



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Ernesta Varanavičienė

**LAZERIO GALIOS ĮTAKOS PJAUTO AUDINIO KRAŠTO
KOKYBEI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas: doc. dr. Jurgita Domskienė

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**LAZERIO GALIOS ĮTAKOS PJAUTO AUDINIO KRAŠTO
KOKYBEI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Aprangos mados inžinerija (kodas 621J40004)

Vadovas

doc. dr. Jurgita Domskienė

Konsultantas

doc. dr. Milda Jucienė

Recenzentas

prof. dr. Virginija Daukantienė

Projektą atliko

Ernesta Varanavičienė

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Ernesta Varanavičienė

(Studento vardas, pavardė)

Aprangos mados inžinerija (621J40004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Lazerio galios įtakos pjauto audinio krašto kokybei tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. Gegužės 31 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Ernestos Varanavičienės**, baigiamasis projektas tema „Lazerio galios įtakos pjauto audinio krašto kokybei tyrimas.“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	9
1.1. Lazerinių technologijų panaudojimas šiuolaikinėje aprangos mados pramonėje	9
1.2. Lazerio apdailos technologijų tyrimai	12
1.3. Pramoninio skalbimo įtakos tekstilės medžiagų savybėms tyrimai	14
1.4. Cheminis tekstilės medžiagų valymas.....	16
2. TYRIMO OBJEKTAI IR METODIKA.....	19
2.1. Tiriama audiniai ir jų charakteristikos	19
2.2. Bandinių paruošimo metodika	20
2.2.1. Apskritimo formos bandiniai	21
2.2.1. Stačiakampio formos bandiniai.....	22
2.3. Tyrimų metodika.....	24
2.3.1. Lenkiamasis standumas.....	24
2.3.2. Audinio tempimo savybės.....	25
2.3.3. Lazeriu pjautų bandinių morfologinė analizė.....	25
2.3.4. Daugkartinis skalbimas	26
2.3.5. Cheminis valymas	26
2.3.6. Vizualinis pjauto krašto vertinimas.....	27
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS.....	28
3.1. Lazerio galios įtaka pjauto audinio lenkiamojo standumo savybėms	28
3.2. Lazerio galios įtaka pjauto audinio tempimo savybėms.....	31
3.2.1. Tempimo savybių pokytis, lyginant kirptus ir skirtingomis lazerio galiomis pjautus audinius	31
3.2.2. Tempimo savybių pokytis, lyginant skirtingomis lazerio galiomis pjautus ir įvairiomis eksploatacijomis paveiktus audinius	34
3.3. Lazeriu pjautų bandinių morfologinė analizė.....	39
3.4. Vizualinis pjauto audinio krašto vertinimas po eksploatacijos poveikio	41
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	47
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	48
PRIEDAI.....	52

Varanavičienė Ernesta. Lazero galios įtakos pjauto audinio krašto kokybei tyrimas. Magistro baigiamasis projektas, vadovas doc. dr. Jurgita Domskienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis: Technologijos mokslai, Polimerų ir tekstilės technologija

Reikšminiai žodžiai: tekstilės medžiagos, lazeris, mechaninės savybės

Kaunas, 2017. 61p.

SANTRAUKA

Baigiamojo darbo tikslas- ištirti daugkartinio skalbimo ir cheminio valymo įtaką keičiant lazero galią pjauto audinio krašto kokybei bei lazeriu apdoroto aprangos elemento savybėms.

Lazerinių technologijų pritaikymas drabužių bei tekstilės pramonėje pastaraisiais metais ypač išpopuliarėjo. Lazeriui atliekamas tekstilės medžiagų pjovimas, graviravimas ir reljefinis ornamentinis puošimas.

Lazerinės technologijos pritaikomos ne tik parodomosiose aukštosios mados aprangos kolekcijose, bet ir masinės gamybos produkcijoje, todėl aktualu pagerinti lazeriu apdirbtų gaminių eksploatacines savybes. Siekiant aukštos kokybės gamybos ir dėvėjimo metu, svarbu tinkamai parinkti lazero parametrus, įvertinant gaminių paskirtį bei priežiūros ciklą dažnį.

Remiantis literatūros analize, tyrimui buvo pasirinktos trys tos pačios sudėties (100% poliesteris), bet skirtingo storio, tankumo ir pynimo audiniai. Keičiant CO₂ lazero galią (15 W, 35 W, 60 W) buvo išpjunami skirtingų kryptių stačiakampiai ir apskritimo formos bandiniai. Darbe atlikti cheminio valymo pagal standartą ISO 8229:1991 ir skalbimo pagal standartą LST ISO 6330 testai bei tirta priežiūros ciklo įtaka mechaninėms ir estetinėms lazeriu pjautų bandinių savybėms. Lenkiamasis standumas B tirtas remiantis FAST metodika. Audinio tempimo savybės vertinamos pagal standarto LST EN ISO 13934-1:2013 sąlygas, nustatant didžiausiąją jėgą tempiant F, ištiesę esant didžiausiajai jėgai, ir pradinį tampros modulį. Mechaninės savybės nustatytos prieš ir po eksploataciją imituojančių skalbimo ir valymo testų. Estetinių skalbtų ir valytų bandinių savybių pokytis tirtas optiniu mikroskopu Infinity 5,0 Lumenera Corporation. Apibendrinti tyrimų rezultatus, parengtos išvados ir rekomendacijos. Darbe įrodyta, kad keičiama lazero galia daro įtaką pjauto audinio krašto kokybei bei lazeriu apdoroto elemento savybėms.

Remiantis darbo rezultatais parengtas pranešimas konferencijoje „Pramonės inžinerija 2017“. Straipsnis „CO₂ lazero parametrų įtaka mechaninėms tekstilės medžiagų savybėms ir gaminio kokybei“ įtrauktas į konferencijos pranešimų medžiagą.

Varanavičienė Ernesta. Investigation of Laser Power Influence on Quality of Cut Fabric Edge. Master's thesis. Supervisor assoc. prof. Jurgita Domskienė. Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field: Technological Sciences, Polymers and Textiles Technology

Keywords: textile material, laser, mechanical parameters.

Kaunas, 2017. 61 p.

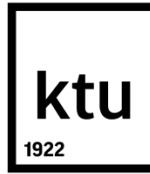
SUMMARY

The purpose of master thesis is to analyse the impact of washing and dry-cleaning processes cycles on the quality of laser cut fabric edge and on the properties of garment when laser power is changed.

In the recent years, a wide use of laser technologies has been noted in the textile industry. Laser can be used for the textile cutting, engraving and ornamental embossing as decoration.

Laser technologies are used not only in demonstration collections, but also in mass production, therefore, there is a relevant problem: how to improve the properties of laser-finished products. In order to improve the performance, it is important to properly select the laser parameters in terms of garment wear, laundry and dry cleaning frequency.

