Taip pat tirta lininio audinio cheminio poveikio įtaka įvairioms mechaninėms savybėms ir galutinei audinio vertei. Rezultatai rodo, kad dėl cheminio poveikio audinio tempimo energija mažėja, o tuo tarpu trūkimo jėga žymiai padidėja. Kuo didesnė audinio trūkimo jėga, tuo jis yra elastingesnis. Po audinio cheminės apdailos smarkiai sumažėjo tiek lenkimo, tiek šlyties standumas, kuris atsiranda dėl audinio minkštėjimo ir pluošto matmenų susitraukimo. Audinio paviršiaus charakteristikos taip pat pasikeičia, po apdailos jis tapo šiurkštesnis, taip nutiko dėl paviršinio atsišerpetojimo. Audinį skalbiant ir veikiant cheminėmis medžiagomis ženkliai sumažinama gniuždymo energija, o audinio susitraukimo atsparumas pagerėja. Rezultatai taip pat rodo, kad dėl audinyje esančių priedų, kurie pašalinami apdailos metu, audinio storis ir paviršinis tankis šiek tiek sumažėja [46].

1.4.3. Skaitmeninio marginimo įtaka lininių audinių savybėms

Lininiai audiniai turi didelę paklausą dėl savo puikios drėgmės absorbcijos, temperatūros reguliacijos ir antibakterinių savybių, todėl tapo vienu iš svarbiausių ir daugiausiai naudojamų skaitmeninio marginimo objektų tekstilės pramonėje. Skaitmeninis marginimo procesas, pasižymintis lankstumu, kūrybiškumu ir ekologiškumu, tapo plačiai naudojamas tekstilėje. Dažo lašelius reikia išpurkšti ant audinio paviršiaus per specialius purkštukus, kurie yra spausdinimo galvoje, todėl audinio paviršiaus struktūra ir savybės yra labai svarbūs veiksniai, kurie daro įtaką dažo lašelių pasklidimui ant spausdinamo audinio paviršiaus ir tai stipriai atsiliepiama spausdinamų raštų kokybei. Todėl, prieš pradėdant marginti skaitmeniniu būdu, būtina iš anksto paruošti lininį ar kitą natūralų audinį, kad būtų galima kuo įmanoma labiau išlyginti audinio paviršių [47].

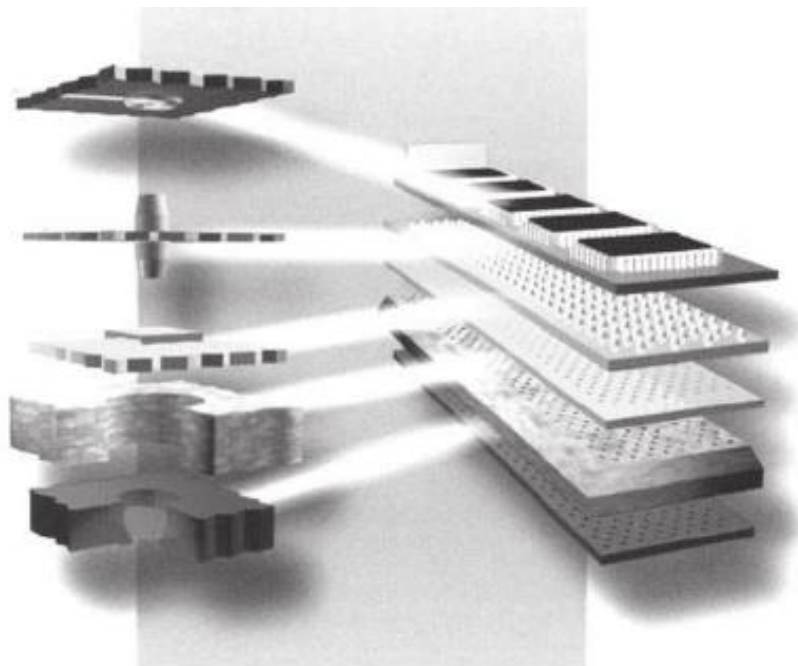
Nuolat kartojamas paveikslėlis tampa raportu. Galimybė spausdinti ant audinio dideliais metražais, pasikartojančiais raportais buvo viena iš priežasčių, sukėlusį didelį susidomėjimą spauda. Skaitmeninis marginimas yra nuosekliausias būdas gaminti šiuos pasikartojančius raštus ir taip tapo standartiniu audinio marginimo metodu. Šis didmeninės gamybos ir pardavimo modelis aptarnauja įvairius margintos tekstilės rinkos sektorius, tokius kaip drabužių gamyba, interjeras ir baldai, namų apyvokos reikmenys ir amatai [48].

Terminas „skaitmeninis marginimas“ reiškia bekontaktį dažo padengimo ant pagrindo paviršiaus metodą, naudojant lašelius. Skaitmeninio marginimo sistemos naudoja spausdinimo galvas, kurios suformuoja dažo lašelius iš pagrindinio spalvų rinkinio. Esant spalvų įvairovei paprastai naudojamas spalvotų dažų rinkinys. Šis spalvų išdėstymas dažnai vadinamas CMYK. Spausdinant tekstilines medžiagas ar naudojant popierių, spausdinimo galvutės paprastai yra išdėstytos virš pagrindo ir sukuria žalsvai mėlynos (C), rausvai raudonos (M), geltonos (Y) ir juodos (K) spalvos dažų lašelius,

kurie išpurškiami iš galvutės purkštukų. Dažų lašeliai susijungia ant pagrindo paviršiaus, sukurdami spalvų ir vaizdo efektą [49, 50].

Spausdintuvo galvos technologija gali būti apibūdinta pagal dažų, kuriais ji sukuria dažo lašelius (nuolatinio tiekimo arba pagal poreikį) ir lašų formavimo metodą (terminį ar pjezo). Nuolatinio tiekimo galvutės (CIJ) formuoja ir išleidžia dažo lašus nuolat. Kai lašai išeina iš spausdinimo galvos purkštuko, veikia elektros krūvis. Tada lašai praeina per elektrinį lauką, kuris naudojamas valdyti, kuriems lašeliams leidžiama nukristi į pagrindo paviršių. Vaizdui sukurti nereikalingi lašeliai nukreipiami atgal į dažų indą ir panaudojami ateityje [49].

DOD spausdinimo galva pagal poreikį suformuoja dažo lašelius, kaip reikalauja dizainas. Inicijuojant dažo lašelį, naudojamas elektrinis impulsas, o technologiją, naudojamą lašui generuoti, galima priskirti termininei arba pjezo elektrinei. Impulsinės spausdinimo technologijos DOD IJ spausdintuvai paprastai sunaudoja mažiau energijos ir naudoja mažesnį dažų kiekį, palyginti su CS spausdintuvais. CS spausdintuvai nuolat kaupia dažus, neatsižvelgiant į tai, ar dažų reikia tuo momentu ar ne. Priešingai, IJ spausdintuvų aktyvinių dažų lašai iššaukiami pagal reikalavimą (DOD), kai kiekvienas dažų lašelis nukreipiamas į tiksliai apibrėžtą vietą ant tekstilės, tai reiškia, kad į vieną tašką galima įdėti tik vieną dažų lašelį [49, 50]. Pjezo spausdintuvų pjezoelektrinėse sistemose lašelių išstūmimą vykdo pjezoelektrinis kristalas, kai elektrinis signalas deformuoja kristalą ir sukuria dažo slėgio bangą. Pjezo spausdintuvai gali išskirti iki 120000 lašelių per sekundę. Elektriniai signalai gali sukurti jėgas, dėl kurių pjezo medžiaga stumia ar lenkiasi [50]. 4 pav. pavaizduota aukšto efektyvumo pjezoelektrinė galvutė su daugiasluoksne konstrukcija.



4 pav. Pjezoelektrinė spausdinimo galva [50]

Siekiant patenkinti tipiškus tekstilinių gaminių galutinio naudojimo reikalavimus, dažikliai, skirti skaitmeniniam marginimui ant audinio, buvo sukurti iš įprastų tekstilėje naudojamų cheminių medžiagų ir gali būti priskiriami dažų arba pigmentų sistemoms. Kaip ir įprasto tekstilės marginimo atveju, dažai, skirti spausdinti skaitmeniniais spausdintuvais, turi būti parenkami pagal pluošto tipą.

Tačiau skaitmeninių dažų atveju dažikliai buvo specialiai sukurti susiderinti su spausdinimo galvučių technologija. Spalvų rinkiniai taip pat buvo sukurti atsparumo savybėms ir spalvų gamai optimizuoti [49].

Aktyviniai ir rūgštiniai dažai yra vieni iš geriausiai ištobulintų cheminių medžiagų, skirtų marginimui ant tekstilės gaminių. Kokybiškas audinio paruošimas yra svarbus norint pasiekti optimalių rezultatų, kai marginama su aktyviniais ir rūgštiniais dažais. Daugumai audinių tipų reikalingi standartiniai paruošimo spaudai metodai, įskaitant skalavimą ir balinimą. Pavyzdžiui, šarmai, skirti aktyviam marginimui, o rūgštiniai komponentai, skirti marginimui rūgštiniais dažais. Tirštikliai naudojami spalvų plitimui ir įsiskverbimui į audinį kontroliuoti. Tirštinantys komponentai yra naudojami audinių paruošimui kaip pradinis apdorojimas prieš marginimo procesą, kad būtų palaikomas geras spalvų fiksavimas ir kontroliuojamas dažų įsiskverbimas, siekiant užtikrinti vaizdo aiškumą ir ryškumą. Aktyviniai dažai naudojami marginimui ant audinių, pagamintų iš celiuliozinių pluoštų, įskaitant medvilnę, liną ir viskozę [49]. Fiksavimo procesai, kurie naudojami audiniams, margintiems aktyviniais dažais, paprastai apima marginto audinio brandinimą labai prisotintu garu, po to plovimą karštame vandenyje, kad būtų pašalinta tirštiklio ir dažų dalelių perteklius [54]. Aktyviniai dažai turi platų spalvų diapazoną. Aktyvinės dažų molekulės difuzijos būdu plinta į pluoštą ir užmezga su jo molekulėmis cheminius ryšius, kai vykdomas fiksavimas. Nors tekstilinėje spaudoje populiariausi dažai yra pigmentai, iš visų kitų dažų dažniausiai naudojami aktyviniai dažai, kurie sudaro 30 % visų marginime naudojamų dažų [54].

Skirtingai nuo aktyvinių ir rūgštinių dažų, pigmentai netirpsta kambario temperatūroje. Pigmentams taip pat reikalingas ir rišiklis, kuris dažiklį mechaniškai sujungia su tekstilės pluošto paviršiumi. Šis sujungimas paprastai inicijuojamas veikiant šilumos energijai (kietėjant pigmentui). Šios savybės sukėlė kliūčių užtikrinant patikimą dažų purškimą, spalvų patvarumą ir plačią, ryškią spalvų gamą. Nors spaudos spalvų paletė išlieka ribota, pigmentai suteikia daug privalumų, įskaitant paprastą audinio apdorojimą ir plovimo procedūrų panaikinimą po fiksavimo. Teoriškai pigmentai taip pat suteikia galimybę marginti ant daugelio pasirinktų pluoštų tipų. Tačiau iki šiol geriausi spalvų, marginimo kokybės ir tvirtumo rezultatai yra siejami su skaitmeniniu marginimu ant natūralių pluoštų ar mišriapluoščių. Pigmentiniai dažai buvo suformuoti dėl didesnių atsparumo savybių [49].

Tekstilės marginimo proceso metu galima greitai reaguoti į mados, dizaino ar spalvų tendencijas ir vartotojų poreikių pokyčius. Pigmentinis marginimas dominuoja tam tikroje rinkoje ir sudaro beveik 50 % spaudos produkcijos visame pasaulyje, greičiausiai dėl savo paprastumo, mažų sąnaudų, minimalių reikalavimų apdorojant šlapia apdaila ir dėl plataus pritaikomumo įvairiems tekstilės produktams. Tipiškoje pigmento marginimo pastoje yra: pigmento dažiklio, tirštiklio, rišiklio, kryžminio jungiklio, modifikatoriaus, PAM (paviršinės aktyvinės medžiagos) ir katalizatorių [51].

Pigmentai yra netirpūs vandenyje, tirpiklyje (baziniame ar rūgštiniame) ir neturi jokios aktyvios grupės, kuri galėtų reaguoti su tekstiliniu pluoštu. Pigmentai dažniausiai yra benzoiniai dariniai, o neorganiniai pigmentai (mineralai) yra metalų, tokių kaip titanas, cinkas, baris, švinas, geležis, molibdenas, stibis, cirkonis, kalcis, aliuminis, magnis, kadmis ir chromas, dariniai. Jie turi būti labai smulkiai padalyti, kad juos būtų galima laikyti suspensijoje dėl dispergantų susidarymo, tokių kaip plėvelė, kuri susidaro termiškai apdorojant (džiovinant), yra lanksti ir skaidri, todėl pigmentai gerai praleidžia šviesą ir ši plėvelė suteikia geras mechanines savybes [52].

Pigmentiniui marginimui reikalingas rišiklis kaip fiksavimo priemonė, padedanti pigmentams susirišti su tekstilės pagrindu. Fiksavimo procese numarginti audiniai yra fiksuojami aukštoje temperatūroje, džiovinimo mašinoje. Marginant su pigmentais ant audinio paviršiaus reikia sudaryti kryžmines jungtis tarp pigmentų ir audinio paviršiaus, norint užfiksuoti dažus, tam ir naudojami įvairūs rišikliai. Karštas sausas oras suaktyvina ir leidžia termoreaktingam rišikliui prilipdyti pigmentus ant audinio paviršiaus. Kadangi plovimo nereikia, visi tirštikliai lieka ant marginto audinio ir standina margintas vietas. Pigmentinio marginimo trūkumai apima audinio stiprio sumažėjimą, ganėtinai šiurkštų pojūtį liečiant. Marginimo pigmentais trūkumas yra ir tas, kad polimeriniai sluoksniai, užnešantys pigmentus ant audinio paviršiaus, gali lengvai suirti, todėl jų atsparumas sausai ir šlapiam trinčiai yra ganėtinai blogas. Tačiau pigmentinis marginimas vyrauja tekstilinės spaudos pramonėje ir sudaro iki 45 % visame pasaulyje sunaudojamų dažiklių, daugiausia todėl, kad marginimas pigmentiniais dažais suteikia šiuos pranašumus: gerus atsparumus šviesai, platų spalvų pasirinkimą, yra ganėtinai pigus skaitmeninio marginimo būdas ir galima naudoti spaudai ant plataus tekstilės asortimento [53, 54, 55].

Nors buvo atlikta daugybė medvilnės marginimo ir apdailos tyrimų, žymiai mažiau žinoma apie lininių audinių marginimą ir, nepaisant praktinės procesų svarbos, beveik nebuvo atliktas sistemingas tyrimas skirtas įvertinti lininių audinių marginimo ir vartojamųjų savybių koreliacijos. Marginti ir lengvai prižiūrimi apdoroti lininiai audiniai gali patenkinti klientų reikalavimus dėl patogumo, priežiūros ir estetikos [56].

P. F. Tavčer ir kt. atlikto tyrimo tikslas buvo kuo išsamiau apibūdinti skirtingai margintų ir apdirbtų lininių audinių savybes. Marginimui buvo naudojami aktyviniai ir kubiniai dažai bei pigmentai, o cheminei apdailai – padengimas formaldehido derva. Nustatytas marginimo ir apdailos poveikis audinio struktūrai, vartojamosioms, tempimo ir su dėvėjimu susijusioms savybėms, taip pat spalvų atsparumui [56].

Atlikus aktyvinį (RS ir RD) ir kubinį (V) marginimą, audinio masė ploto vienetui padidėjo maždaug nuo 220 iki 235 g/m². Panašus audinio svorio padidėjimas gaunamas po cheminės apdailos (CF). Audinį su pigmentiniais dažais (P) galima išskirti kaip su didžiausia ploto vieneto mase (240 g/m²) [56].

Apdorotų audinių laidumas orui yra mažesnis nei kontrolinių audinių (C). Gryno apdirbto audinio (CF) laidumas orui sumažėjo nuo 80 iki 53 m³/(m² min.), apie 33 %. Marginimo pigmentu (P) poveikis yra beveik toks pat, nes išmatuotas pigmentu marginto lininio audinio laidumas orui buvo 52 m³/(m² min.). Aktyviniai (RS ir RD) ir kubiniai (V) dažai praleidžia žymiai daugiau oro, laidumas orui sumažėjo apie 8–12 %. Laidumas orui – tai oro srauto perėjimas per audinyje esančias tuščias erdves, o įvykę struktūriniai ir cheminiai pokyčiai, sumažino šias tuštumas, sutankino audinį. Taigi laidumo orui sumažėjimas yra ant audinio paviršiaus esančios marginimo sistemos (tirštiklio, rišiklio, pigmentų, priedų) pasekmė ir veikia kaip paviršiaus danga, ypač pigmentinio marginimo atveju. Labai geri atsparumai plovimui rodo vyraujančią kryžminę jungčių susidarymą tarp reagentų ir celiuliozės [56].

Visi audiniai po apdailų turėjo didesnę masę, mažesnę standumą ir mažesnę laidumą orui nei audiniai prieš apdailas. Pigmentiniais dažais marginto audinio charakteristikos ženkliai skyrėsi nuo tų, kurie nebuvo visai apdirbti arba buvo marginti kito tipo dažais. Visų apdirbtų audinių paviršius (išskyrus

pigmentiniu būdu marginto) tapo jautrus dilinimui. Išmatuotos svorio nuostolių vertės reiškia prastus dilinimo rezultatus. Tačiau atrodo, jog pigmentinis marginimas gali apsaugoti apdirbto audinio pluoštą, ypač nuo trinties [56].

W. Ibrahim ir kitų atliktame tyrime buvo naudojamas 100 % balintas medvilninis audinys, kurio svoris – 120 g/m². Ant medvilninio audinio buvo marginama pigmentiniais ir aktyviniais dažais. Buvo pastebėta, kad pigmentu ir aktyviniais dažais marginto audinio spalvų atsparumas skalbimui yra panašus į aktyviniais ir pigmentiniais dažais dažyto audinio spalvų atsparumą. Pastebėta, kad aktyviniais dažais marginto audinio atsparumas sausai trinčiai buvo geresnis nei marginant pigmentiniais dažais. Aktyviniai dažai pasižymėjo geru atsparumu sausoms medžiagoms, nes dažų molekulės prasiskverbė į pluošto šerdį ir kovalentiniu būdu susijungė su celiulioziniu polimeru, todėl nėra lengva ištrinti spalvą iš pluoštų. Šlapios trinties atveju pastebėta ta pati tendencija, kad pigmentu marginto audinio patvarumas buvo prastesnis [57].

Atlikus trūkimo jėgos tyrimą, nustatyta, kad pigmentais marginto audinio trūkimo jėga didėja didėjant atspalvio gylio koncentracijai. Taip yra dėl rišiklio koncentracijos padidėjimo, nes sumažėja slydimas tarp siūlų. Audinio trūkimo jėga beveik išliko tokia pati ir aktyviniais dažais marginto audinio [57].

Pastebėta, kad didėjant aktyvinių dažų koncentracijai, mažėja pumpuravimasis, tačiau pigmentiniu būdu marginto audinio pumpuravimosi įvertinimas buvo žymiai geresnis. Pigmentu margintas audinys pasižymi dideliu atsparumu pumpuravimuisi dėl papildomo sluoksnio, kuris susidaro su rišikliu ant pagrindo paviršiaus. Aktyviniu būdu spausdintų audinių laidumas orui buvo aukštas, palyginti su pigmentiniais dažais margintais audiniais, nes marginant pigmentu riškis suriša audinio paviršiaus pluoštus ir verpalai nejuda. Todėl sumažėjo audinio tarpuose esančios erdvės ar poros, dėl kurių sumažėjo laidumas orui [57].

M. Stančić ir kt. atliko trikotažo laidumo orui tyrimą. Tyrimo tikslais buvo sukurtas specialus bandomasis dizainas. Mėginiai buvo marginami naudojant dažų marginimo sistemą vienu, trimis ir penkiais padengimais, be tarpinio džiovinimo. Po marginimo audiniai buvo išdžiovinti ir užfiksuoti. Prieš atliekant laboratorinius matavimus, mėginiai 24 valandas buvo kondicionuojami standartinėmis sąlygomis (20 °C temperatūra ir 60 % santykinė oro drėgmė). Buvo pastebėta, kad marginto medvilninio trikotažo laidumas orui mažėja didėjant padengtų sluoksnių skaičiui [58].

1.4.4. Hidrofobinės dangos įtaka lininių audinių savybėms

Pagrindiniai reikalavimai skirti hidrofobiniams junginiams yra jų gebėjimas ant kiekvieno pluošto suformuoti ištisinę dangą ir gebėjimas užtikrinti hidrofobiškumo efekto stabilumą dėl cheminio ryšio su tekstilės medžiaga arba dėl jų netirpumo vandenyje. Vandens atstūmimo efektas sukuriamas tada, kai ant audinio paviršiaus sukuriama danga, kuri turi būti nepertraukiama. Dėl šio efekto audinio paviršius tampa lygesnis ir įgauna papildomą apsaugą nuo trinties. Danga atstumia drėgmę nuo audinio, o vidinė audinio struktūra lieka atvira, taip užtikrinamas oro judėjimas. Hidrofobinė danga neleidžia vandeniui kontaktuoti su audinio paviršiumi, dėl to audinys nei kiek nesudrėksta. Vanduo patekęs ant hidrofobinio paviršiaus, jungiasi į lašus, kurie tiesiog nurieda nuo jo, taip sukuriamas lotoso žiedo efektas. Po hidrofobinės apdailos audinys vis tiek gerai praleidžia orą. Dėl šios savybės atsparumas vandeniui yra ganėtinai ribotas, nes vidiniai audinio sluoksniai yra hidrofiliniai [59].

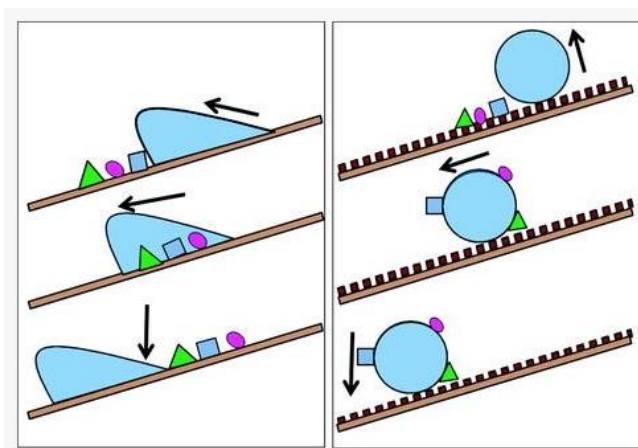
Šiandien bendrieji efektyvios apdailos (hidrofobinės ar kitų) reikalavimai apima minimalų pagalbinių medžiagų naudojimą, nuotekų ar dujų mažinimą bei ilgaamžiškumą. Nors drabužių ir namų tekstilės apdaila per savo gyvavimo ciklą daugiausia turi atlaikyti tam tikrą skalbimo / valymo procedūrų skaičių, techninė tekstilė privalo atlaikyti mechaninius krūvius: trintį, dideles tempimo jėgas, agresyvią cheminę aplinką ir aukštas temperatūras. Taigi, be hidrofobiškumo efekto, pagrindinis efektyvios apdailos bruožas yra jos sugebėjimas atlaikyti šiuos veiksnius. Iš įprastų (vandens pagrindo) fluorintų angliavandenių dangų yra žinoma, kad terminis apdorojimas gali sustiprinti apdailos poveikį [60].

Hidrofobinės savybės suteikiamos naudojant vandenį ir aliejų atstumiančius preparatus. Pagrindinės šio apdorojimo produktų grupės yra: metalo druskų parafino dispersija, polisiloksanai ir fluorintų angliavandenių polimerai. Cheminės apdailos metu substratų paviršius turi būti padengtas molekulėmis taip, kad jų hidrofobiniai radikalai būtų idealiai išdėstyti kuo lygiagrečiau, nukreipti į išorę. Metalų druskos parafino dispersijos (tokios kaip aliuminis) yra teigiamai įkraunami radikalai, dėl trivalentės aliuminio druskos, kuri ant pluošto paviršiaus sukuria polinį krūvį. Polisiloksani sudaro pluoštą apgaubiančią silikoninę plėvelę, kurios metilo grupės yra statmenos paviršiui. Apdailos hidrofobiškumui įtakos turi dangos susidarymas ir metilo grupių kryptis. Fluorangliavandeniai polimerai taip pat sudaro hidrofobinę dangą, kurioje fluorokarbonilo radikalai yra statmeni pluošto ašiai, o tai neleidžia drėkinti pluošto paviršiaus. Itin žemas fluorintų angliavandenių grandinės įtempimas visų cheminių junginių atžvilgiu lemia aukštas jo hidrofobines ir oleofobines savybes [61].

Fluorinti junginiai laikomi vienu iš idealiausių kandidatų generuoti hidrofobinius paviršius dėl mažo jų poliarizuotumo, atsirandančio dėl didelio fluoro elektroneigiamumo ir mažo šarmingumo. Tekstilė, atspari vandeniui, dažniausiai gaminama naudojant vandenį atstumiančias dangas, kurios padengiamos panardinant, purškiant arba chemiškai nusodinant garus, naudojant vandeniui atsparią porėtą membraną, tokią kaip politetrafluoretilenas (PTFE). Pagrindiniai vandenį atstumiančių dangų trūkumai yra jų prastas atsparumas trinčiai, plovimo procesai, teršalai (alyvos, dūmų ar dulkių dalelės) ir UV spinduliavimas, dėl kurio laikui bėgant sumažėja vandens atsparumas [62].

Ali ir kt. atliktame tyrime buvo atliktas džiuoto audinio dengimas hidrofobine danga naudojant fluorintus angliavandenius, angliavandenilius ir hibridinius fluorintus angliavandenius. Šios cheminės medžiagos turi mažesnę paviršiaus laisvąją energiją. Kuo mažesnė medžiagos laisvoji energija, tuo mažesnė drėgmės sugertis. Hidrofobine danga dengtas audinys taip pat pasižymėjo geresnėmis mechaninėmis savybėmis (trūkimo jėga ir atsparumu lenkimui). Džiuoto pluoštai apdoroti hibridiniu būdu pasižymėjo geresnėmis savybėmis, palyginti su kitomis dviem cheminėmis medžiagomis (fluorangliavandeniais ir angliavandeniliais) [63].

Savaime valomus tekstilės pagrindus galima sukurti dviem būdais: superhidrofobine danga ir hidrofobine apdaila / danga. Abiem būdais danga padeda apsivalyti veikiant vandeniui. Pirmuoju atveju vandens lašeliai nurieda ant paviršiaus ir perneša dulkių / purvo daleles, o antruoju atveju aktyvioji sumanioji medžiaga skaido sugertą spalvų užterštumą esant saulės šviesai (šis procesas yra žinomas kaip fotokatalizė) (5 pav.) [64].



5 pav. Purvo ir dulkių pašalinimas nuo lygaus hidrofobinio ir šiurkštaus superhidrofobinio paviršiaus [64]

Dažnai atliekami superhidrofobinio ar lotoso poveikio tekstiliniams pagrindams tyrimai, siekiant sukurti elegantišką drabužių tekstilę, apsaugoti jos vartotoją nuo nepageidaujamo drėkinimo, dėmių ar cheminio užteršimo, kai liečiasi su lietaus vandeniu, maistu, gėrimais, cheminėmis medžiagomis ir pesticidais. Ši tekstilės rūšis neleidžia skysčio lašeliams absorbuotis audinyje, leidžiant jiems tiesiog nuriudėti, paliekant nesušlapusią pagrindinę medžiagą. Kai vandens kontakto kampas (CA) hidrofobiniame substrate tampa didesnis nei 150° , o vandens riedėjimo kampas yra $<10^\circ$, paviršius vadinamas superhidrofobiniu paviršiumi. Norint sukurti tokį paviršius, reikia dviejų pagrindinių savybių, tokių kaip paviršiaus šiurkštumas ir hidrofobinė cheminė medžiaga, derinio. Skirtingai nuo lygaus paviršiaus, dulkių dalelės prilimpa prie vandens lašelio ir galiausiai yra pašalinamos nuriudėjęs nuo grubaus superhidrofobinio paviršiaus [64].

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Linų pluoštas yra plačiai naudojama tekstilinė žaliava, kurios pritaikymas neapsiriboja namų tekstilės produktais ar drabužiais. Dėl savo kristalinės struktūros linų pluoštas pasižymi stipriomis mechaninėmis savybėmis, todėl jį galima naudoti ir armuojant techninius pluoštus.

Veikiant audinius apdailoje įvairiais cheminiais ir mechaniniais procesais išgaunama geresnė medžiagų išvaizda. Vienos iš svarbiausių vartojamųjų savybių yra atsparumas dilinimui ir pumpuravimuisi, laidumas orui. Šios charakteristikos atskleidžia audinio ilgą amžį, patogumą dėvint. Įvairios apdailos skirtingai paveikia šias charakteristikas. Nustatyta, kad įvairūs apdirbimai sumažina audinio laidumą orui dėl padidėjusios siūlų sanglaudos lyginant su žaliu audiniu ir atsparumą pumpuravimuisi, tačiau pagerina audinių atsparumą dilinimui.

Audinių balinimas, dažymas, įvairių dangų padengimas, skaitmeninis marginimas įvairiais dažais susideda iš skirtingų apdailos etapų, o audinys yra veikiamas skirtingomis cheminėmis medžiagomis, kurios suteikia ne tik skirtingą audinio išvaizdą, bet ir skirtingas mechanines bei vartojamąsias savybes. Audinių skaitmeninis marginimas yra populiarus apdaila, leidžianti marginti ant audinių skaitmeniniu būdu ir neatsilikti nuo madų keičiant norimus raštus. Be to, tokiems audiniams suteikiamos geresnės patvarumo savybės. Dažniausiai naudojami pigmentiniai ir aktyviniai dažai, kurie skiriasi savo proceso etapais. Audinys tiek prieš dažymą, tiek prieš marginimą turi būti gerai paruoštas, kad vyktų geras dažų įsiskverbimas, gautųsi norimos spalvos. Hidrofobinė danga taip pat

tampa vis populiarsnė rūbų ir namų tekstilėje, dėl savo savybės atstumti vandenį, taip apsaugant produktą nuo nešvarumų, dulkių ir nepageidaujamos drėgmės.

Nors literatūroje galima rasti nemažai informacijos apie lininių audinių mechanines ir vartojamąsias savybes bei tam tikrų apdailų įtaką joms, tačiau nėra atlikta daug tyrimų, kurie palygintų šių savybių priklausomybę nuo įvairių apdailų, ypač skaitmeninio marginimo, tiek pigmentiniais, tiek aktyviniais dažais, gaminant lininius audinius iš grynujų lininių verpalų.