According to the literature analysis, three fabrics of the same composition (100% polyester), but different in thickness, density and weave, were selected for the research. By changing the CO₂ laser power (15 W, 35 W, 60 W), different directions rectangular and circular specimens were cut from these fabrics. Chemical treatment of samples in accordance with the standard ISO 8229:1991 and washing in accordance with standard ISO 6330 were carried out. The FAST methodology was used to determine bending stiffness B of the fabric. Fabric tensile properties were measured according to standard LST EN ISO 13934-1:2013 – an experiment was conducted with samples before and after exploitation, the maximum tensile force F , elongation ε at maximum force, and the initial modulus of the elasticity were determined. Mechanical parameters were fixed with the optical microscope *Infinity 5,0 Lumenera Corporation*, set before and after simulating the operation of washing and cleaning tests. Research was completed with visual evaluation of the edge, comparing the samples before and after exploitation. Results of research were summarized, conclusions and recommendations were prepared. It was proved that the changeable laser power has impact on the quality of the cut edge of the fabric, and properties of the laser-cut element.



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA
BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentei **Ernestai Varanavičienei**

1. Magistro baigiamojo Projekto tema : lazerio galios įtakos pjauto audinio krašto kokybei tyrimas
2. Užbaigto Projekto atidavimo terminas 2017 m. gegužės mėn.
3. Darbo tikslas: ištirti daugkartinio skalbimo ir cheminio valymo įtaką keičiant lazerio galią pjauto audinio krašto kokybei bei lazeriu apdoroto aprangos elemento savybėms.
4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos: darbas turi būti originalus, atliktas laikantis magistrantūros studijų baigiamųjų darbų reikalavimų ir regimo tvarkos.
5. Pradiniai Projekto duomenys: pirminės audinių savybių charakteristikos, lazerio parametrai, skalbimo ir cheminio (sauso) valymo mašinų charakteristikos
6. Projekto teksto struktūra : santrauka (lietuvių ir anglų kalbomis), įvadas; apžvalginė dalis; metodologinė dalis; tyrimo rezultatų dalis; išvados; literatūros šaltinių sąrašas, priedai.
7. Grafinės Projekto dalies sudėtis: darbo pristatymo plakatas
8. Projekto konsultantai: doc. M. Jucienė

Magistrantas.....Ernesta Varanavičienė.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas..... doc. dr. Jurgita Domskienė.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas..... doc. dr. Jurgita Domskienė.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

IVADAS

Aprangos mados pramonė – kintanti, inovatyvi ir nuolat tobulėjanti. Pokyčiai būtini, siekiant patenkinti reiklius ir naujausiomis technologijomis besidominčių žmonių poreikius. Aprangos pramonėje pritaikomos technologijos turi palengvinti kokybiškų drabužių ir aksesuarų projektavimo bei gamybos procesus. Inovacijų ir naujų technologijų populiarumui aprangos pramonėje turi įtakos mados tendencijos - pastaraisiais metais pastebimas lazerinių technologijų panaudojimas.

Naudojant lazerio technologijas, galima sumažinti gaminio apdorojimo trukmę bei automatizuoti gamybos procesus. Lazeriu gali būti atliekamos tokios tekstilės medžiagų operacijos: lazerinis pjovimas, graviravimas ir reljefinis ornamentinis puošimo būdas. Lazerinės technologijos yra itin populiarios ir kasmet jų panaudojimo galimybių spektras vis plečiasi. Šios technologijos naudojamos ne tik parodomosiose aukštosios mados kolekcijose, bet ir masinės gamybos produkcijoje. Masinės produkcijos gaminiai turi būti funkcionalūs, kokybiški ir atsparūs eksploataciniams procesams. Žinoma, kad lazerio apdaila turi įtakos medžiagos struktūrai, spalvai bei mechaninėms savybėms, todėl lazeriu apdorotų gaminių eksploatacinių savybių gerinimas yra aktuali problema.

Siekiant užtikrinti geras gaminio eksploatacines savybes, svarbu tinkamai parinkti lazerio parametrus ir įvertinti gaminių dėvėjimo, skalbimo ir cheminio valymo dažnį.

Baigiamojo darbo tikslas - ištirti daugkartinio skalbimo ir cheminio valymo įtaką pjauto audinio krašto kokybei bei lazeriu apdoroto aprangos elemento savybėms, kai lazerio galia keičiama.

Uždaviniai:

1. Parinkti tiriamus audinius bei darbo metodikas ir išanalizuoti CO₂ lazerio galios bei pramoninio skalbimo ir cheminio valymo įtaką audinio mechaninėms savybėms: lenkiamajam standumui ir tempimui.
2. Sudaryti metodiką ir ištirti skirtingos žaliavos audinio krašto kokybę, kai skirtinga lazerio galia pjauti bandiniai chemiškai valomi ir skalbiami.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Lazerinių technologijų panaudojimas šiuolaikinėje aprangos mados pramonėje

Šiuolaikinėje visuomenėje, esant sparčiam gyvenimo tempui, ypač populiarėja įvairios mokslo inovacijos. Žmonės domisi naujovėmis, stengiasi taupyti laiką ir neabejotinai bando išsiskirti iš minios. Vertinant svarbiausius žmogaus poreikius galima išskirti: maistą, gyvenamąją vietą ir buitį, sveikatą bei, žinoma, aprangą [1]. Šiuolaikinėje visuomenėje, aprangos mados pramonės verslo atstovai privalo domėtis naujausiomis technologijomis ir mados tendencijomis. Pastaraisiais metais drabužių bei tekstilės pramonės srityse stebimas populiarėjantis lazerinių technologijų panaudojimas [2]. Šis pokytis neatsiejamas nuo tarptautinės mados pramonės įtakos, nes beveik visose naujausiose aukštosios mados kolekcijose yra gaminių, kuriuose naudojama lazerinė apdaila [3-5]. Lazeriu gali būti atliekamos įvairios tekstilės medžiagų operacijos. [6]. Lazerinės technologijos leidžia išgauti ne tik linijinius vaizdus, bet ir taškus, vaizdus ar realistiškus paveikslus (žr. 1 pav.).



1 pav. Lazeriu dekoruoti aukštosios mados kolekcijų gaminiai

Mados pramonėje lazeris populiarus dėl tikslumo, švartų ir tiesių įpjovimų, tvirtų ir neirių tekstilės medžiagos kraštų (tinkamai parenkant tekstilės medžiagos struktūrą bei sudėtį). Naudojant lazerį, dažnai labai sudėtingas gamybos procesas tampa daug paprastesnis ir prieinamas plačiam gamintojų ratui. Tačiau lazeris turi nemažai trūkumų: lazerinė apdaila turi įtakos medžiagos struktūrai, spalvai bei mechaninėms savybėms.

Aprangos mados pramonėje lazerinė apdaila dažniausiai taikoma sintetinės žaliavos audiniams. Lazero pjovimas geriausiai veikia sintetinius pluoštus - poliesterį, poliamidą ir pan. Pjovimas lazeriu sintetinius pluoštus lydo, todėl puikiai izoliuoja pjautą kraštą ir jį apsaugo nuo irimo [7]. Natūralios sudėties tekstilės medžiagos dažniausiai naudojamos siekiant išgauti spalvinį, deginto krašto vaizdą, kaip dizaino elementą (žr. 2 pav.) [8].