2. Tyrimo objektas ir metodika

2.1. Tyrimo objektas

Tyrimo metu analizuojami 100 % natūralaus linų pluošto audiniai, kuriems buvo suteiktos skirtingos apdailos, naudojant įvairias chemines medžiagas. Tyrimo metu naudoti audiniai išausti A. R. Baumilų TŪB „Klasikinė tekstilė“ įmonėje, kurioje jiems ir suteiktos įvairios apdailos. Tirtų drobinio pynimo lininių audinių paviršinis tankis prieš apdailas lygus 151,7 g/m², žalio audinio plotis – 163 cm. Audiniai išausti iešminėmis *Itama R9500* (Italija) staklėmis. Ataudams ir metmenims pasirinkti 38 tex ilginio tankio lininiai verpalai.

1 lentelėje pateiktas tyrimo metu naudotų bandinių žymėjimas, procesų kiekis gamyboje, atlikta apdaila, paviršinis tankis bei audinio tankumas metmenų ir ataudų kryptimis.

1 lentelė. Tyrimo metu naudoti bandiniai

Bandinio kodas	Procesų kiekis apdailoje	Atlikta apdaila	Paviršinis tankis, g/m ²	Metmenų tankumas, dm ⁻¹	Ataudų tankumas, dm ⁻¹
L0	0	Be apdailos (Žalias audinys)	151,7	200	180
L1	4	Balinimas (peroksidinis, šaltas balinimas)	162	210	185
L2	4	Balinimas (optinis, karštas balinimas)	166	225	190
L3	8	Dažymas (aktyviais dažais, dažymas šaltai)	162,5	215	180
L4	11	Skaitmeninis marginimas (aktyviais dažais)	159,8	215	180
L5	9	Skaitmeninis marginimas (pigmentiniais dažais)	163,2	220	180
L6	9	Hidrofobinės dangos padengimas įmirkant	162,5	210	185

Atliktos apdailos atitinka masinės produkcijos režimus ir standartus, nes šių bandinių apdailos atliktos juos prijungiant prie masinės produkcijos. Nustatyti vartojamųjų savybių rezultatai atitiks ir masinėje produkcijoje pagamintų audinių rezultatus.

2.2. Tyrimų metodika

2.2.1. Komplektavimas

Žalias audinys gautas iš audimo padalinio yra sugrupuojamas į atskiras partijas, o partijos yra sujungiamos tarpusavyje. Pirminis atrinkimas atliekamas žalių audinių sandėlyje, audiniai atrenkami pagal žaliavas, pavadinimą. Surinkta partija gali būti sudaryta nuo 1 iki 13 gabalų, kurie privalo būti sujungti tarpusavyje. Tai atliekama su *MT* (Italija) komplektavimo mašina. Ši mašina išvynioja ir

išklosto audinio gabalus į parinktą transportavimo vežimą, taip pat automatiškai susiuva gabalus tarpusavyje, vyniojimo greitis siekia 25 m/min.

2.2.2. Šaltas balinimas

Šaltas balinimas atliekamas *Corino* (Italija) įmirkymo pliusuotėje su vyniojimo ant veleno funkcija. Iškomplektuotas audinys pastatomas prieš pliusuotę ir sujungiamas su palydoviniu audiniu. Paruošiama balinimo receptūra, cheminės medžiagos pagal išrašytą receptūrą yra supilamos į paruošimo indą, maišomos, ir dozuojamos į pliusuotės vonelę, kuri automatiškai pildosi, kai mažėja tirpalo kiekis. Velenų nuspaudimas yra 4 barai, audinys po pliusuotės vyniojamas ant veleno, kuris vėliau statomas į sukimosi stotelę, ten išlaikomas ne mažiau nei 16 h, kol yra paimamas plauti. Šalto balinimo receptūrą sudaro šie reagentai: kaustinė soda, peroksidas, vilgiklis, priešlūžinis agentas. Įmirkymo greitis 15 m/min.

2.2.3. Plovimas po balinimo

Plovimas po balinimo atliekamas *BTM* (Vokietija) plovimo linijoje, šią liniją sudaro 4 plovimo vonios, sujungtos tarpusavyje. Pirmose trijose voniose vanduo teka iš trečios vonios, kuri yra aukščiau nei antra ir pirma vonios, šis nuolydis išlaikomas iki pirmos vonios, taip tiekiamas vanduo su muilu skalauja audinį. Ketvirta vonia yra paskutinė, joje tiekiamas vanduo yra rūgštinamas citrinos rūgštimi. Balinimo procesas vyksta šarminėje terpėje, todėl reikia neutralizuoti audinio pH. Visas procesas vyksta nuo veleno ant veleno. Jei audinys po plovimo nėra iškart džiovinimas, privaloma šį veleną pastatyti į sukimosi stotelę.

2.2.4. Džiovinimas (PFD)

Džiovinimas atliekamas *Unitech* (Italija) džiovinimo mašinoje, kurią sudaro pliusuotė, ataudų tiesinimo įrenginys, valdymo lieptelis ir 4 džiovinimo kameros. Po šalto balinimo audinys yra prijungiamas prie palydovinio audinio ir pradedamas džiovinimo procesas. Pliusuotėje yra nuspaudžiamas perteklinis vandens kiekis (nuspaudimas 4 barai), audinio ataudų tiesumą reguliuoja ataudų tiesinimo įrenginys ir valdantysis operatorius, džiovinimo greitis gali siekti 20 m/min, kadangi džiovinimas audinys bus naudojamas tolimesniuose procesuose, paskuba lygi 0 %. Temperatūra džiovinimo kameroje – 130 °C. Džiovinamas audinys yra išklostomas į transportavimo vežimą.

2.2.5. Audinių paruošimas šaltam dažymui

Audiniai, kurie atitinka PFD statusą, gali būti naudojami tolimesniems procesams. Paruošimas dažymui vyksta audinį susukant ant veleno. PFD audinys turi būti sujungtas su palydoviniu audiniu. Vyniojimas ant veleno vyksta *Wollwerend* (Vokietija) įrengimu, vyniojimo greitis siekia 30 m/min.

2.2.6. Šaltas dažymas

Dažymas atliekamas šalto dažymo pliusuotėje *Feyen* (Vokietija), dažymo greitis siekia 40 m/min. Šis procesas yra ganėtinai greitas, tačiau užtrunka pasiruošimas pačiam dažymui. Dažymui reikia paruošti dažų ir cheminių medžiagų tirpalą. Dažymas vyksta aktyviais dažais, prieš pradedant dažyti dažų tirpalas yra išbandomas laboratorijoje, jei spalva atitinka etaloną, dažymas leidžiamas, jei ne, reikalinga dažų tirpalo korekcija. Į įrengimo dažymo vonelę yra sudozuojamas dažų tirpalas, cheminės medžiagos. Nudažytas audinys yra sukamas ant veleno ir po dažymo supakuojamas.

Velenas privalo sukintis, laikomas 20 °C laipsnių temperatūroje nuo 16 iki 24 valandų, priklausomai nuo dažomos spalvos.

2.2.7. Audinių plovimas po šalto dažymo

Plovimas po šalto dažymo atliekamas *MCS* (Italija) įrengime. Šį įrengimą sudaro 4 plovimo vonios, kurias dalina vidinės pertvaros, taip išgaunamas 8 plovimų vonių efektas. Plovimas vyksta nuo veleno ant veleno. Plovimo greitis gali būti nuo 10 m/min iki 35 m/min, atitinkamai pagal plovimo režimą. Į plovimo liniją dozuojamas ploviklis ir rūgštinis buferis, kurio dėka pasiekiamas tinkamas audinio pH.

2.2.8. Audinių džiovinimas

Audinių džiovinimas po plovimo vykdomas *Unitech* (Italija) džiovinimo mašinoje. Džiovinimo greitis – 15–20 m/min. Paskuba nuo 6 iki 10 %. Paskuba reikalinga tam, kad pagerinti audinio sanglaudą, taip pagerinami audinių susitraukimo skalbiant rezultatai.

2.2.9. Audinių įmirkymas su hidrofobinį efektą suteikiančiomis medžiagomis

Audinio įmirkymas su specialiomis cheminėmis medžiagomis, kurios suteikia hidrofobines savybes, atliekamas *Unitech* (Italija) džiovinimo mašinos pliusuotėje, kur audinys iškart išdžiovinamas. Naudojami C-6 fluoro angliavandenių polimerai. Pliusuotėje naudojamas 4 barų nuspaudimas, džiovinama 15 m/min greičiu, paskuba – 6 %. Temperatūra džiovinimo kameroje yra 120 °C. Audinys turi gerai išdžiūti prieš sekantį fiksavimo etapą.

2.2.10. Audinių, įmirkytų su hidrofobinį efektą suteikiančiomis medžiagomis, fiksavimas

Įmirkytas audinys su hidrofobinį efektą suteikiančiomis medžiagomis privalo būti užfiksuotas karštu oru, tai atliekama *Unitech* (Italija) džiovinimo įrengime. Svarbu persiverti įrengimą taip, kad būtų apeinama pliusuotė, nes šiame etape ji nereikalinga, sausas audinys turi patekti į džiovinimo kameras, kur vyksta fiksavimo procesas. Šio proceso metu paskuba lygi 0 %, greitis siekia 10 m/min. Temperatūra džiovinimo kameroje – 160 °C. Fiksavimas vyksta džiovinimo kameroje, greitis – 10 m/min.

2.2.11. Audinių paruošimas aktyviniam marginimui

Audinių įmirkymas cheminėmis medžiagomis, skirtomis aktyviais dažais margintiems audiniams, vyksta *Unitech* (Italija) džiovinimo įrengimo pliusuotėje. Pliusuotės nuspaudimas yra 4 barai, džiovinimo greitis 15 m/min, paskuba 0 %. Džiovinimo kamerų temperatūra 140 °C. Dėl mišinyje esančio karbamido svarbu neperkaitinti džiovinamo audinio, nes aukštoje temperatūroje karbamidas skyla ir kaip indikatorius matomas stipriai pageltęs audinys. Paruošimas skaitmeniniam marginimui yra labai svarbus, reikia lygiai suvynioti rietimus. Tai atliekama kokybės kontrolės – rūšiavimo mašinomis *MT* (Italija). Šie įrengimai turi lazerinę sistemą, kuri geba itin lygiai susukti rietimus. Rietimai privalo būti gerai izoliuoti nuo UV spinduliuotės ir sąlyčio su oru. Dėl to, jie supakuojami į juodą plėvelę. Taip supakuoti audiniai gali išbūti iki 6 mėnesių, kitu atveju, ilgai netinkamai sandėliuotų įmirkytų audinių spaudos kokybė gali ženkliai suprastėti.

2.2.12. Skaitmeninis marginimas aktyviniais dažais

Marginimas atliekamas DOD pjezoelektriniu būdu. Naudotas *MTEX 500 C* (Portugalija) spausdintuvas. Dizaino spalvos atitinka CMYK spalvų gamą. Parinktas dizainas perkeliamas į ERGO Soft programą, kurioje parenkamas audinio plotis, norimo dizaino kiekis ir pradedamas marginimas. Labai svarbu teisingai ir reguliariai valyti spausdintuvo galvą, per kurią išpurškiami dažai, kadangi marginimo procesas vyksta ant natūralaus pluošto, spausdintuvo galva dažnai pasidengia pūkais, tose vietose susidaro dažų lašeliai, kurie nukrenta ant audinio paviršiaus ir sudaro defektą. Marginimas vyksta nuo rietimo veleno ant veleno. Marginimo greitis yra apie 18–20 metrų per valandą. Po marginimo rietimas taip pat apšukamas juoda plėvele, iki fiksavimo audinį reikia saugoti nuo tiesioginių UV spindulių.

2.2.13. Audinių, margintų aktyviniais dažais, fiksavimas sočiu garu

Aktyviniais dažais marginto audinio fiksavimas sočiu garu vykdomas *MTEX Steamer* (Portugalija) brandinimo mašinoje. Brandinimo įrenginio viduje sudaromos audinio klostės, geroji audinio pusė niekur nesiliečia, tai labai svarbu, kol dizainas nėra užfiksuotas, nes galima lengvai jį pažeisti ir sugadinti. Prieš pradėdant fiksavimą, brandinimo mašinoje pasiekama 102 °C temperatūra, drėgmė viduje pagal įrengimo parametrus siekia 98 %. Tuomet galima pradėti leisti įvadinį audinį, surenkantį vandenį, kuris susikondensuoja brandinimo įrenginio kaitimo proceso eigoje. Brandinimas vyksta nuo veleno audinį išklostant į transportavimo vežimą. Brandinimo greitis – 3,3 m/min. Svarbu stebėti temperatūros ir drėgmės parametrus. Perkaitinus brandinimo mašiną, suprastės fiksavimas ir audinio spalva.

2.2.14. Audinių plovimas po fiksavimo

Po fiksavimo sočiu garu audinys privalo būti išplautas. Plovimas atliekamas *MCS* (Italija) plovimo linijoje. Čia nuplaunamas perteklinis dažas ir kitos medžiagos. Labai svarbu po plovimo iškart džiovinti margintus audinius, kadangi plovimas vyksta ant veleno, ilgai susuktas išplautas margintas audinys gali palikti žymes ant zonų, kurios nepadengtos dažais. Plovimo greitis 15 m/min.

2.2.15. Audinių džiovinimas (aktyvinis marginimas)

Aktyviniais dažais margintų audinių džiovinimas po plovimo vykdomas *Unitech* (Italija) džiovinimo mašinoje. Džiovinama 15 m/min greičiu, paskuba nuo 6 % iki 10 %, pliusuotės nuspaudimas – 4 barai. Džiovinamas audinys suklostomas į transportavimo vežimą.

2.2.16. Audinių paruošimas pigmentiniam marginimui

Prieš pradėdant marginti pigmentiniais dažais, taip pat svarbu lygiai suvynioti rietimus. Tai atliekama su kokybės kontrolę atliekančiais *MT* (Italija) įrenginiais. Papildomai apsaugoti audinio nereikia.

2.2.17. Audinių pigmentinis marginimas

Pigmentiniais dažais marginama su *Mimaki MT 500C* (Japonija) spausdintuvu. Naudojamas DOD pjezoelektrinis marginimo metodas. Marginama nuo rietimo ant veleno. Nors pigmentinis dažas ir skiriasi nuo aktyvinio, marginimo principas ir valymo sistema išlieka ta pati. Dėl darbo

suderinamumo naudojama „ERGO Soft“ operacinė programa. Skaitmeninio marginimo greitis 6 metrai per valandą.

2.2.18. Audinių, margintų pigmentiniais dažais, fiksavimas karštu oru

Skirtingai nei marginime aktyviniais dažais, pigmentas yra fiksuojamas karštu oru. Fiksavimas atliekamas *Unitech* (Italija) džiovinimo įrenginyje. Jame įvadinis audinys privalo būti pervertas taip, kad būtų išvengiama pliusuotės. Fiksavimo temperatūra turi siekti 150 °C laipsnių.

2.2.19. Karštas balinimas

Šiam procesui, kaip ir šaltam balinimui, turi būti suruošiama partija. Balinimas atliekamas *Thies* (Vokietija) gniūžtės įrengime. Procesas yra periodinis, įrengimas užkraunamas viena partija. Šio proceso metu audinys yra plaunamas, išskalaujamas, dažomas (optiniu balikliu), vėl plaunamas ir keletą kartų skalaujamas tekančiu vandeniu. Balinimo metu įrengime pasiekiami 98 °C temperatūra. Audinys įrengime juda sujungtas į begalinę juostą. Šio procesu metu pluoštas yra stipriai veikiamas tiek mechaniškai, tiek chemiškai. Visas balinimo procesas užtranka iki 4 valandų.