2 pav. Lazerių kirpto vilnonio audinio dizaino pavyzdys

Kasmet lazerinės technologijos užima vis aukštesnes pozicijas mados olimpe, tačiau galimybės dirbti ir tobulinti šias technologijas (siekiant lazериu pjautam kraštui suteikti ilgaamžiškumą ir gerinti vizualinę natūralios sudėties audinio lazeringo pjovimo kokybę) įmanomos tik didžiausiems šio asortimento gamintojams, nes lazeriai vis dar labai brangūs ir yra sunkiau prieinami smulkesniems verslininkams bei dizaineriams.

Išanalizavus 2016 – 2017 metų mados kolekcijas galima išskirti du lazeringo naudojimo būdus:

1. Drabužių bei aksesuarų bazinių (pagrindinės konstrukcijos) kraštų apdirbimas lazериu – atsisakant klasikinių kraštų apdirbimo technologijų (siuvant palenktus kraštus) [9] (žr. 3 pav.).



3 pav. 2017 metų naujausi aukštosios mados kolekcijos modeliai

2. Lazerių kirptų sudėtingų formų detalių naudojimas dekorui, kuris tvirtinamas ant gaminių, siekiant išgauti 3D efektą [10] (žr. 4 pav.).



4 pav. „Kristi Andress“ kolekcijos modeliai

Lazerinės technologijos – tai galimybė anksčiau tik įsivaizduojamas ir kompiuteryje specialiomis programomis sukurtas 3D formas perkelti ant aprangos gaminių bei aksesuarų.

Remiantis atlikta lazerinių technologijų panaudojimo šiuolaikinėje mados pramonėje analize, galima tvirtinti, kad lazerinės technologijos yra populiarios ir kasmet jų panaudojimo galimybių spektras

vis plečiasi. Šios technologijos naudojamos masinės gamybos produkcijoje, taigi iškyla aktuali problema: kaip pagerinti lazeriu apdirbtų gaminių eksploatacines savybes. Siekiant gerinti eksploatacines savybes svarbu tinkamai parinkti lazerio parametrus, vertinant gaminių dėvėjimo, skalbimo ir cheminio valymo dažnį.

1.2. Lazerio apdailos technologijų tyrimai

Lazeris – tai energijos šaltinis, generuojantis didelės galios elektromagnetinių bangų srautą infraraudonoje, regimojoje, ultravioletinėje spektro dalyje. Lazerio spinduliai medžiagos paviršių veikia koncentruotu energijos srautu [11]. Naudojant lazerio technologijas, galima sumažinti apdorojimo trukmę bei automatizuoti gamybos procesus [12]. Sparčiai populiarėjant lazeriu apdirbtiems gaminiams, jo panaudojimo galimybės ypač sudomino technologijų specialistus, todėl randama daug skirtingų lazerio panaudojimo galimybes tiriančių mokslinių darbų. Daugeliu atveju tiriamas lazerio poveikis audinio spalvai, struktūrai ir mechaninėms savybėms. Sparčiai vystantis technologijoms, lazeriai tampa aktualūs ir įvairiuose aprangos gamybos etapuose. Aprangos gamybos metu lazeris gali būti naudojamas detalių pjovimui, perforavimui, apdailiniam graviravimui ir medžiagos sendinimui. Atlikus perforaciją, kinta medžiagų tankis. Perforavimas atliekamas itin dideliu tikslumu, išgaunant įvairių formų kiaurymes, įpjovas. Perforavimas lazeriniu užtikrina aukštesnę atlikimo kokybę ir geresnį estetinį vaizdą nei mechaninis [13].

Vienas didžiausių trūkumų apdorojant tekstilės medžiagas lazeriu yra stiprus lazerio poveikis medžiagos struktūrai, nes sumažinamas pluošto stiprumas. Siekiant įvertinti graviravimo ar dažymo lazeriu sukeltus medžiagų struktūrinius pažeidimus, dažnai naudojamas skenuojančių elektronų mikroskopas (SEM) [14]. Taip pat daromi šlapumo, glito ir balinimo bandymai. Apdirbimo dujinio lazeriu įtaka medžiagos paviršiui nustatoma morfologinės analizės metu naudojant SEM. Taip nustatomas skirtingo dydžio nupjautų kraštų šiurkštumas, kurį sukelia šilumos efektas.

Pjaunant sudėtingus apdailos raštus ar taikant mechaninius aprangos detalių pjovimo metodus, susiduriama su galimais pjovimo greičio apribojimais, poreikiu reguliariai atlikti pjovimo įrankio ašmenų galandimą [15]. Sėkmingam įvairių raštų pjovimui naudojamas nuolatinio veikimo CO₂ lazeris, kuris optimizuojamas 3D modeliais. Lazerio naudojimas aprangos pramonėje sparčiai tobulėja, kadangi sukuriama vis jautresnės kompiuterizuotos, motorizuotos pavaros, užtikrinančios didelį spindulio judėjimo tikslumą. Lazeriu pjaunamų tekstilės medžiagų krašto kokybę galima užtikrinti tik panaudojus

technologinių parametrų derinius. Naudojant skirtingus lazerio parametrus (galią ir greitį), galima surasti racionalų efektą, kuris tenkintų pjovimo kokybės reikalavimus.

I. Kavoliūnaitės ir V. Urbelio tyrime „Lazeriu nupjautų aprangos medžiagų struktūros mikroanalizė“ [16] buvo siekiama ištirti lazeriu išpjautų, skirtingos pluoštinės sudėties tekstilės medžiagų kirptinių kraštų kokybę. Darbe atlikta lazeriu pjautų medžiagų kirptinių kraštų morfologinė analizė optiniu mikroskopu ir rekomenduoti optimalūs lazerio pjovimo technologiniai parametrai. Tyrimo objektas – audinių ir megztinių medžiagų pjautiniai kraštai. Siekiant nustatyti audinių ir megztinių medžiagų pluoštinės sudėties įtaką lazerinio pjovimo kokybei, buvo parinktos skirtingos pluoštinės sudėties bet artimos struktūros medžiagos. Visos tirtos medžiagos buvo panašaus paviršinio tankio bei storio.

Autorių tyrimo rezultatai: lazeriu nupjautų audinių ir megztinių medžiagų pjūvių zonose atsiradusio lydalo morfologiją bei pjūvio kokybę nulemia medžiagų pluoštinė sudėtis. Jei medžiaga turi daugiau nei 50% natūralaus pluošto, tai lydalas yra nepakankamai stabilus ir atskirose dalyse linkęs trupėti. Didėjant PES kiekiui medžiagoje, lydalo plotis *PI* mažai keičiasi, tačiau pati jo struktūra tampa vienodesnė, labiau vientisa, stabilesnė ir atspari nedidelėms deformacijoms. Lazerinio pjūvio kokybę nulemia ir medžiagos pradinės charakteristikos.

Tyrimą „Lazeriu pjautų tekstilės medžiagų kraštai“ atliko autoriai Nukman Yusoff¹, Noor Azuan Abu Osman, Khairi Safwan Othman, Harizam Mohd Zin iš Malaizijos [17]. Tyrimui pasirinktos penkios skirtingos tekstilės medžiagos (medvilnė, šifonas, „habutae“ šilkas, džersis ir atlasas) bei tiriami skirtingi lazerio pjovimo parametrai: galia (P) 100-500 W ir pjovimo greitis (V) 60 mm/s - 600 mm/s. Analizuojamos pasirinktų tekstilės medžiagų mechaninės savybės: įpjovos plotis, pusės linijos ilgis, apskritimo diametras, procentinė viršutinės įpjovos dalis, pjūvio gylis, medžiagų pašalinimo diapazonas. Autorių tyrimo rezultatai atskleidžia, kad tiksliam pjovimui geriausia pasirinkti šiuos lazerio nustatymus – lazerio galią (P) 100W ir greitį (V) 600 mm/s. Lazeriniam pjovimui tinkamiausias medvilninis audinys, netinka – šifonas. Taip pat svarbu tinkamai parinkti klojinio sluoksnių skaičių (pjauant daugiau nei vieną tekstilės medžiagą).

Lazerio galios įtakos audinio standumui tyrimą atliko L. Čepukonė ir M. Jucienė [18]. Remiantis mechaninėmis medžiagų savybėmis buvo nustatoma audinių elgsena gaminio eksploatavimo metu. Pagrindinės aprangos gaminių mechaninės savybės yra medžiagų stiprumas, standumas, gniuždymas esant mažoms apkrovoms.

Tyrimais įrodyta, kad lazerio apdaila turi įtakos audinio storiui – didinant lazerio galią, audiniai suplonėja nuo 0,01 mm iki 0,30 mm. Nors lenkiamasis standumas priklauso nuo audinio storio, pluoštinės sudėties bei kirpimo krypties, tiriamuose audiniuose gautos skirtingos priklausomybės tarp lazerio galios ir standumo pasikeitimo. Taigi tyrimo rezultatai įrodo, kad lazerinis apdirbimas turi įtakos audinio struktūros kitimui bei keičia jo mechanines savybes.

Remiantis atlikta lazeriu apdorotų gaminių asortimento analize [2], galima tvirtinti, kad dažniausiai tokie gaminiai naudojami proginių drabužių sektoriuje. Svarbu paminėti, kad lazerinės technologijos naudojamos ne tik austoms tekstilės medžiagoms, bet ir vestuvinių bei proginių suknelių gamybai naudojamiems nertiems ar megztiems nériniams bei gipiūrai [19]. Jau žinoma, kad lazerinės technologijos suteikia galimybę trumpinti gaminio apdorojimo trukmę. Šio sektoriaus gaminių gamybos procesas tai patvirtina. Minėti nériniai ir gipiūras anksčiau buvo karpomi rankomis, o tai labai ilgas ir varginantis procesas. Pastaraisiais metais technologai šiam procesui naudoja CO₂ lazerius.

Šį procesą autoriai P. Bamforth, K. Williams, M.R. Jackson tyrė darbe „CO₂ lazeriu pjauto krašto kokybės optimizavimas nailono tekstilei“ [20]. Šio tyrimo tikslas – austi trijų metrų pločio nérinio smulkinimas CO₂ lazeriu, siekiant sumažinti deformacijas (t. y. nérinio geometrijos iškreipimus, krašto lydalo netolygumus ir t. t.), atsiradusias dėl lazerio pjovimo parametrų. CO₂ lazerio pjovimas buvo optimizuotas 3D trumpalaikio baigtinio skirtumo modelio pagalba. Lazeriu pjauto krašto kokybė gerinama pjaunant netolygiai, o procesą skaidant – naudojant trumpą, pulsuotą lazerio spindulio procesą su tyrime nurodytais parametrais.

1.3. Pramoninio skalbimo įtakos tekstilės medžiagų savybėms tyrimai

Vis dažniau lazerinis apdirbimas naudojamas drabužių masinėje gamyboje. Dažnai dėvimiesiems drabužiams aktualu išsaugoti kokybę viso dėvėjimo metu. Vienas aktualiausių eksploatacinių poveikių – dažnas dėvimo drabužio skalbimas [21].

Būtina pastebėti, kad lazerio apdaila pasižymi tam tikrais trūkumais, vienas iš jų – lazerio apdailos įtaka gaminio spalvai [22]. Atlikti tyrimai su sintetiniais pluoštais, tokiais kaip poliamidas, poliesteris ir kt., įrodė, kad didelė lazerio UV spinduliuotės absorbcija sukelia audinių struktūros destrukciją, kurios metu kinta polimerų paviršius, metmenų ir ataudų sukibimas, mechaninės savybės. Mokslinėje literatūroje konstatuojama, kad šiuos audinio savybių ir struktūros pokyčius daugiausiai

lemia lazerio technologiniai parametrai: greitis, energijos tankis, spindulio intensyvumas ir kt. Vertinant lazerio apdailos įtaką audinių spalvai, svarbu įvertinti visus lazerio technologinius parametrus. Pramoninis skalbimas ir daugkartinis (namų sąlygomis) skalbimas yra vieni svarbiausių faktorių, veikiančių jau pasiūtų gaminių kokybę. Prieš tiriant daugkartinio pramoninio skalbimo poveikį lazeriu pjautų, skirtingų sudėčių audinio kraštams, būtina išanalizuoti jau atliktų pramoninio skalbimo tyrimų išvadas.

Vienas tokių tyrimų, M. Jucienės, V. Dobilaitės ir G. Kazlauskaitės atliktas mokslinis tyrimas – „Pramoninio plovimo įtaka medvilninio audinio ypatybėms“ [23]. Darbe buvo tiriamas šiuo metu populiarus ir madingas medvilninis audinys (98% medvilnė, 2% elastanas). Medvilninis audinys buvo skalbiamas skirtingomis pramoninio skalbimo technikomis: plovimas chloro tirpale, skalbimas su enzimais, skalbimas su dviguba enzimų doze ir silikoninis minkštinimas. Visi bandiniai buvo nusausinami ir džiovinami normaliomis sąlygomis.

Tyrimė įrodyta, kad didžiausia įtaka medvilninio audinio ypatybių pasikeitimui buvo padaryta silikoninio minkštinimo proceso metu. Iš visų skalbimo procesų galima išskirti plovimą su enzimais, kuris padarė didelę neigiamą įtaką medvilninio audinio storiui – bandiniai išplonėjo. Tačiau didžiausi medvilninio audinio struktūrinių ypatybių pakitimai pastebimi po plovimo su chloru. Remiantis gautais rezultatais, tyrimo autorės rekomenduoja šį skalbimo būdą pakeisti paprastuoju minkštinimu ar skalbimu su fermentais. Paprastasis minkštinimas mažiausiai veikia audinio savybes, įtakos turi tik audinio storio pakitimui. Tirtų bandinių audinio storis padidėjo.