2.2.20. Gniūžtės skleidimas

Po karšto balinimo audinys yra perskiriamas iš begalinės juostos ir iškraunamas į transportavimo kubilus. Šiam procesui atlikti naudojamas dviejų gamintojų *Bianco* (Italija) ir *MCS* (Italija) įrengimų tandemas. *Bianco* įrengimas sudarytas iš aukšto rėmo, sukimo galvos, skleidimo velenų, ir varančiųjų velenų. Šioje dalyje audinys pilnai išskleidžiamas iš gniūžtės pavidalo į tiesų būvį. *MCS* įrengimą sudaro vonelė su eile purkštukų, vakuumo sistema ir klostymo mašina. Čia iš *Bianco* audinys iškart patenka į vonelę, kurioje yra dar papildomai nuplaunamas nuo pūkų pertekliaus ir iš jo vakuumo dėka nutraukiamas perteklinis vandens kiekis.

2.2.21. Džiovinimas po gniūžtės skleidimo

Karštai balintų audinių džiovinimas vykdomas *Unitech* (Italija) džiovinimo mašinoje. Džiovinama 20 m/min greičiu, paskuba nuo 6 % iki 10 %, pliusuotės nuspaudimas 4 barai.

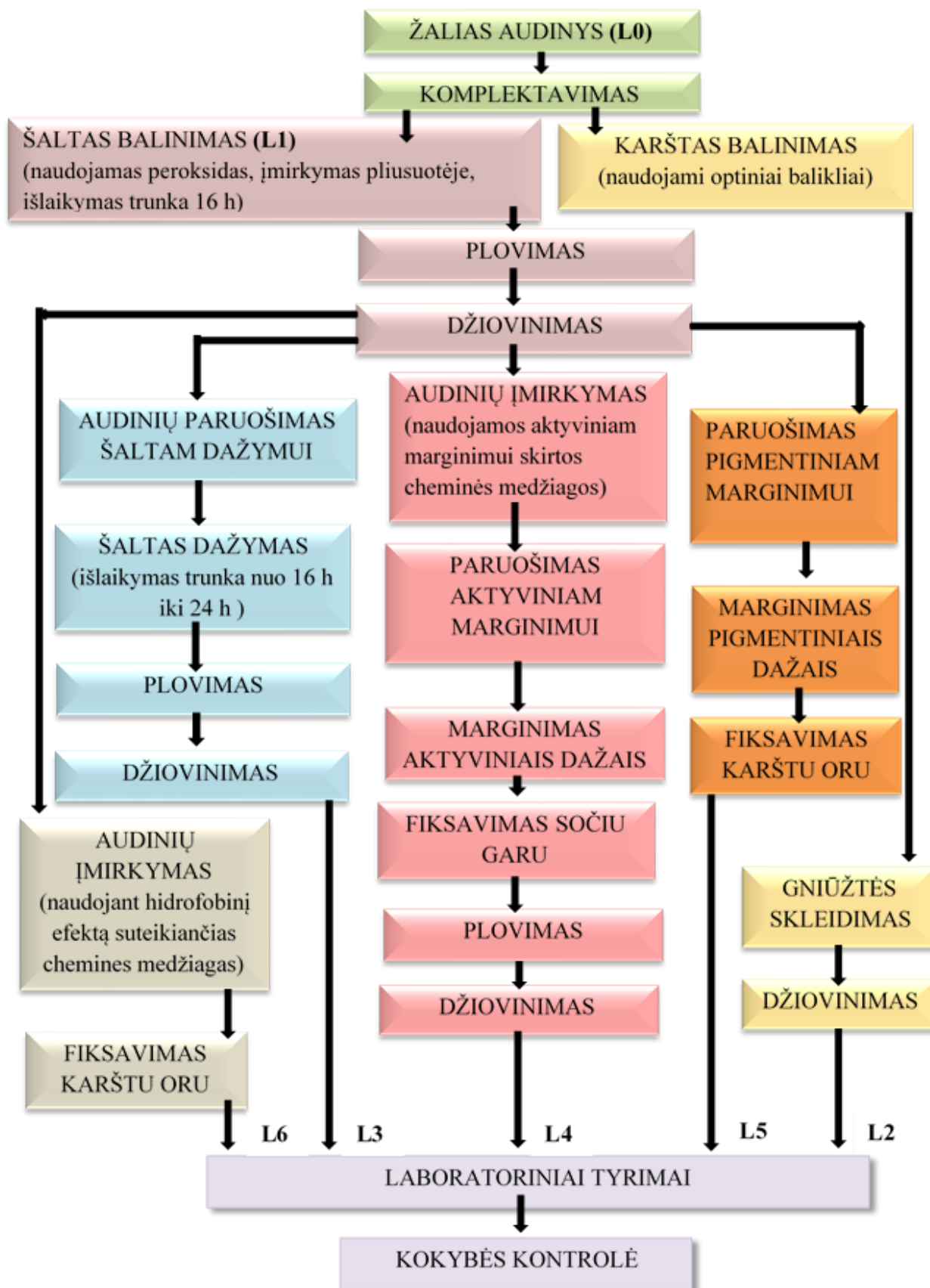
2.2.22. Laboratoriniai tyrimai

Po kiekvienos galutinės apdailos audiniai privalo būti patikrinti. Laboratorijoje nustatomos šios audinių vartojamosios savybės: spalvos atsparumas sausai ir šlapiai trinčiais, spalvos atsparumas skalbimui, prakaitui. Nustatoma audinio pH vertė, įvertinami audinio susitraukimai. Jei šiame etape audiniai vertinami tinkamai, juos leidžiama rūšiuoti, atliekama kokybės kontrolė.

2.2.23. Kokybės kontrolė

Atliekant kokybės kontrolę naudojami *MT* (Italija) rūšiavimo įrengimai. Šių įrengimų privalumas yra automatinis rietimo vyniojimas pasitelkiant lazerį, kurio dėka rietimo kraštas susukamas labai lygiai. Sukamo rietimo greitis gali būti nuo 1 iki 60 m/min. Šiame etape įvertinamas bendras audinio vaizdas, spalvos lygumas, ieškoma ar nėra mechaninių pažeidimų. Taip pat šiame etape audinių rietimai yra supakuojami ir paruošiami tolimesniam transportavimui.

2.2.24. Tiriamų audinių apdailos technologinės eigos



6 pav. Apdailų technologinių eigų schema

2.2.25. Kondicinės sąlygos

Prieš atliekant tyrimą ir su juo susijusius bandymus, tiriamieji bandiniai buvo kondicionuojami standartinėmis sąlygomis bent 24 valandas. Standartinės sąlygos: oro temperatūra yra 20 ± 2 °C, o santykinis drėgnis – 65 ± 4 %. Kondicionavimas atliekamas pagal LST EN ISO 139: 2005 / A1: 2011 „Tekstilinės medžiagos“ standartą [65].

2.2.26. Audinių trūkimo jėgos ir ištisos nustatymas

Žalio audinio ir audinių po apdailos trūkimo jėga ir trūkimo ištisa buvo nustatytos universalios tempimo mašina *Zwick Z005* (Šveicarija), remiantis standartu ISO 13934-1:1999 „Tekstilės medžiagų tempimo savybės. 1 dalis.“ [66]. Iš kiekvieno tirto audinio buvo iškirptos 7 juostelės metmenų kryptimi, kurių plotis – 60 mm. Bandinys visu plokščiū įtvirtinamas į tempimo mašinos spaustuvas, kur vienas spaustuvas stacionarus, o kitas bandymo metu juda pastoviu greičiu iki bandinio nutrūkimo. Naudotas bandinių darbinis ilgis – 200 ± 1 mm. Šio bandymo metu buvo nustatyta trūkimo jėga ir trūkimo ištisa. Buvo apskaičiuotas aritmetinis vidurkis, vidutinė kvadratinė nuokrypa ir variacijos koeficientas.

2.2.27. Audinių atsparumo dilinimui nustatymas

Audinių atsparumas dilinimui (AD) ir masės nuostolis (AD_m) buvo atlikti remiantis LST EN ISO 12947-2: 2001 [67] ir LST EN ISO 12947-3: 2001 [68] standartais. Atsparumo dilinimui bandymai buvo atlikti Martindale'o dilinimo mašinoje *MESDAN-LAB, Code 2561E (SDL AT-LAS, Anglija)*. Apskriti (pagal trafaretą) 3 bandiniai buvo iškirpti iš kiekvieno tiriamo audinio ir pritvirtinti su laikikliu. Dilinant bandinius buvo nustatyta 9 kPa apkrova. Patvarumo riba N dilinimo ciklais nustatoma jam užsibaigus, kai nutrūksta 2 siūlai. Iš pradžių bandiniai buvo išimami iš Martindale'o dilinimo mašinos kas 1000 sūkių. Nustačius, kad bandiniai atlaiko nesuire 5000 sūkių, mašina buvo sustabdoma kas 2000 sūkių. Po kiekvieno stabdymo bandiniai buvo pasveriami elektroninėmis svarstyklėmis *KERN EW 150-3M*, svėrimo tikslumas – 0,001 g. Masės nuostoliai apskaičiuojami pagal formulę:

$$AD_m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (1)$$

Čia m_1 – pradinė bandinio masė, g; m_2 – bandinio masė po tam tikro ciklų skaičiaus, g.

2.2.28. Audinių atsparumo pumpuravimuisi nustatymas

Bandinių pumpuravimasis įvertintas, remiantis standartu ISO 12945-2:2000 „Tekstilės medžiagų polinkio pūkuotis ir pumpuruotis nustatymas. 2 dalis. Modifikuotas Martindale'o metodas“ [69]. Iškirpti specialios formos ir dydžio bandiniai, sudedami į Martindale'o įrengimą ir, veikiant nustatytai jėgai, sukami pagal parinktą sūkių skaičių. Aparatui atlikus nustatytą sūkių skaičių, bandiniai nuimami, įvertinami bent trijų ekspertų pagal 2 lentelės kriterijus ir, jeigu reikia, bandymas vėl kartojamas didinant sūkių skaičių.

2 lentelė. Pumpuravimosi apžiūrimasis vertinimas [70]

Laipsnis	Aprašymas
5	Nepakito
4	Nežymus pūkavimasis paviršiuje ir (arba) iš dalies susiformavę pumpurėliai.
3	Vidutinis pūkavimasis paviršiuje ir (arba) vidutinis pumpuravimasis. Įvairaus dydžio ir tankumo pumpurėliai iš dalies dengia bandinio paviršių.
2	Ryškus pūkavimasis paviršiuje ir (arba) ryškus pumpuravimasis. Įvairaus dydžio ir tankumo pumpurėliai dengia didelę bandinio paviršiaus dalį.
1	Ypač ryškus pūkavimasis paviršiuje ir (arba) ypač ryškus pumpuravimasis. Įvairaus dydžio ir tankumo pumpurėliai dengia visą bandinio paviršių.

2.2.29. Audinių laidumo orui tyrimo metodika

Bandinių laidumo orui nustatymas atliktas remiantis LST EN ISO 9237:1997 standartu, nurodančiu plokščių tekstilės medžiagų laidumo orui matavimo būdą [70]. Bandymo metu matuojamas oro srautas, kuris prasiskverbia per 5 cm² medžiagos plotą esant 200 Pa slėgių skirtumui. Tyrimai atlikti LI4DR (Karl Schroder KG D-69450 Weinheim, Vokietija) laidumo orui matavimo prietaisu. Laidumas orui R, dm³/(m²s) apskaičiuotas pagal 1 formulę:

$$R = \frac{q_v}{A} \times 167 \quad (2)$$

čia R – laidumas orui, dm³/(m²s); q_v – oro srauto debitas, dm³/min; A – bandinio plotas, cm²; 167 – vienetų perskaičiavimo koeficientas.

Kiekvienas bandinys buvo testuojamas po penkis kartus, vengiant medžiagos kraštų. Audinys buvo dedamas išorine puse į viršų.



7 pav. Laidumo orui matavimo prietaisas

2.2.30. Audinių spalvos atsparumo skalbimui ir prakaitui nustatymas

Audinių spalvos ir prakaito atsparumai atlikti remiantis LST EN ISO 105–C06 standartu [71]. Tyrimas atliktas *Washtec Roaches* (Anglija) įrengime.

Nustatymo metu paruošiami tiriamieji bandiniai, jie privalo kontaktuoti visu savo paviršiumi su nedažytu mišriapluoščiu audiniu 702-421.

Spalvos atsparumas tiriamas su standartiniu muilo tirpalu 706-749 (be optinio baliklio). Spalvos atsparumas prakaitui tiriamas naudojant 1 g/l natrio perborato tetrahidrato tirpalą.

2.2.31. Audinių spalvos atsparumo šlapiai, sausai trinčiai nustatymas

Audinių spalvos atsparumas šlapiai ir sausai trinčiai atliktas pagal LST EN ISO 105-X12:2016 standartą [72]. Tekstilinių medžiagų bandiniai trinami sausu ir šlapiau trinamuoju nedažytu mišriapluoščiu audiniu 702-421. Bandytas atliekamas su *Roaches* (Anglija) krokmetru. Bandinys yra spaudžiamas $9\text{ kN} \pm 0,2\text{ kN}$ jėga. Prispautas audinys juda pirmyn ir atgal 10 kartų. Po bandymo, mišriapluoštis audinys 702-421 yra vertinamas pagal pilkąją nusidažymo skalę, esant tinkamam apšvietimui.



8 pav. Pilkoji nusidažymo skalė

2.2.32. Audinių pH verčių nustatymas

Audinių pH verčių nustatymui laboratorijoje naudojamas LST ISO 3071:2020 standartas [73]. Šiam pH nustatymo metodui atlikti reikalingos priemonės:

- preciziškos svarstyklės
- distiliuotas vanduo
- pH metras
- laboratoriniai matavimo ir tūriniai indai.

Pasveriamas 2 g bandyminio audinio, kuris turi būti labai smulkiai sukarpomas ir sudedamas į 150 ml ir didesnio tūrio indą. Smulkinti bandinį būtina, nes taip padidinamas kontaktinis paviršius. Stiklinėje esantis bandinys užpilamas 100 ml distiliuotu vandeniu, kurio pH turi būti 7. pH vertės nustatymo metu, užpiltas turinys turi būti periodiškai pamaišomas ir išlaikomas tirpale 60 minučių. Po išlaikymo tirpalas atskiriamas nuo susmulkinto audinio ir paruošiamas pH matavimui su pH metru.

- Jei pH vertė yra mažesnė nei 7, tirpalas yra rūgštinis.
- Jei pH vertė =7, tirpalas yra neutralus.
- Jei pH vertė yra didesnė nei 7, tirpalas yra šarminis.

2.2.33. Statistinių rodiklių nustatymo metodika

Statistinių rodiklių skaičiavimui buvo naudotos šios formulės [74]:

Pirmiausia skaičiuojamas aritmetinis vidurkis \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Čia n – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

Apskaičiuojama vidutinė kvadratinė nuokrypa S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i0} - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Čia $n-1$ – vadinamasis laisvės laipsnių skaičius.

Apskaičiuojama dispersija S^2 :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (5)$$

Apskaičiuojamas variacijos koeficientas, V :

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (6)$$

Apskaičiuojama absoliutinė atsitiktinė paklaida Δa :

$$\Delta a = \frac{t_\alpha \times S}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Čia t_α – Stjudento kriterijus.