Lazerinė apdaila yra plačiai taikoma medžiagų perforavimui, graviravimui, balinimui ar blukinimui. Taip pat gali būti naudojama ne tik aprangos medžiagų estetinių savybių pakeitimui, bet ir komforto savybių gerinimui. Lazerinės technologijos procesai pasižymi aukšta kokybe, dideliu tikslumu, našumu bei ekonomiškumu. Blukintų aprangos gaminių, ypač džinso, pramoninė gamyba reikalauja labai didelių vandens sąnaudų ir įvairių cheminių produktų naudojimo. Pastaruoju metu džinsinio audinio gaminių blukinimui, kaip alternatyva tradiciniams gamybos būdams, naudojami dujiniai CO₂ lazeriai.

Kitame moksliniame tyrimė, Ž. Juchnevienė, M. Jucienė, V. Urbelis analizavo skalbimo įtaką lazeriu apdoroto džinsinio audinio spalvos pokyčiui [24]. Šio tyrimo tikslas – nustatyti skalbimo įtaką skirtingų technologinių parametru lazeriu apdoroto džinsinio audinio spalvai.

Tyrimė nustatyta, kad būtina suderinti gamybos procesus – lazerinę apdailą ir atliekamą skalbimo procesą, nes neteisingai parinkti lazerio technologiniai parametrai gali pažeisti audinį, o kartu

ir gaminį likusios gamybos technologinio proceso metu. Taip pat gauta, kad daugiausiai spalvos pokytis ΔE_s po skalbimo proceso kito keičiant lazerio galią. Nustatyta, kad po skalbimo spalvos pokytis ΔE_s kito iki ~50% mažiau nei prieš skalbimą. Pagal HSB spalvų sistemą visais atvejais po lazerinės apdailos išskalbtų džinsinių audinių spalvos sodris $S_s(\%)$ ir skaitis $B_s(\%)$ sumažėjo, dėl to džinsinių audinių paviršius įgijo blukinimo efektą, o spalvos tonas $H_s(^{\circ})$ perėjo iš mėlyno į žydrą.

Dar viename tyrime, buvo nustatyta, kad pramoninis skalbimas blogina tekstilės medžiagų stiprumo savybes [25]. Dvi tekstilės medžiagos (pluoštinė sudėtis: 100 % medvilnė ir 98,5 % medvilnė, 1,5 % spandeksas) buvo skalbiamos keturiais skirtingais būdais su (skalbiant enzimais, su enzimais ir balikliu, su enzimais ir smulkiais akmenimis, ir su enzimais, balikliu ir akmenimis bei keičiant skalbimo trukmę 10, 30, 50, 70 ir 90 minučių). Skalbtiems bandiniams buvo atliktas standartizuotas audinių tempimo testas tam skirta specialia tempimo mašina. Buvo įrodyta, kad skalbimas blogina audinio stiprumo savybes visomis audinio kryptimis, o iš visų keturių skalbimo būdų pats tinkamiausias ir mažiausiai medžiagą silpninantis būdas- skalbimas su enzimais ir smulkiais akmenimis.

Apibendrinus visus mokslinių tyrimo rezultatus, galima teigti, kad pramoninis skalbimas daro įtaką tekstilės medžiagų savybėms, o siekiant sumažinti neigiamą poveikį, svarbu tinkamai parinkti skalbimo parametrus bei skalbiklius.

1.4. Cheminis tekstilės medžiagų valymas

Cheminis valymas – tai drabužių ar tekstilės valymas specialioje mašinoje (5 pav.) [26], kurioje dėmės pašalinamos tik cheminiais preparatais, nenaudojant vandens [27]. Manoma, kad toks valymo būdas atsirado Prancūzijoje 1828 m. 1900 m. mokslininkai išrado chloruotus angliavandenilius, kurie yra sunkiai užsidegantys tirpikliai. Pradžioje anglies tetrachloridas buvo plačiausiai naudojamas, tačiau dėl savo toksiškumo jis buvo pakeistas tetrachloretilenu (tetrachloroethylene), taip pat žinomu kaip perchloretilenu (perchloroethylene, PERC). PERC yra bespalvis, skaidrus, tirštas skystis, kurio suvartojimas cheminėse valyklose siekia 90% [28].



5 pav. Speciali cheminio valymo mašina Bowe (P 300) [26]

Cheminio (vadinamojo „sausos“) valymo proceso metu specialistai įvertina drabužio audinių sudėtį, dėmes ir patepa jas reikiama chemikalais. Toliau vykdomas plovimas ir džiovinimas. Drabužiai į skalbimo mašinas sudedami rankomis ir sukami dideliu greičiu, kad tirpikliai pasišalintų iš audinio. Kai tirpikliai pašalinti, drabužis dar kartą sausai centrifuguojamas. Šiltas oras išgarina tirpiklių likučius. Švaraus oro ventiliacija naudojama drabužiui išvėdinti. Drabužiai yra išimami ir nešami į presavimo mašiną, kur jie yra šildomi iki 150° C temperatūros. Filtravimas ir distiliavimas yra pagrindiniai cheminiai procesai padedantys pašalinti PERC tirpalo likučius [29]. Būtina atkreipti dėmesį, kokį didelį žalingą poveikį cheminis (sausas) valymas sukelia žmogaus sveikatai [30]. Siekiant įvertinti cheminio valymo poveikį žmogaus sveikatai, buvo atliekami moksliniai tyrimai [31]. Įrodyta, kad cheminio valymo metu naudojami chemikalai neigiamai veikia žmogaus sveikatą. Tuomet drabužio audinio struktūrai jis turėtų turėti dar didesnę poveikį.

JAV koledže (College of Arts and Interior Design) autoriai Haifa I. H. Al-Shibi, Huda S. A. Habib, Yasser M.E. Hassan atliko cheminio (sausos) valymo poveikio vilnonių/akrilinių audinių mechaninėms bei fizikinėms savybėms tyrimą [32]. Tyrimui atlikti buvo parenkami trijų skirtingų sudėčių audiniai (100% vilna, 80% vilna ir 20% akrilas, 30% vilna ir 70% akrilas). Tyrimo metu paruošti bandiniai buvo chemiškai (sausai) valomi 5, 10, 15 kartų tokiomis sąlygomis:

- Valoma tirpikliu PERC (C₂L₄), be papildomų priedų
- Valymo trukmė – 30 minučių
- Džiovinimo temperatūra – 50° C
- Garų slėgis – (3-4) bar

Chemiškai (sausai) išvalytiems bandiniams buvo atlikti tokie tyrimai:

1. Audinių tempimo stiprumo ir pailgėjimo tyrimas: pokyčiai vertinami specialiu VEBRaučen (VPM) z179) aparatu pagal ASTM D - 1683-64 standarto metodiką.
2. Audinio raukšlės atsistatymas – buvo matuojamas pagal ASTM D 1295-67 standarto metodiką.
3. Audinio lygumo nustatymas – vertinamas matuojant audinio trinties koeficientą Shirley Friction Tester SDL įrenginiu pagal metodiką B.S.-3424:1974.
4. Audinio storis buvo išmatuotas Erazier aparatu pagal B.S.-2544 metodiką.