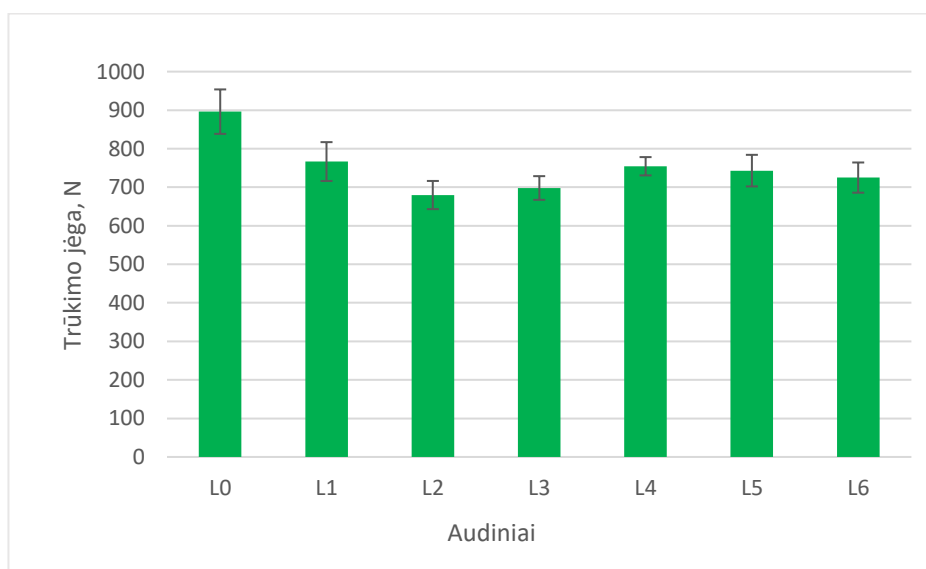
3. Tyrimo rezultatai

3.1. Apdailos įtakos lininių audinių trūkimo jėgai ir trūkimo ištiesai tyrimas

Lininių audinių trūkimo jėgos ir ištiesos nustatymas atliktas bandant 6 skirtingomis apdailomis paveiktus audinius. Iš kiekvieno audinio buvo iškirpti ir ištirti 7 bandiniai, iš viso – 42 bandiniai. Trūkimo jėgos ir trūkimo ištiesos tyrimo rezultatai pateikti 3 lentelėje bei 9 ir 10 paveiksluose. Atlikus tyrimą ir apdorojus rezultatus, įvertintas ir šio tyrimo patikimumas, apskaičiuojant aritmetinį vidurkį, rezultatų vidutinę nuokrypą S ir variacijos koeficientą V . Jei variacijos koeficiento vertė yra mažesnė nei 5 %, rezultatų sklaida yra labai maža, jei nuo 5 iki 10 % – gana maža, nuo 10 iki 15 % – vidutinė, o jei viršija 15 % – didelė. Iš gautų rezultatų ir apskaičiuoto variacijos koeficiento matoma maža rezultatų sklaida (didžiausia variacijos koeficiento vertė, tiek trūkimo jėgos, tiek trūkimo ištiesos nesiekia daugiau nei 7,10 %).

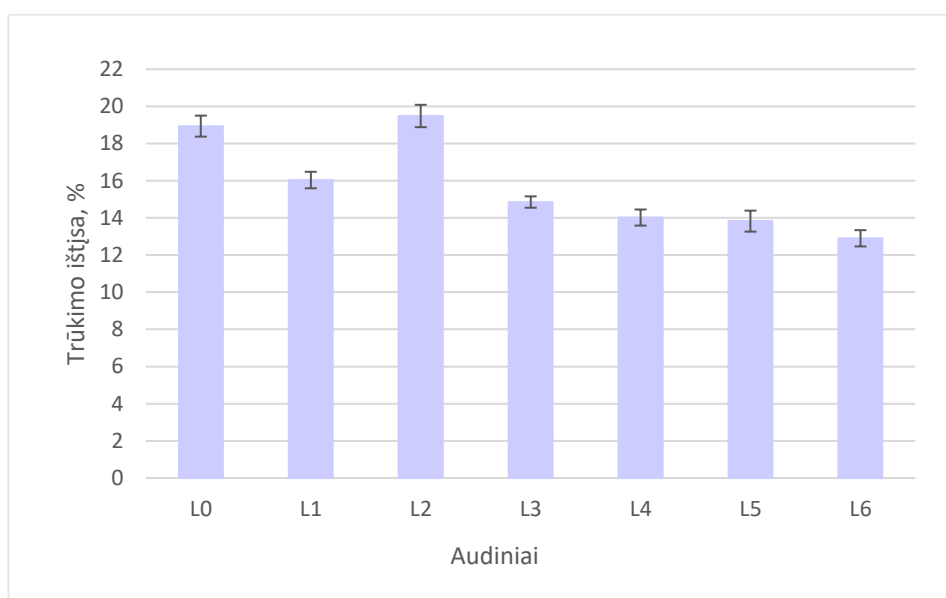
3 lentelė. Audinių trūkimo jėgos ir ištiesos tyrimo rezultatai ir statistiniai rodikliai

Bandinio kodas	Trūkimo jėga (F_{tr})			Trūkimo ištiesa (ϵ_{tr})		
	\bar{x} , N	S , N	V , %	\bar{x} , %	S , %	V , %
L0	896,14	62,29	6,95	18,94	0,61	3,22
L1	766,61	54,42	7,10	16,04	0,48	2,97
L2	679,74	39,47	5,81	19,48	0,65	3,35
L3	698,00	33,22	4,76	14,85	0,33	2,22
L4	754,44	25,65	3,40	14,02	0,47	3,34
L5	743,06	44,28	5,96	13,83	0,61	4,41
L6	725,00	42,30	5,83	12,90	0,47	3,67



9 pav. Lininių audinių trūkimo jėga

Iš 3 lentelėje bei 9 ir 10 paveiksluose pateiktų lininių audinių tempimo bandymų rezultatų matyti, kad didžiausia trūkimo jėgos verte pasižymėjo žalias audinys be apdailos (L0). Bandinių verčių vidurkis siekia 896,14 N. Didžiausią įtaką audinio trūkimo jėgos pokyčiui turėjo karštas balinimas (L2 bandinys). Po šios operacijos audinio trūkimo jėga sumažėjo 24,16 %. Audinys po šalto balinimo (L1) susilpnėjo 14,45 %. Kiti apdailos procesai mažiau paveikė audinių trūkimo jėgos pokyčius. Po dažymo aktyviniais dažais audinio trūkimo jėga sumažėjo 8,95 %, o skaitmeninis marginimas aktyviniais ir pigmentiniais dažais bei dengimas hidrofobine danga tik nežymiai sumažino prieš tai šalta balinto audinio stiprumą. Didžiausia trūkimo ištįsa nustatyta žalio ir karštai balinto audinių bandiniams. Didžiausia trūkimo ištįsos verte pasižymėjo L2 audinys, kurio trūkimo ištįsos verčių vidurkis siekė 19,48 %, kuris beveik sutapo su žalio audinio trūkimo ištįsos verte. Kitos apdailos operacijos ženkliai paveikė tirtų audinių trūkimo ištįsas, mažindamos jų vertes. Iš pateiktų rezultatų galima matyti, kad po šalto balinimo audinio trūkimo ištįsa sumažėjo 15,31 %, o po skaitmeninio marginimo ir dengimo hidrofobine danga procesų, prieš tai balintų audinių trūkimo ištįsos sumažėjo dar daugiau, atitinkamai 15,59 % ir 19,57 %.



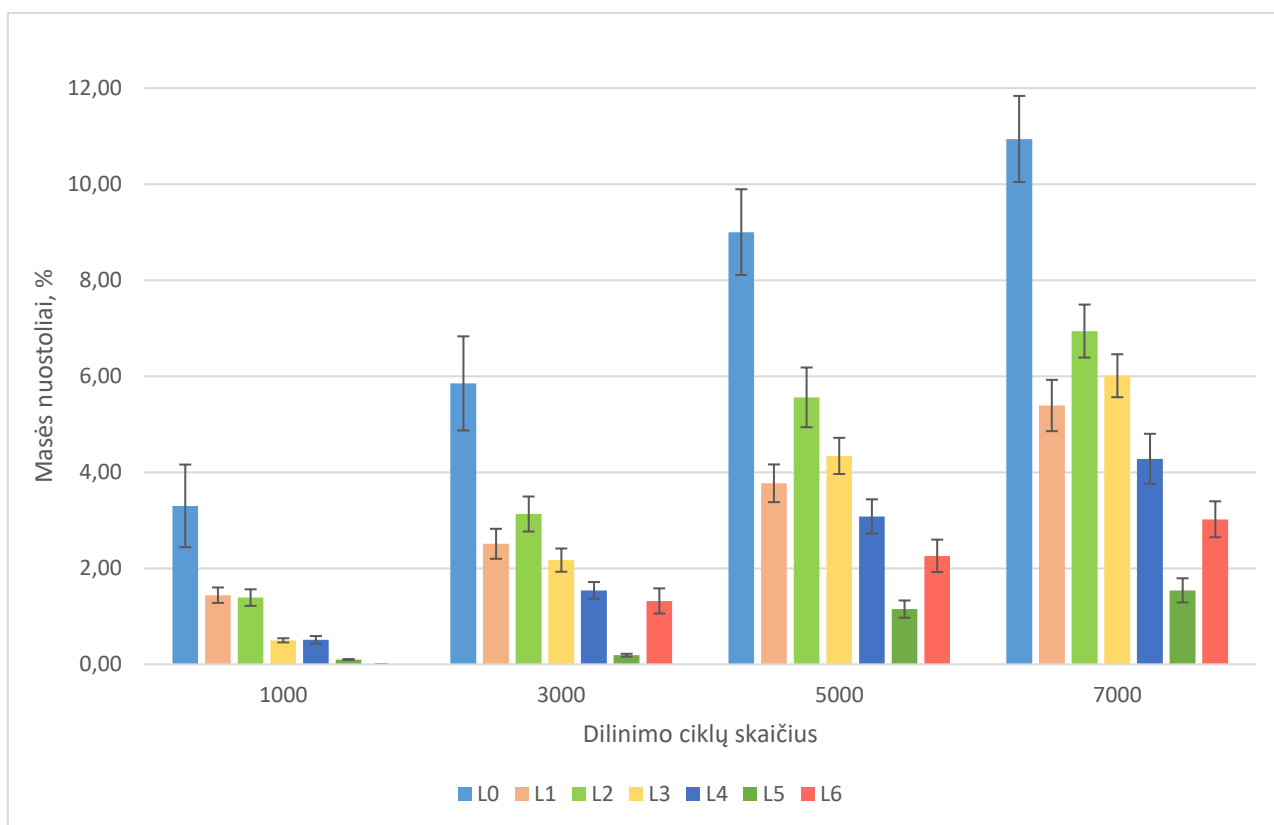
10 pav. Lininių audinių trūkimo ištįsa

Įvertinus eksperimento patikimumą ir gautas vertes, galima teigti, kad įvairi lininio audinio apdaila susilpnina audinį. Skirtingoms apdailoms atlikti reikia skirtingų procesų, taip pat skiriasi ir jų skaičius, kol audiniui suteikiama norima išvaizda ir savybės. Kuo daugiau mechaninio ar cheminio poveikio patiria audinys, tuo labiau pasikeičia jo fizikinės savybės.

3.2. Apdailos įtakos lininių audinių atsparumo dilinimui tyrimas

4 lentelė. Lininių audinių po įvairių apdailų masės nuostoliai dilinimo metu (ADm)

Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Dilinimo ciklų skaičius											
		1000	2000	3000	4000	5000	7000	9000	11000	13000	15000	17000	19000
L0	\bar{x} , %	3,30	5,10	5,85	7,20	9,00	10,94	–	–	–	–	–	–
	S, %	0,35	0,43	0,39	0,58	0,36	0,36	–	–	–	–	–	–
	V, %	10,50	8,30	6,80	8,00	4,00	3,30	–	–	–	–	–	–
L1	\bar{x} , %	1,44	1,62	2,51	3,05	3,77	5,39	5,92	7,90	9,69	10,59	–	–
	S, %	0,06	0,06	0,13	0,12	0,16	0,22	0,31	0,47	0,49	0,48	–	–
	V, %	4,50	3,70	5,00	3,80	4,20	4,00	5,20	5,95	5,12	4,50	–	–
L2	\bar{x} , %	1,39	2,43	3,13	4,17	5,56	6,94	7,81	9,55	12,67	–	–	–
	S, %	0,07	0,11	0,15	0,21	0,25	0,22	0,37	0,54	0,58	–	–	–
	V, %	5,00	4,30	4,70	5,10	4,50	3,20	4,70	5,60	4,60	–	–	–
L3	\bar{x} , %	0,50	1,34	2,17	3,01	4,34	6,01	7,85	8,51	10,35	13,36	–	–
	S, %	0,02	0,05	0,10	0,16	0,15	0,18	0,41	0,39	0,34	0,37	–	–
	V, %	3,50	3,89	4,50	5,50	3,50	3,00	5,20	4,56	3,30	2,79	–	–
L4	\bar{x} , %	0,51	0,68	1,54	2,57	3,08	4,28	5,65	6,68	7,71	9,93	–	–
	S, %	0,03	0,04	0,07	0,12	0,14	0,21	0,27	0,33	0,40	0,50	–	–
	V, %	6,20	5,75	4,55	4,70	4,65	4,90	4,78	5,00	5,20	5,00	–	–
L5	\bar{x} , %	0,10	0,10	0,19	0,58	1,15	1,54	2,30	3,26	4,61	5,95	7,29	9,02
	S, %	0,004	0,004	0,01	0,03	0,07	0,10	0,16	0,19	0,20	0,23	0,32	0,42
	V, %	3,50	4,00	6,13	5,96	6,30	6,60	7,00	5,99	4,50	5,00	4,32	4,70
L6	\bar{x} , %	–	0,19	1,32	1,32	2,26	3,02	3,77	4,53	6,60	8,11	9,06	–
	S, %	–	0,013	0,106	0,11	0,14	0,15	0,16	0,23	0,37	0,33	0,44	–
	V, %	–	7,10	8,00	8,55	6,00	5,00	4,30	5,00	5,60	4,12	4,90	–



11 pav. Lininių audinių atsparumas dilinimui

Audinių atsparumo dilinimui tyrimo rezultatai pateikti 4 lentelėje ir 11 paveiksle. Žalio audinio (L0) bandinys atlaikė tik 7000 dilinimo ciklą, L2 bandinys atlaikė 13000 ciklą, L1, L3 ir L4 bandiniai atlaikė 15000 ciklą, L6 bandinys atlaikė 17000 ciklą, o L5 bandinys – net 19000 dilinimo ciklą. Tyrimo rezultatai parodė, kad apdailos procesai padidino žaliao audinio atsparumą dilinimui. Išsiskyrė pigmentiniais dažais marginti (L5) ir hidrofobine danga dengti (L6) bandiniai, kurie pasižymėjo ir atlaikytų ciklų skaičiumi, ir prarastais mažiausiais masės procentais. Iš 13 paveiksle pateiktų tyrimų rezultatų matyti, kad po 7000 dilinimo ciklų žalias lininis audinys be apdailų ne tik tapo nevertinamu, bet ir prarado net 10,94 % savo masės, o audiniai po pigmentinio marginimo ir dengimo hidrofobine danga atitinkamai tik 1,54 % ir 3,02 %. Šiame atsparumo dilinimui bandyme išsiskyrę bandiniai yra ganėtinai panašūs, abiejų bandinių paviršius padengtas dangomis. L5 – tai pigmentiniais dažais margintas bandinys (paviršius padengtas pigmento ir rišiklio sluoksniu), o L6 – hidrofobine danga padengtas bandinys. Panašu, kad šios dangos sukūrė papildomą apsaugą dilinimo metu. Kitos apdailos, tokios kaip balinimas, šaltas dažymas ir aktyvinis marginimas, paveikia audinį, tačiau nesukuria paviršinio sluoksnio, nors ir šiomis apdailomis paveiktas lininis audinys tampa ištvermingesnis dilinimo procesui. Mažiausiai apdailos procesų paveiktas karštai balintas audinys, balinimo metu ypač stipriai veikiamas mechaniškai, dilinimo metu atlaikė 13000 dilinimo ciklą. Šaltas balinimas, dažymas šaltai, aktyvinis marginimas leido audiniams atlaikyti iki 15000 ciklą. Vertinant šiuos rezultatus galima teigti, jog apdailos suteikia atsparumą dilinimui, atsparumą ženkliai pagerina paviršiniai sluoksniai, kurie suteikia apsauginį barjerą. Apdailos, kurių metu ganėtinai stipriai mechaniškai veikiamas audinys, neženkliai sumažina jo atsparumą dilinimui.

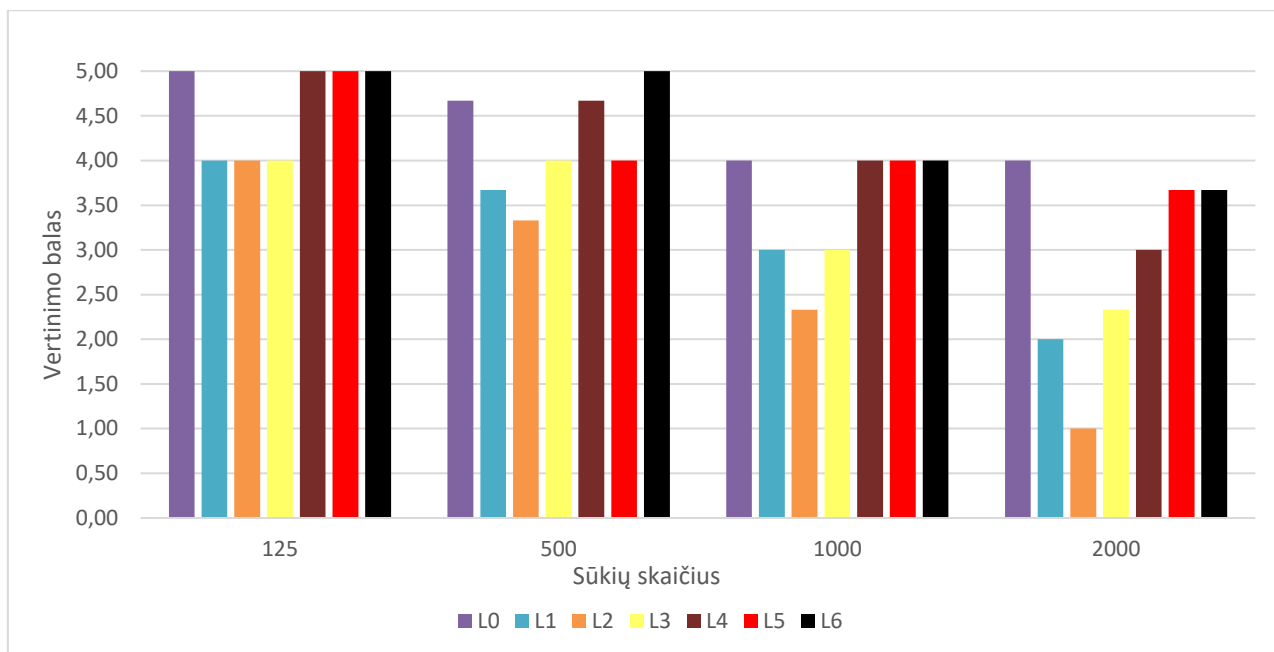
3.3. Apdailos įtakos lininių audinių atsparumo pumpuravimuisi tyrimas

Šio tyrimo metu puikiai atsiskleidžia įvairių lininio audinio apdailų įtaka jo vartojamosioms savybėms. Tirtų bandinių atsparumo pumpuravimuisi vertinimo balai (nuo 1 iki 5) pateikti 5 lentelėje ir 12 paveiksle.

5 lentelė. Lininių audinių po įvairių apdailų atsparumo pumpuravimuisi tyrimo rezultatai

Bandinio kodas	Sūkių skaičius			
	125	500	1000	2000
L0	5,00	4,67	4,00	4,00
L1	4,00	3,67	3,00	2,00
L2	4,00	3,33	2,33	1,00
L3	4,00	4,00	3,00	2,33
L4	5,00	4,67	4,00	3,00
L5	5,00	4,00	4,00	3,67
L6	5,00	5,00	4,00	3,67

Žalias lininis audinys yra ganėtinai atsparus pumpuravimuisi, bandymo metu L0 bandinys įvertintas labai gerai, net ir po 2000 sūkių jis vertinamas 4 balais. L1 bandinys yra šaltai, naudojant šarmus ir peroksidą, balintas lininis audinys. Čia atsiskleidžia pluošto pasiūšimo dėl cheminių medžiagų faktorius. Bandinys greitai susipumpuravo, jau po 125 sūkių jis įvertintas 4 balais, atitinkamai didinant sūkių skaičių rezultatas sumažėjo. Po 2000 sūkių bandinys atrodo ryškiai susipumpuravęs, jo vertinimas – 2 balai. L2 bandinio apdaila – karštas optinis balinimas. Tai lėmė patį mažiausią įvertinimą iš visų bandinių po 2000 sūkių – 1 balą. Taip nutiko dėl stipraus mechaninio poveikio ir aukštos temperatūros apdorojant audinį. Optinis balinimas atliekamas aukštoje temperatūroje, o procesas vyksta gniūžtės įrengime, dėl to šio audinio atsparumas pumpuravimuisi yra ženkliai mažesnis už audinių po kitų apdailų atsparumą. L3 bandinys – šaltai balintas ir aktyviniais dažais dažytas audinys. Dėl panašių apdailos procesų jo rezultatai artimi L1 bandinio rezultatams, po 2000 sūkių vertinimas yra tik 0,33 balo didesnis. Šį nežymų skirtumą galėjo sudaryti papildomų jungčių susidarymas tarp audinio pluošto ir aktyvinių dažų radikalų grupių po dažymo operacijos. L4 bandinys yra margintas skaitmeniniu būdu naudojant aktyvinius dažus. Šio audinio paviršius yra lygesnis už tik balinto ar dažyto audinio paviršių dėl papildomos apdailos prieš marginimą ir susidariusio dažo ir kitų rišiklių apvalkalo, kas padaro jį atsparesnį pumpuravimuisi. L5 bandinys yra margintas pigmentiniais dažais, o jo vertinimo rezultatas dar geresnis ir po 2000 sūkių siekia net 3,67 balo. L5 bandinys patiria mažiau mechaninės apdailos operacijų nei L4, dėl to, kad pigmentinius dažus užtenka fiksuoti karštu oru, priešingai nei aktyviniais dažais spausdintą audinį (vyksta fiksavimas sočiais garais ir plovimas). L6 bandinys – šaltai balintas ir dengtas hidrofobine danga audinys, kuri suteikia apsaugą visam paviršiui. Pumpuravimosi vertinimas labai artimas žalio audinio rezultatams, po 2000 sūkių jis lygus 3,67 balo.



12 pav. Lininių audinių atsparumas pumpuravimuisi

Šio tyrimo metu nustatyta, kad lininių audinių balinimas ženkliai pablogina jų atsparumą pumpuravimuisi, o dengimas hidrofobine danga ir skaitmeninis marginimas, ypač pigmentiniais dažais, šią savybę pagerina.

3.4. Apdailos įtakos lininių audinių laidumo orui tyrimas

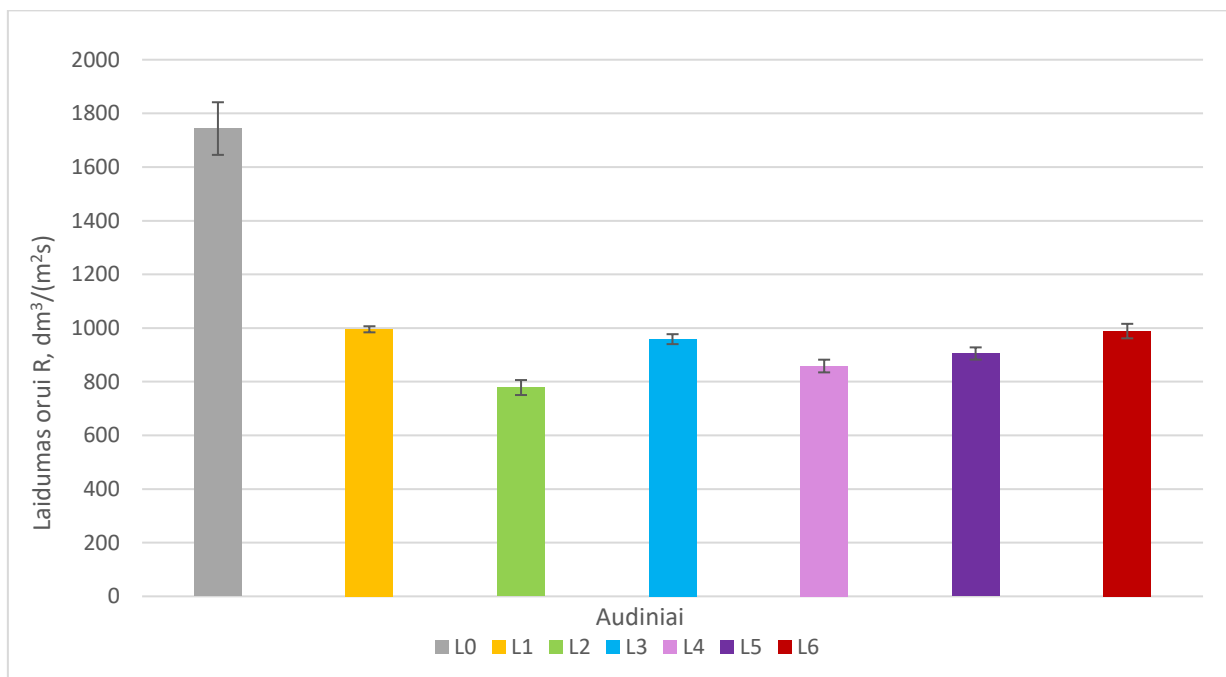
Apdailos įtakos lininių audinių laidumo orui tyrimo rezultatai pateikti 6 lentelėje ir 13 paveiksle.

6 lentelė. Lininių audinių oro srauto debitas D , dm^3/min

Bandinio kodas	Debitas, dm^3/min	S , dm^3/min	V , %
L0	52,20	2,39	4,57
L1	29,80	0,27	0,92
L2	23,30	0,67	2,88
L3	28,70	0,45	1,56
L4	25,70	0,57	2,22
L5	27,10	0,55	2,02
L6	29,60	0,65	2,20

L0 bandinys (žalias audinys) nebuvo paveiktas nei mechaniniu, nei cheminiu būdu. Šio bandinio laidumo orui tyrimo rezultatas ženkliai skiriasi nuo kitų bandinių tyrimų rezultatų. L0 bandinio rezultatas lygus $1743,48 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$. Karštai balinto (L2) audinio laidumas orui net 55,36 % mažesnis. Karštai balinant audinys intensyviai veikiamas mechaniškai ir labai aukšta temperatūra, dėl to audinys susitraukia ir sutankėja. Dėl šių priežasčių balinto audinio laidumas orui mažiausias. Kitų bandinių, dažyto (L3), šaltai balinto (L1), marginto aktyviniais (L4) ir pigmentiniais (L5) dažais bei padengto hidrofobine danga (L6) rezultatai gana artimi. Šių apdailų metu siūlų sanglauda padidėjo, tačiau laidumas orui nebuvo blokuojamas. Nors L6 bandinys

buvo padengtas hidrofobine danga, jo laidumas orui nesiskyrė nuo šaltai balinto audinio laidumo. Ši danga yra visiškai laidūs orui, kas yra vienas iš audinio dengimo fluorintais angliavandeniais privalumų. Skaitmeninis marginimas aktyviniais ir pigmentiniais dažais, nors ir nežymiai (atitinkamai 13,79 % ir 9,06 %) sumažina balinto audinio laidumą orui. Aktyviniais dažais margintas bandinys apdailoje patiria daug operacijų, mechaniškai labiau paveiktas audinys labiau susitraukia ir praleidžia mažiau oro. Nors pigmentiniais dažais margintas bandinys (L5) patiria mažiau apdailos procesų, jo laidumas orui mažesnis nei balintų, dažytų ar fluorintais angliavandeniais dengtų bandinių dėl pigmentinio dažo sukuriama papildomo sluoksnio.






13 pav. Lininių audinių laidumas orui

3.5. Apdailos įtakos lininių audinių spalvos atsparumo skalbimui ir prakaitui tyrimas

Audinių spalvos atsparumas skalbimui ir prakaitui nustatytas aktyviniais ir pigmentiniais dažais margintiems bei aktyviniais dažais šaltai dažytiems bandiniams. 7 lentelėje pateikti vertinimo rezultatai ir bandinių nuotraukos.

7 lentelė. Bandinių spalvos atsparumo skalbimui ir prakaitui vertinimo rezultatai

Bandinio kodas	Bandinio pav.	Atsparumas skalbimui (muilo tirpalas)	Vertinimo balų vidurkis	Atsparumas prakaitui (prakaito tirpalas)	Vertinimo balų vidurkis
L3			5		5







L4			5		5
L5			5		5




Įvertinus bandinius pagal pilkąją skalę, bandiniams buvo suteikti aukščiausi balai. L3 bandinys vertinamas 5 balais, tiek atsparumui prakaitui, tiek atsparumui skalbimui. L4 ir L5 bandiniai taip pat įvertinti 5 balais abiem testavimo atvejais. Šis testas leidžia įvertinti dažų užsifiksavimą audinyje. Aukšti balai reiškia, kad plovimo po šalto dažymo režimas buvo parinktas tinkamai ir audinyje neliko jokios perteklinės dažo koncentracijos. Toks audinys gali būti parduodamas arba naudojamas namų tekstilėje, drabužių siuvimui. Aktyviniais dažais (L4) marginto audinio fiksavimo ir plovimo procesai reikalauja tikslių ir patikrintų režimų parametru, šiuo atveju veiksmai gamyboje taip pat atlikti teisingai, spalvos atsparumas skalbimui bei prakaitui vertinamas 5 balais. Pigmentiniais dažais margintų (L5) bandinių fiksavimas taip pat atliktas teisingai, vertinimo balas 5. Paviršinis dažo sluoksnis gerai prisitvirtinęs prie audinio išorės.

3.6. Apdailos įtakos lininių audinių spalvos atsparumo sausai ir šlapiai trinčiai tyrimas

Kaip ir spalvos atsparumas skalbimui bei prakaitui, atsparumas šlapiai ir sausai trinčiai taip pat vertinamas naudojantis pilkąją skalę. 8 lentelėje pateikti vertinimo rezultatai ir bandinių nuotraukos.