Šios analizės rezultatai rodo, kad cheminis (sausas) valymas daro didelę įtaką mechaninėms audinio savybėms. Didžiausią neigiamą efektą audinio stiprumui turėjo cheminio valymo procese naudojamas PERC tirpalas, o didžiausias pokytis nustatytas po 15 valymo ciklų. Tiriant audinio raukšlėtumą buvo nustatyta, kad mišrios sudėties bandinių raukšlėtumas sumažėjo veikiant cheminiam skalbimui, tačiau bandinių susitraukimas padidėjo, o storis akivaizdžiai sumažėjo.

Remiantis mokslinio straipsnio analize, sauso valymo procese naudojamos cheminių medžiagos skirstomos į dvi kategorijas [33]:

1. Tirpikliai (kamparo nafta, benzenas, žibalas, baltas benzinas, naftos tirpikliai, anglies tetrachloridas, perchloretilenas, trichloretilenui ir t.t.).
2. Kitos medžiagos (plovikliai, optiniai balikliai, baktericidai, kondicionieriai, minkštikliai, antistatikai ir kiti drabužių valymui skirti chemikalai).

Minėtų chemikalų poveikį audinio (pluoštinė sudėtis 100% medvilninė) fizikinėms savybėms tyrė autoriai Zulfikar Hasa ir Shamim Alam [33]. Autoriai lygino cheminio valymo procese naudojamų trijų skirtingų (perchloretileno, benzino ir žibalo) tirpiklių poveikį tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms. Buvo paruošiami dviejų tipų bandiniai: kirpti bandiniai bei siūliniai audinio sujungimai. Bandiniai buvo ištepami alyva, tepalu, dažais, dirvožemiu ir prakaitu. Tuomet cikliškai valomos dėmės bei vertinami audinio spalvos pokyčiai, siūlės stiprumas ir audinio masės pokytis. Nustatyta, jog tinkamiausias tirpiklis – perchloretilenas – jis mažiausiai keičia fizikines audinio savybes.

Atlikta mokslinės literatūros analizė parodė, kad lazeriu kirptų audinio kraštų savybių bei kraštų tvirtumui tirti naudojami pramoninio, daugkartinio (namų sąlygomis) skalbimo bei cheminio valymo tyrimai, yra aktualūs ir naudingi. Būtina atsižvelgti į tai, kad lazeriu apdorotų gaminių rinkoje nuolat daugėja, todėl būtina moksliai iširti tokių gaminių tvirtumą bei ilgaamžiškumą. Apžvelgtuose moksliniuose tyrimuose vertinama lazeriu kirptos medžiagos mikrostruktūra, pramoninio skalbimo ir cheminio (sausas) valymo tyrimai.

2. TYRIMO OBJEKTAI IR METODIKA

Atlikta literatūrinė analizė parodė, kad lazerinių technologijų panaudojimas aprangos pramonės sektoriuje sparčiai populiarėja. Atsižvelgiant į šią tendenciją, atliekama vis daugiau įvairių mokslinių tyrimų, siekiant išsiaiškinti lazerio poveikį audiniams ir medžiagoms. Vis dėlto beveik neaptikta mokslinių tyrimų, kurie tirtų lazeriu apdirbtų audinių pokytį eksploatacijos metu, po skalbimo ir cheminio valymo. Tokio tipo tyrimai labai svarbūs, nes daugėjant lazeriu apdirbtų gaminių rinkoje, jie turi būti atsparūs daugkartiniam skalbimui ir cheminiam valymui.

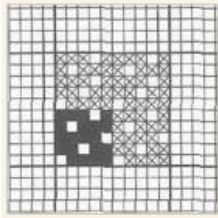
Šio darbo tikslas ištirti daugkartinio skalbimo ir cheminio valymo įtaką pjauto audinio krašto kokybei bei lazeriu apdoroto aprangos elemento savybėms, kai lazerio galia keičiama.

2.1. Tiriama audiniai ir jų charakteristikos

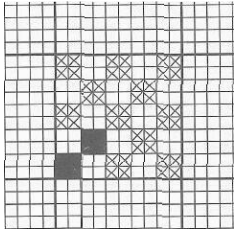
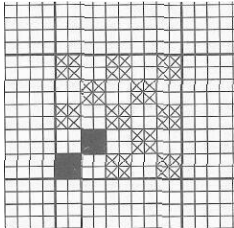
Remiantis rinkos analize [2] nustatyta, kad lazeriu apdirbti gaminiai ypač populiarūs proginių bei vestuvinių suknelių sektoriuje. Tokie gaminiai dažniausiai gaminami iš atlaso bei šifono [34]. Dėl šios priežasties tyrimams pasirenkami trys vienodos sudėties (100% poliesteris) [35-37], bet skirtingo storio bei tankumo audiniai (1 lentelė).

Tirtų audinių metmenų ir ataudų siūlų tankumas nustatytas remiantis LST EN 1049-2;1998 standartu [38]. Audinio storis nustatytas pagal standarto LST EN ISO 5084:2000 [29] reikalavimus. Stormačiu *Schmidt* (paklaida $\pm 0,01$ mm) storis δ matuojamas penkiose vietose, esant 1,0 kPa slėgiui. Audinių paviršinis tankis nustatytas pagal standartą LST EN 12127:1999 [30]. Tirtų audinių sandaros charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

1 lentelė. Tyrime naudojamų medžiagų pavyzdžiai

Žymėjimas	Pynimas	Audinio pavyzdys
A1	Atlasinis 	

1 lentelė. Tęsinys

A2	<p style="text-align: center;">Drobinis</p> 	
A3	<p style="text-align: center;">Drobinis</p> 	

2 lentelė. Tirtų audinių charakteristikos

Žymėjimas	Audinio pluoštinė sudėtis	Storis δ , mm	Paviršinis tankis W , g/m^2	Tankumas P , cm^{-1}	
				Metmenų kr. P_m	Ataudų kr. P_a
A1	100% poliesteris	0,30	107	54	42
A2	100% poliesteris	0,26	75	33	34
A3	100% poliesteris	0,18	47	45	32

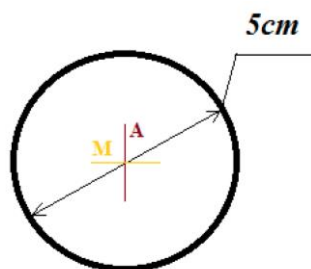
2.2. Bandinių paruošimo metodika

Tyrimuose naudojami 2 tipų bandiniai: 50mm skersmens apskritimai ir stačiakampiai 200x50 mm dydžio bandiniai. Bandiniai buvo pjaunami *Golden lazer* CO₂ lazeriu, kiekvieną audinį pjaunant pastoviu greičiu V 70mm/s, tačiau keičiant galią 15 W, 35 W ir 60 W.

2.2.1. Apskritimo formos bandiniai

Ant visų apskritimo formos bandinių tekstiliniu žymekliu pažymimos metmenų, ataudų ir įstriža kryptys (žr. 6 pav.). Iš kiekvieno audinio skirtingomis galiomis bet tokiu pat greičiu išpjaunama po 20 vnt. apskritimo formos bandinių (3 lentelė). 10 vnt. bandinių bus skiriama daugkartiniam pramoniniam skalbimui, 5 vnt. cheminiam valymui ir 5 vnt. be papildomo poveikio palyginimui.

Apskritos formos bandiniai leidžia įvertinti skirtingos siūlų sistemos elgseną cheminio valymo ir skalbimo metu. Be to, tokia forma puikiai reprezentuoja kreivalinijinius dekoratyvinius elementus, dažniausiai naudojamus proginės aprangos puošybai.



6 pav. Apskritimo formos bandinio paruošimo schema

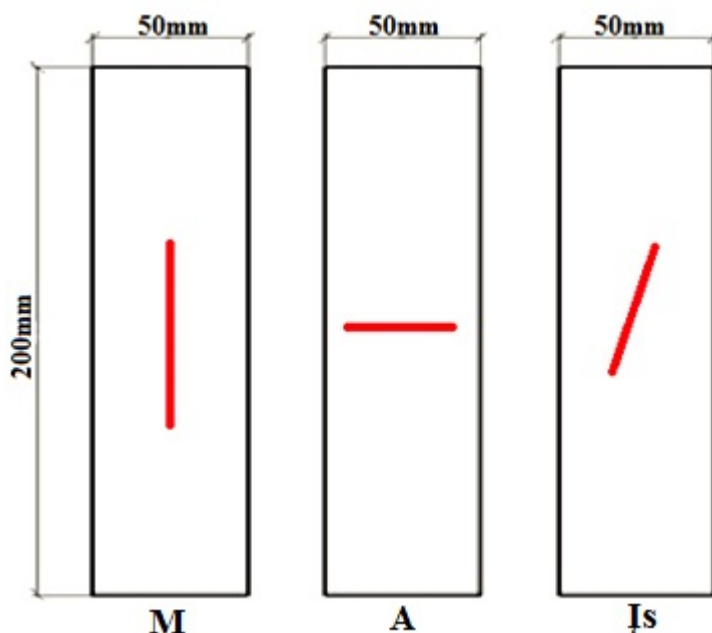
3 lentelė. Apskritimo formos bandinių kodavimas ir paruošimo charakteristikos

Žymėjimas	Galia P,W	Greitis V, mm/s	Kiekis, vnt
A1 audinio bandiniai			
A1A-1	15	70	20
A1A-2	35	70	20
A1A-3	60	70	20
A2 audinio bandiniai			
A2A-1	15	70	20
A2A-2	35	70	20
A2A-3	60	70	20
A3 audinio bandiniai			
A3A-1	15	70	20
A3A-2	35	70	20
A3A-3	60	70	20

2.2.1. Stačiakampio formos bandiniai

Šie bandiniai bus naudojami lenkiamojo standumo bei tempimo savybių nustatymui. Iš kiekvieno audinio išpjaunami 3 skirtingų krypčių (ataudų, metmenų ir įstriža) bandiniai keičiant lazerio galią (15W, 35W, 60W). Kiekvienos sistemos gauta po 20 vienetų bandinių.

Rezultatų palyginimui žirkėmis iškerpami tokių pat charakteristikų (skirtingų audinių, skirtingų krypčių, 200x50 mm dydžio) bandiniai.



7 pav. Stačiakampio formos bandinių paruošimo schema

4 lentelė. Stačiakampio formos bandinių kodavimas ir paruošimo charakteristikos

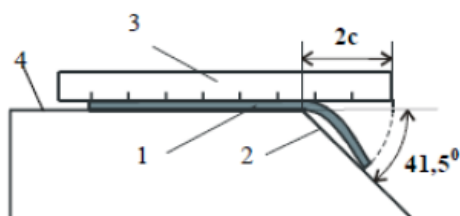
Žymėjimas	Galia P,W	Greitis V, mm/s	Kiekis, vnt.
A1 audinio bandiniai			
A1B-15			
A1B-15A - Ataudų kryptimi	15	70	20
A1B-15M - Metmenų kryptimi	15	70	20
A1B-15Įstr - Įstriža kryptimi	15	70	20
A1B-35			
A1B-35A - Ataudų kryptimi	35	70	20

A1B-35M - Metmenų kryptimi	35	70	20
A1B-35Įstr - Įstriža kryptimi	35	70	20
A1B-60			
A1B-60A - Ataudų kryptimi	60	70	20
A1B-60M - Metmenų kryptimi	60	70	20
A1B-60Įstr - Įstriža kryptimi	60	70	20
A2 audinio bandiniai			
A2B-15			
A2B-15A - Ataudų kryptimi	15	70	20
A2B-15M - Metmenų kryptimi	15	70	20
A2B-15Įstr - Įstriža kryptimi	15	70	20
A2B-35			
A2B-35A- Ataudų kryptimi	35	70	20
A2B-35M- Metmenų kryptimi	35	70	20
A2B-35Įstr- Įstriža kryptimi	35	70	20
A2B-60			
A2B-60A- Ataudų kryptimi	60	70	20
A2B-60M- Metmenų kryptimi	60	70	20
A2B-60Įstr- Įstriža kryptimi	60	70	20
A3 audinio bandiniai			
A3B-15			
A3B-15A- Ataudų kryptimi	15	70	20
A3B-15M- Metmenų kryptimi	15	70	20
A3B-15Įstr- Įstriža kryptimi	15	70	20
A3B-35			
A3B-35A- Ataudų kryptimi	35	70	20
A3B-35M- Metmenų kryptimi	35	70	20
A3B-35Įstr- Įstriža kryptimi	35	70	20
A3B-60			
A3B-60A- Ataudų kryptimi	60	70	20
A3B-60M- Metmenų kryptimi	60	70	20
A3B-60Įstr- Įstriža kryptimi	60	70	20

2.3. Tyrimų metodika

2.3.1. Lenkiamasis standumas

Standumo tyrimas atliekamas remiantis FAST metodika [31], naudojant standą, kurios schema pateikta 8 pav.eiksle, kai 1 – medžiagos bandinys, 2 – nuožulni plokštuma, 3 – slankiojanti plokštelė, 4 – horizontali plokštuma.



8 pav. Lenkiamojo standumo nustatymo metodika

Medžiagos lenkiamasis standumas apskaičiuojamas pagal formulę:

Medžiagos lenkiamasis standumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B = W \times c^3 \times 9,807 \times 10^{-6}, \quad (1)$$

čia W – medžiagos paviršinis tankis, g/m² ir c – pusė nusvirusio bandinio dalies ilgio, mm.