8 lentelė. Bandinių spalvos atsparumo šlapiai ir sausai trinčiai vertinimo rezultatai

Bandinio kodas	Bandinio pav.	Atsparumas sausai trinčiai	Vertinimo balų vidurkis	Atsparumas šlapiai trinčiai	Vertinimo balų vidurkis
L3			3,5		2,5
L4			4,5		3

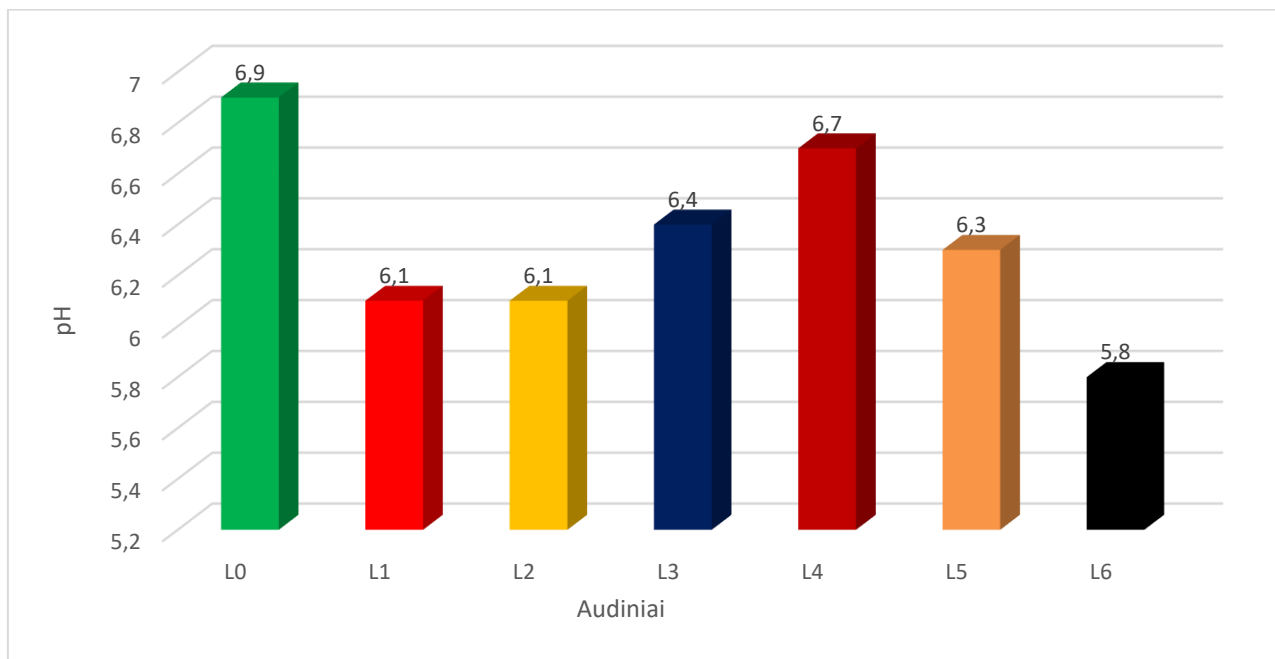
L5			4		3,5
----	---	---	---	---	-----

Atsparumu sausai trinčiai geriausiai pasižymėjo aktyviniais dažais margintas (L4) bandinys, vertinimo balas siekė 4,5. Šiek tiek prastesnis marginto su pigmentiniais dažais (L5) audinio vertinimo rezultatas. Jo vertinimo balas lygus 4. Žemiausias vertinimo balas suteiktas aktyviniais dažais dažytam bandiniui (L3), kurio vertinimo balas lygus 3,5. Šio bandinio rezultatą stipriai veikia spalvų intensyvumas. Pasirinkus šviesesnes, blankesnes spalvas ir dizainus, rezultatai galėtų būti dar aukštesni. Atsparumo šlapiai trinčiai vertinimo balas L5 bandiniui lygus 3,5, L4 bandiniui – 3, o L3 bandinio vertinimas siekia tik 2,5 balo. Pigmentiniais dažais marginti bandiniai yra šviesesnės spalvos nei audiniai, marginti aktyviniais dažais, naudojant tą patį dizainą. Tai turėjo įtakos šlapios trinties vertinimo rezultatui, kadangi, remiantis įvairiais literatūros šaltiniais, dažniausiai geresniu spalvos atsparumu šlapiai trinčiai pasižymi audiniai, marginti aktyviniais dažais. Jei pigmentiniam marginimui būtų modifikuojamas paveikslėlis ir paryškintas iki aktyvinio marginimo metu gaunamų spalvų, atsparumo šlapiai trinčiai rezultatai būtų atvirkštiniai – geresniu atsparumu pasižymėtų lininis audinys, margintas aktyviniais dažais. Aktyviniais dažais dažytas bandinys buvo tamsiai žalios ir gilios spalvos. Lininio audinio, dažyto tamsiomis spalvomis su aktyviniais dažais, spalvos atsparumas šlapiai trinčiai nėra gerai vertinamas. Šiuo atveju tamsių spalvų atsparumo šlapiai trinčiai tolerancija ganėtinai aukšta, nes geresnio rezultato gauti praktiškai neįmanoma.

3.7. Apdailos įtakos lininių audinių pH vertėms nustatymas

Audinių pH verčių nustatymas labai svarbus net tik dėl technologinių procesų, bet ir dėl galutinio produkto, kuris pasiekia vartotoją. Jei tekstilės produktas nekontaktuoja su žmogaus oda, nėra numatytas dėvėjimui, jo pH vertė gali svyruoti nuo 4 iki 9. Jei produktai galimai kontaktuos su žmogaus oda ar bus naudojami vaikų drabužiams, pH vertė turi būti kontroliuojama nuo 4 iki 8,5. Įprastai žmogaus odos paviršiaus pH yra nuo 5,5 iki 7. Atlikus pH nustatymo testus su tiriamais audiniais, gauti rezultatai pateikti 14 paveiksle. L0 bandinio pH vertė siekė 6,9 – tai visiškai neutrali terpė. L0 bandinys, nepaveiktas jokiais apdailomis, rezultatų vertinimui tiko kaip kontrolė. pH verčių svyravimai pastebimi atitinkamai kintant apdailos procesų kiekiui. L1 audinys balintas šaltu būdu ir plautas linijoje, pH vertė – 6,1. Šiuo būdu balintą audinį galima naudoti tolimesniems procesams ir tiekti vartotojui. Taip pat yra svarbu palaikyti 6–8 pH vertę, jei audinys bus dažomas ar veikiamas kitomis apdailos operacijomis. Karštai balinto audinio (L2) pH vertė siekė 6,1. L3 (dažyto audinio) pH vertė siekė 6,4. Lininio audinio dažymas aktyviniais dažais vyksta stipriai šarminėje terpėje, todėl reikia parinkti tinkamus ploviklius ir rūgštinius buferinius tirpalus tam, kad pH vertė atitiktų normatyvus. L4 (marginto aktyviniais dažais) audinio pH vertė siekė 6,4, o L5 (marginto pigmentiniais dažais) audinio pH vertė – 6,7. Aktyviniais dažais margintas audinys pereina per daug apdailos operacijų, tačiau galutinio produkto pH vertė tenkina reikalavimus. Pigmentiniais dažais margintas audinys nėra plaunamas po marginimo, todėl labai svarbu prieš marginant gauti tinkamos terpės audinio pH, nes plovimo metu dar galima koreguoti pH paklaidas, o po šios apdailos – ne. L6 (dengtas hidrofobine danga)

audinys šiek tiek išsiskiria iš kitų bandinių. Hidrofobiškumą suteikiančios cheminės medžiagos lengvai parūgštino audinio pH, jo vertė buvo lygi 5,8. Po hidrofobinės dangos fiksavimo neatliekamos kitos apdailos, todėl svarbu parinkti tinkamos pH terpės tirpalą, kad jis nepakeistų audinio pH ir atitiktų reikalavimus. Bendrai įvertinant rezultatus galima teigti, kad visi plovimo procesai ir režimai buvo tinkamai parinkti. Balinimas ir dažymas vyksta stiprioje šarminėje terpėje, o po plovimo ir džiovinimo apdailų gauti audiniai yra praktiškai neutralios arba lengvai rūgštinės terpės, kuri atitinka reikalavimus. Visų modifikuotų audinių pH vertės pavaizduotos grafiškai 14 paveiksle.



14 pav. Lininių audinių pH vertės

Išvados

1. Nustatyta, kad lininių audinių apdailos operacijos mažina audinių trūkimo jėgą ir ištįsą. Didžiausia įtaką trūkimo jėgos sumažėjimui daro karšto balinimo ir šalto balinimo operacijos. Karštai balinto audinio trūkimo jėga 24,16 % mažesnė už žalio audinio trūkimo jėgą, šaltas balinimas sumažina lininių audinių trūkimo jėgą 14,45 %. Trūkimo ištįsos pokyčiams didžiausią įtaką daro šalto balinimo, skaitmeninio marginimo pigmentiniais dažais bei padengimo fluorintų angliavandenių hidrofobine danga procesai. Šaltai balinto audinio trūkimo ištįsa 15,31 % mažesnė už žalio audinio trūkimo ištįsą, o skaitmeninis marginimas pigmentiniais dažais ir padengimas fluorintų angliavandenių hidrofobine danga sumažina šaltai balintų audinių trūkimo ištįsą atitinkamai 15,59 ir 1,57 procentų.

2. Nustatyta, kad apdailos procesai pagerino lininių audinių atsparumą dilinimui. Žalias audinys atlaikė 7000 dilinimo ciklą, šaltai balinti, aktyviniais dažais dažyti ir marginti audiniai – 15000 dilinimo ciklą, o skaitmeniniu būdu pigmentiniais dažais marginti audiniai net 19000 dilinimo ciklą. Audinių masės nuostoliai po 7000 dilinimo ciklą sumažėjo nuo 10,94 % (žalio audinio) iki 1,54 % (pigmentiniais dažais marginto audinio)

3. Skirtingi apdailos procesai nevienodai pakeitė lininių audinių atsparumą pumpuravimuisi. Apdailos procesai, kurių metu audiniai patiria mažesnę mechaninį poveikį, pumpuravimąsi suaktyvino nežymiai. Stipriai mechaniškai paveiktas gniūžtėje karštai balintas audinys pasižymėjo mažiausiu atsparumu pumpuravimuisi (vertinimo balas po 2000 sūkių – 1) Skaitmeninis marginimas, tiek aktyviniais, tiek pigmentiniais dažais, ženkliai pagerina balintų lininių audinių atsparumą pumpuravimuisi.

4. Nustatyta, kad lininių audinių laidumas orui po skirtingų apdailų pakito ženkliai, lyginant su žalio audinio laidumu orui. Laidumas orui po apdailų sumažėjo nuo 42,91 % iki 55,36 %. Didžiausias laidumo orui sumažėjimas nustatytas audiniui po karšto balinimo – 55,36 %. Dažymo ir skaitmeninio marginimo operacijos tik labai neženkliai (3,69 % ir 13,79 %) sumažino šaltai balintų audinių laidumą orui, o audinio padengimas fluorintų angliavandenių hidrofobine danga visai jo nesumažino.

5. Nustatytas ir įvertintas dažytų ir skaitmeniniu būdu margintų lininių audinių spalvos atsparumas skalbimui ir prakaitui. Visi tirti audiniai pasižymėjo vienodai geru spalvos atsparumu skalbimui ir prakaitui (įvertinti 5 balais). Lyginant su pilkąja skale, nepastebėti jokie dažų ar dažų migracijos požymiai.

6. Ištyrus ir palyginus skaitmeniniu būdu aktyviniais ir pigmentiniais dažais margintų bei dažytų aktyviniais dažais lininių audinių spalvos atsparumą šlapiai ir sausai trinčiai nustatyta, kad dažytų audinių spalva buvo mažiau atspari šiems poveikiams – jų vertinimai mažesni vienu balu. Tarpusavyje palyginus skirtingais dažais skaitmeniniu būdu vienodu spalviniu vaizdu margintų audinių spalvos atsparumą sausai ir šlapiai trinčiai nustatyta, kad aktyviniais dažais margintų audinių spalvos atsparumas sausai trinčiai neženkliai didesnis (skiriasi 0,5 balo), o atsparumas šlapiai trinčiai, dėl išgaunamo ryškesnio vaizdo, nežymiai mažesnis (skiriasi 0,5 balo) už pigmentiniais dažais margintų audinių spalvos atsparumą.

7. Nustatyta, kad lininių audinių apdailos procesai turi įtakos audinių pH vertėms. Jeigu žalias audinys visiškai neutralios terpės (pH vertė – 6,9), tai nors šių audinių balinimas ir dažymas vyksta stiprioje šarminėje aplinkoje, tinkamai parinkti plovikliai ir rūgštiniai buferiniai tirpalai užtikrina, kad vartotojams tiekiami balinti, dažyti arba marginti lininiai audiniai yra neutralios arba silpnai rūgštinės terpės, kas atitinka keliamus reikalavimus.

Literatūros sąrašas

1. KOZAOWSKI, Ryszard M., MACKIEWICZ-TALARCZYK, Maria. The use of flax and hemp for textile applications. Iš: *Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*. Woodhead Publishing, 2020, pp. 147–167. ISBN 9780128187821.
2. SNOECK, D. and N.D. BELIE. Mechanical and self-healing properties of cementitious composites reinforced with flax and cottonised flax and compared with polyvinyl alcohol fibres. *Biosystems Engineering*. 2012, 325–335. ISSN 1537-5110.
3. ATKIN, D. E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax. *International Scholarly Research Notices* [interaktyvus]. 2013, vol. 2013, 23 pages. <http://dx.doi.org/10.5402/2013/186534>.
4. DE PREZ, J., WILLEM VAN VUURE, A., IVENS, J., AERTS, G., VAN DE VOORDE, I. Enzymatic treatment of flax for use in composites. *Biotechnology Reports* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2018, vol. 20, ISSN 2215-017X. Prieiga per: Science Direct.
5. DEY, P., et al. Quality optimization of flax fibre through durational management of water retting technology under sub-tropical climate. *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2021, vol. 162, ISSN 0926-6690. Prieiga per: Science Direct.
6. RAMESH, M. Flax (*Linum usitatissimum L.*) fibre reinforced polymer composite materials: A review on preparation, properties and prospects. *Progress in Materials Science* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2019, vol. 102, 109-166. ISSN 0079-6425. Prieiga per: Science Direct.
7. NILSSON, T. Micromechanical Modelling of Natural Fibres for Composite Materials. 2006. Lund University.
8. SEN, T., REDDY, H. N. J. Various Industrial Applications of Hemp, Kinaf, Flax and Ramie Natural Fibres. *International Journal of Innovation, Management and Technology*. 2011, vol. 2, No. 3.
9. DING, J., et al. The physiochemical alteration of flax fibers structuring components after different scouring and bleaching treatments. *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2021, vol. 160. ISSN 0926-6690. Prieiga per: Science Direct.
10. CHARLET, K., BALEY, C., MORVAN, C., JERNOT, J.P., GOMINA, M. ir BREARD, J. Characteristics of Hermès flax fibres as a function of their location in the stem and properties of the derived unidirectional composites. *Composites Part A* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2007, vol. 38 (8), 1912-1921. ISSN 1359-835X. Prieiga per: Science Direct.
11. BALEY, C., BOURMAUD, A. ir DAVIES, P. Eighty years of composites reinforced by flax fibres: A historical review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2021, vol. 144. ISSN 1359-835X. Prieiga per: Science Direct.
12. DEL MASTO, A., TRIVAUDEY, F., GUICHERET-RETEL, V., PLACET, L. ir BOUBAKAR, L. Investigation of the possible origins of the differences in mechanical properties of hemp and flax fibres: A numerical study based on sensitivity analysis. *Composites*

- Part A: Applied Science and Manufacturing* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2019, vol. 124. ISSN 1359-835X. Prieiga per: Science Direct.
13. CEVEN, E. K. ir GUNAYDIN, G. K. Investigation of moisture management and air permeability properties of fabrics with linen and linen-polyester blend yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2018, vol. 26 (4), 39–47. doi:10.5604/01.3001.0012.1311.
 14. DALBASI, E. S. ir KAYSERI, G. O. A Research on the Comfort Properties of Linen Fabrics Subjected to Various Finishing Treatments, *Journal of Natural Fibers* [interaktyvus]. 2021, vol. 18 (6), 909-922. doi:10.1080/15440478.2019.1675210.
 15. JASINSKA, I. Assessment of a Fabric Surface after the Pilling Process Based on Image Analysis. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2009, vol. 17, 55–58. Prieiga per: Research Gate.
 16. SABIR, Tasneem. *High-Performance Apparel*. Woodhead Publishing, 2018. ISBN 9780081009048.
 17. AMIN, R. ir RANA, R. I. Analysis of pilling performance of different fabric structures with respect to yarn count and pick density. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles* [interaktyvus]. 2015, vol. 16 (1). Prieiga per: Research Gate.
 18. ANON. Technical bulletin on Functional Finishes for Cotton Products. North Carolina, USA: Cotton Incorporated. 2004.
 19. TOBLER-ROHR, M. I. Handbook of Sustainable Textile Production. *The supply chain of textiles*. Woodhead Publishing, 2011, pp. 45-149. ISBN 9780857092861.
 20. AMMAYAPPAN, L., et al. Functional Finishing of Jute Textiles—An Overview in India, *Journal of Natural Fibers* [interaktyvus]. 2013, vol. 10 (4), 390-413, doi:10.1080/15440478.2013.824849.
 21. HAUSER, P. Textiles and Fashion. *Fabric Finishing: Pretreatment/Textile Wet Processing*. Woodhead Publishing, 2015, p.p. 459-473. ISBN 9781845699314.
 22. CHOUDHURY, A. K. R. Principles of Textile Finishing. *Introduction to finishing*. Woodhead Publishing, 2017, pp. 1-19. ISBN 9780081006467.
 23. CHOUDHURY, A. K. R. Principles of Textile Finishing. *Surface finishing*. Woodhead Publishing, 2017, pp. 21-39. ISBN 9780081006467.
 24. BASMA, M. E., ir IBRAHIM, N. A. Recent developments in sustainable finishing of cellulosic textiles employing biotechnology. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2021, vol. 284. ISSN 0959-6526. Prieiga per: Science Direct.
 25. GUO, A., SUN, Z. ir SATYAVOLU, J. Impact of chemical treatment on the physiochemical and mechanical properties of kenaf fibers. *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2019, vol. 141. ISSN 0926-6690. Prieiga per: Science Direct.
 26. DEHABADI, L., et. al. Flax Biomass Conversion via Controlled Oxidation: Facile Tuning of Physicochemical Properties. *Bioengineering* [interaktyvus]. 2020, vol. 7 (2). <https://doi.org/10.3390/bioengineering7020038>.

27. LAZIC, B. D., JANJIC, S. D., KORICA, M., et. al. Electrokinetic and sorption properties of hydrogen peroxide treated flax fibers (*Linum usitatissimum L.*). *Cellulose* [interaktyvus]. 2021, vol. 28. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03686-0>.
28. SREEKALA, M. S., KUMARAN, M. G., JOSEPH, S., et al. Oil Palm Fibre Reinforced Phenol Formaldehyde Composites: Influence of Fibre Surface Modifications on the Mechanical Performance. *Applied Composite Materials* [interaktyvus]. 2000, vol. 7. <https://doi.org/10.1023/A:1026534006291>
29. PERINCEK, S., DURAN, K., KORLU, A. E. Combination of Ozonation and Hydrogen Peroxide Bleaching for Linen Fabrics: Optimization of the Process Using Experimental Design Technique, *Ozone: Science & Engineering*, 2013, vol. 35 (4). doi: 10.1080/01919512.2013.788979.
30. ALI, A., SHAKER, K., NAWAB, Y., et. al. Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites—A review. *Journal of Industrial Textiles* [interaktyvus]. 2018, vol. 47 (8). doi:10.1177/1528083716654468.
31. DING, J., et al. The physiochemical alteration of flax fibers structuring components after different scouring and bleaching treatments. *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2021, vol. 160. ISSN 0926-6690. Prieiga per: Science Direct.
32. BARCZEWSKI, M., MATYKIEWICZ, D., SZOSTAK, M. The effect of two-step surface treatment by hydrogen peroxide and silanization of flax/cotton fabrics on epoxy-based laminates thermomechanical properties and structure. *Journal of Materials Research and Technology* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2020, vol. 9 (6), 13813-13824. ISSN 2238-7854. Prieiga per: Science Direct.
33. CHERIF, Z. A., POILANE, C., FALHER, T., VIVET, A., OUAIL, N., DOUDOU, B. B., et al. Influence of textile treatment on mechanical and sorption properties of flax/epoxy composites. *Polym Compos* [interaktyvus]. 2013, vol. 34, 1761-1773. <https://doi.org/10.1002/pc.22580>
34. RAZAK, N., IBRAHIM, N., ZAINUDDIN, N., RAYUNG, M., SAAD, W. The influence of chemical surface modification of kenaf fiber using hydrogen peroxide on the mechanical properties of biodegradable kenaf fiber/poly (lactic acid) composites. *Molecules* [interaktyvus]. 2014, vol. 19 (3), 2957-2968. <https://doi.org/10.3390/molecules19032957>
35. VILLAUME, F. G. Optical bleaches in soaps and detergents. *J Am Oil Chem Soc* [interaktyvus]. 1958, vol. 35, 558–566. <https://doi.org/10.1007/BF02637961>
36. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.905.7763&rep=rep1&type=pdf>
37. TIKI, A., AMIN, A., ir KANWAL, A. Chemistry of optical brighteners and uses in textile industries. *PTJ*. 2010, 42-43.
38. KERT, M., KRKOČ, V., GORJANC, M. Influence of Optical Brightening Agent Concentration on Properties of Cotton Fabric Coated with Photochromic Microcapsules Using a Pad-Dry-Cure Process. *Polymers*. 2019, vol. 11 (12), pp. 1919. <https://doi.org/10.3390/polym11121919>
39. KOH, J. Handbook of Textile and Industrial Dyeing. *Dyeing of cellulosic fibres*. Woodhead Publishing, 2011, pp. 129-146. ISBN 9780857094919

40. LIM, S. L., CHU, W. L., PHANG, S. M. Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater. *Bioresource Technology* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2010, vol. 101 (19), 7314-7322. ISSN 0960-85242. Prieiga per: Science Direct.
41. LEWIS, D. M. Handbook of Textile and Industrial Dyeing. *The chemistry of reactive dyes and their application processes*. Woodhead Publishing, 2011, vol. 1, pp. 303-364. ISBN 9781845696955.
42. RAHMAN BHUIYAN, M. A., SHAID, A., BASHAR, M. M. ir SARKAR, P. Investigation on Dyeing Performance of Basic and Reactive Dyes Concerning Jute Fiber Dyeing. *Journal of Natural Fibers* [interaktyvus]. 2016, vol. 13 (4), pp. 492-501. doi: 10.1080/15440478.2015.1069233
43. SUI, X. et al. Detection of reactive dyes from dyed fabrics after soil degradation: via QuEChERS extraction and mass spectrometry. *Analytical Methods* [interaktyvus]. 2020, vol. 12, pp. 179-187. doi: 10.1039/c9ay01603a
44. BERNAVA, A. ir REIHMANE, S. Properties of pre-modified linen fabric dyed with reactive dyes. *International Conference Baltic Polymer Symposium* [interaktyvus]. 2019, vol. 500. doi:10.1088/1757-899X/500/1/012026
45. RAJA, A. S. M., et al. Chemical Management in Textiles and Fashion. *Challenges in dyeing of cellulose with reactive dyes and practical sustainable feasibilities*. Woodhead Publishing, 2021, pp. 79-98. ISBN 9780128204948.
46. BEHERA, B. K. Comfort and Handle Behaviour of Linen-blended Fabrics. *Autex Research Journal*, 2007, vol. 7 (1), pp. 33–47.
47. LIANG, Y., et al. Construction of new surface on linen fabric by hydroxyethyl cellulose for improving inkjet printing performance of reactive dyes. *Progress in Organic Coatings* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2021, vol. 154. ISSN 0300-9440. Prieiga per: Science Direct.
48. CIE, C. Ink Jet Textile Printing. *The effect of ink jet on the textile printing industry*. Woodhead Publishing, 2015, pp. 139-152. ISBN 9780857092304.
49. KING, K. M. Inkjet printing of technical textiles. *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles*. Woodhead Publishing, 2013, pp. 236-257. ISBN 9780857094339.
50. MIKUŽ, M., ŠOSTAR-TURK, S. ir TAVČER, P. Printing and design in the processes of textile inkjet printing. 2008. Prieiga per: Research gate.
51. IBRAHIM, N.A., EID, B. M., ABD EL-AZIZ, E. ir ABOU ELMAATY, T. M. Functionalization of linen/cotton pigment prints using inorganic nano structure materials. *Carbohydrate Polymers* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2013, vol. 97 (2), pp. 537-545. ISSN 0144-8617. Prieiga per: Science Direct.
52. BERRADI, M., et al. Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *Heliyon* [interaktyvus]. Cell Press, 2019, vol. 5 (11). ISSN 2405-8440. Prieiga per: Science Direct.
53. UJIIE, H. Textiles and Fashion. *Fabric Finishing: Printing Textiles*. Woodhead Publishing, 2015, pp. 507-529. ISBN 9781845699314.

54. SOLANGI, W. H., et al. Influence of binders and thickeners of pigment printing paste on light fastness and crocking fastness of the fabric. *International Journal of Science and Research*. 2014, Vol. 3 (5), pp. 1024–33. ISSN: 2319-7064.
55. MILES, L. W. C. Textile Printing. Bradford: Society of Dyers and Colourists, 2004, vol. 301. ISBN 0 901956791.
56. TAVČER, P., KOŠIR, S. ir CSISZAR, E. Properties of differently printed and easy-care finished linen fabrics. *Coloration Technology* [interaktyvus]. 2011, vol. 127 (3), pp. 194-199. doi: 10.1111/j.1478-4408.2011.00298.x
57. IBRAHIM, W., et al. A novel study of comparison properties of pigment and reactive dye-printed cotton fabric. *Journal of Natural Fibers* [interaktyvus]. 2019, vol. 16 (6), pp. 825-835. doi: 10.1080/15440478.2018.1440364
58. STANČIĆ, M., et al. Impact of print parameters on air permeability of printed knitwear. *International Journal of Engineering*. 2017, 15. ISSN: 1584-2665.
59. BADANOVA, A. K., TAUSSAROVA, B. R. ir KUTZHANOVA, A. Z. Hydrophobic Finishing of Cellulosic Textile Material. *World Applied Sciences Journal*. 2014, 30 (10), pp.1409-1416, 2014 ISSN 1818-4952.
60. BAHNERS, T., TEXTOR, T., OPWIS, K. ir SCHOLLMAYER, E. Recent Approaches to Highly Hydrophobic Textile Surfaces. *Journal of Adhesion Science and Technology* [interaktyvus]. 2008, vol. 22 (3-4), pp. 285-309. doi: 10.1163/156856108X295437
61. FERGUSON, S. M. Garment Manufacturing Technology. Garment-finishing techniques. Woodhead Publishing, 2015, pp. 387-403. ISBN 9781782422327.
62. RUTKEVIČIUS, M., PIRZADA, T., GEIGER, M. ir KHAN, S. A. Creating superhydrophobic, abrasion-resistant and breathable coatings from water-borne polydimethylsiloxane-polyurethane Co-polymer and fumed silica. *Journal of Colloid and Interface Science* [interaktyvus]. Oxford: Elsevier Science, 2021, vol. 596, pp. 479-492. ISSN 0021-9797. Prieiga per: Science Direct.
63. ALI, A., SHAKER, K., NAWAB, Y., et al. Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites—A review. *Journal of Industrial Textiles* [interaktyvus]. 2018, vol. 47 (8), pp. 2153-2183. doi:10.1177/1528083716654468
64. SAMANTA, K. K., BASAK, S. ir CHATTOPADHYAY, S. K. Handbook of Sustainable Luxury Textiles and Fashion. *Specialty Chemical Finishes for Sustainable Luxurious Textiles*. Singapore: Springer, 2015, pp. 145-184. ISBN 978-981-287-632-4
65. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 139:2006]. Tekstilė. Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka (ISO 139:2005): Europos standartas EN ISO 139:2005 turi Lietuvos standarto statusą = Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.
66. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 13934 – 1]. Tekstilė. Tekstilės medžiagų tempimo savybės. 1 dalis. Didžiausiosios jėgos ir pailgėjimo esant šiai jėgai nustatymas juostelės metodu (ISO 13934 – 1: 1999) = Textiles – Tensile properties of fabrics – Part 1: Determinations of maximum force and elongation at maximum force using the strip method (ISO 13934 – 1: 1999). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2000.

67. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 12947-2: 2001]. Tekstilė. Tekstilės medžiagų atsparumo dilinimui nustatymas Martindale'o metodu. 2 dalis. Bandinio suirimo nustatymas (ISO 12947-2: 1998) = Textiles - Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 2: Determination of specimen breakdown (ISO 12947-2: 1998). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004.
68. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 12947-3: 2001] Tekstilė. Tekstilės medžiagų atsparumo dilinimui nustatymas Martindale'o metodu. 3 dalis. Masės nuostolio nustatymas (ISO 12947-3: 1998) = Textiles - Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 3: Determination of mass loss (ISO 12947-3: 1998). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.
69. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 12945-2]. Tekstilė. Tekstilės medžiagų polinkio pūkuotis ir pumpuruotis nustatymas. 2 dalis. Modifikuotas Martindale'o metodas (ISO 12945-2:2000) = Textiles – Determination of fabric propensity to surface fuzzing and to pilling – Part 2. Modified Martindale method (ISO 12945-2:2000). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2001.
70. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 9237:1997]. Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas (ISO 9237:1995) = Textiles — Determination of the permeability of fabrics to air (ISO 9237:1995). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1997.
71. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 105-C06:1999]. Tekstilės medžiagos. Nusidažymo atsparumo nustatymas. C06 dalis. Nusidažymo atsparumas skalbimui namų ir pramoninėmis sąlygomis (ISO 105-C06:1999) = Textiles — Tests for colour fastness — Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering (ISO 105-C06:2010). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1999.
72. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 105-X12:2016]. Tekstilė. Spalvos atsparumo bandymai. X12 dalis. Spalvos atsparumas trinčiai (ISO 105-X12:2016) = Textiles — Tests for colour fastness — Part X12: Colour fastness to rubbing (ISO 105-X12:2016). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016.
73. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 3071:2020]. Tekstilė. Vandeningų ištraukų pH nustatymas (ISO 3071:2020) = Textiles — Determination of pH of aqueous extract (ISO 3071:2020). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2020.
74. MILAŠIUS R. *Tekstilės Eksperimento Teorija Ir Praktika. Mokomoji Knyga*. Kaunas: Technologija, 2011. ISBN: 9789955258995

Priedai

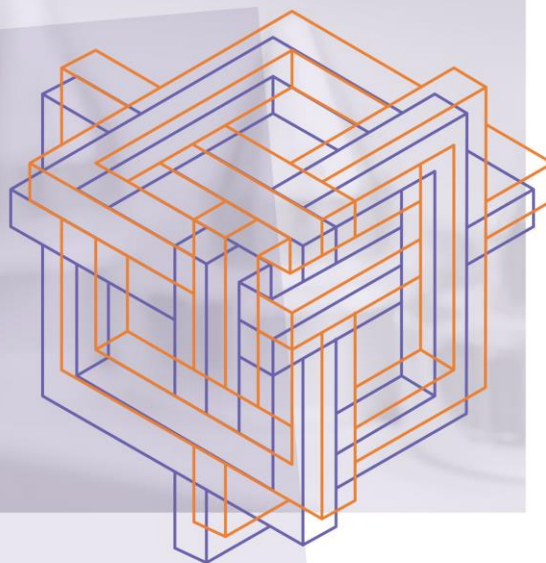
1 priedas. Tyrimų rezultatų publikavimas

Magistro baigiamajame projekte atliktų tyrimų rezultatai pristatyti tarptautinėje jaunųjų tyrėjų konferencijoje „Industrial Engineering 2021“ ir paskelbti šios konferencijos pranešimų medžiagoje.

International Young Researchers Conference

Nr. V24-11-36

INDUSTRIAL engineering 2021



Certificate

This certificate confirms that

Armida Valiulytė

attended in International Young Researchers Conference
“Industrial Engineering 2021” and published the paper

Influence of Digital Printing on End-use Properties of Linen Fabrics

in the conference notification material

Dean of the Faculty of
Mechanical Engineering
and Design

dr. Andrius Vilkauskas

A handwritten signature in blue ink, appearing to be the name of the Dean, dr. Andrius Vilkauskas.



faculty of mechanical
engineering
and design