Pokytis

Lazerio parametrų įtaka pjauto bandinio mechaninėms savybėms buvo vertinta apskaičiuojant matuojamų parametrų pokytį pagal formulę:

$$pokytis = \frac{(parametras_{lazeris} - parametras_{kirpta})}{parametras_{kirpta}} \times 100. \quad (2)$$

2.3.2. Audinio tempimo savybės

Audinio tempimo charakteristikos (trūkimo jėga F (N), trūkimo ištįsa ε (%)) nustatomos universalia kompiuterizuota tempimo mašina *Tinius Olsen H10KT*, laikantis standarte LST EN ISO 13934-1:2013 [32] nurodytų sąlygų. Bandinio darbinė zona 50×100 mm, o deformacijos greitis $v = 100$ mm/min. Siekiant išanalizuoti tempimo jėgų įtaką mažų apkrovų atveju, įvertintas bandinių standumas tempimui, kaip standumo koeficientas E , nustatomas pagal liestinės pradiniai tempimo kreivės daliai polinkio kampo tangentą.

Audinio stiprumo ir tūsumo rodiklio galutiniu rezultatu laikomas penkių bandinių didžiausiosios trūkimo jėgos ir ištįsos, esant tai jėgai, aritmetinis vidurkis. Eksperimento matavimų variacija neviršijo 10 procentų.

2.3.3. Lazeriu pjautų bandinių morfologinė analizė

Audinių pjūvių morfologinė analizė atlikta optiniu mikroskopu *Infinity 5,0 Lumenera Corporation* (žr. 9 pav.) ir kompiuterine įranga *Infinity Analyze*. Eksperimento metu bandinio paviršius gali būti padidinamas iki 200 kartų ir analizuojama apskrito bandinio kraštų kokybė, įvertinant išlydyto krašto tolygumą, susidariusio lydalo storį, pjūvio netolygumus.



9 pav. Optinis mikroskopas 5,0 Lumenera Corporation

2.3.4. Daugkartinis skalbimas

Paruošti bandiniai išskirstomi, atliekamas daugkartinis skalbimo testas namų sąlygomis pagal standartą LST ISO 6330 [33]. Skalbiama dviem būdais iki 3 ciklų. Kiekvieno audinio skirtingų temperatūrų, vienodu greičiu pjauti (pvz. A1-1, A1-2, A1-3 ir t.t.) 10 bandinių, skirstomi į dvi dalis po 5 vnt., tuomet plaunami po 3 kartus 30° ir 40° laipsnių temperatūrose. Išskalbti bandiniai džiovinami horizontalioje padėtyje kambario temperatūroje. Skalbikliai naudojami tie patys. Daugkartinio skalbimo būdai aprašomi 5 lentelėje.

5 lentelė. Daugkartinio skalbimo būdai

Daugkartinio skalbimo būdai	Aprašymas	Bandiniai	Kiekis, vnt.	Procedūros dažnis, kartais
I būdas	Bandiniai skalbiami skalbimo mašinoje, 30° laipsnių temperatūroje 30 minučių, naudojant specialų skystą skalbiklį.	A1A-1 A1A-2 A1A-3 A2A-1 A2A-2 A2A-3 A3A-1 A3A-2 A3A-3	5	3
II būdas	Bandiniai skalbiami skalbimo mašinoje, 40° laipsnių temperatūroje 30 minučių, naudojant specialų skystą skalbiklį.	A1A-1 A1A-2 A1A-3 A2A-1 A2A-2 A2A-3 A3A-1 A3A-2 A3A-3	5	3

2.3.5. Cheminis valymas

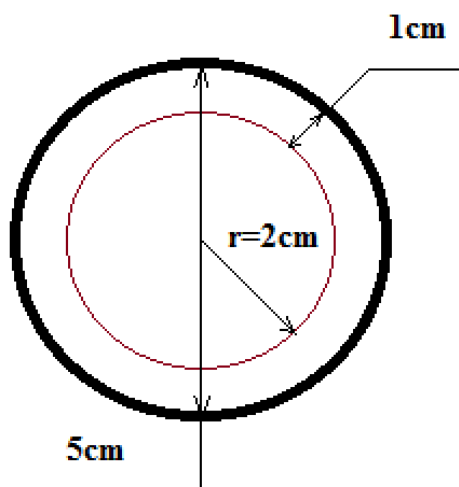
Bandiniams atliekamas daugkartinis cheminis valymas. Cheminio valymo mašina, apskritimo ir stačiakampio formos bandiniai (po 5 vnt.) chemiškai valoma penkis kartus, veikiant tokiais pat parametrais ir chemikalais (6 lentelė).

6 lentelė. Cheminio valymo charakteristikos

Mašinos pavadinimas	Cheminio valymo trukmė	Džiovinimo temperatūra, °C	Cheminiam valymui naudojamos cheminės medžiagos	Valymo dažnis
Bowe P 300	60 minučių: <ul style="list-style-type: none"> • 15 min. valymas, • 45 min. džiovinimas 	60° C	Valoma tirpikliu PERC (C ₂ L ₄), be papildomų priedų.	3 kartai

2.3.6. Vizualinis pjauto krašto vertinimas

Prieš atliekant tolimesnius tyrimus, visi žymėti bandiniai skenuojami Cannon skeneriu 600 dpi raiška. Pjauto krašto kokybei vertinti atliekamas vizualinis skaitmeninis lazeriu kirptų bandinių kraštų tyrimas. Analizuojami apskritimo formos bandinių vaizdai prieš ir po eksploatacijos imitavimo (pramoninio skalbimo ir cheminio valymo). Skirtingomis spalvomis sužymėtos audinių kryptis (Juoda – metmenų, raudona – ataudų, geltona – striža kryptys). Vizualiai vertinamas bandinio kraštų irumas, estetinė išvaizda bei spalvos pokytis (10 pav.).



10 pav. Bandinio vertinimo schema

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APITARIMAS

3.1. Lazerio galios įtaka pjauto audinio lenkiamą standumo savybėms

Žinoma, kad lenkiamasis standumas priklauso nuo audinio storio, pluoštinės sudėties bei bandinio kirpimo krypties.

Darbe nustatyta, kad poliesterinių audinių lazerio apdorojimo metu didinant galią, lenkiamasis standumas didėja atsižvelgiant į bandinio kryptį. Siekiant palyginti rezultatus, lenkiamą standumo tyrimas atliekamas ne tik lazeriu pjautiems stačiakampiams bandiniams, bet ir žirkklėmis kirptiems bandiniams, kurių kirptinis kraštas nesustandinamas lydalų.

Lenkiamą standumo rezultatai, įvertinant bandinių tipą ir kryptį, pateikiami atitinkamai lentelėse kiekvienam audiniui atskirai: A1 (7 lentelė), A2 (8 lentelė), A3 (9 lentelė).

7 lentelė. A1 audinio bandinių lenkiamasis standumas

A1	Lenkiamasis standumas B , (μNm)						
	15W	Pokytis, %	35W	Pokytis, %	60W	Pokytis, %	Kirpti
A1A	3,13	181,98	4,23	281,08	3,54	218,99	1,11
A1M	6,86	48,16	6,33	36,72	4,98	7,56	4,63
A1Įst.	3,13	137,12	2,47	87,12	2,05	55,3	1,32

A1 audinio bandinių lenkiamasis standumas akivaizdžiai kinta, lyginant lazeriu pjautus bei kirptus bandinius. Beveik visomis audinio kryptimis bei CO₂ lazerio pjovimo galiomis apdirbtų bandinių lenkiamasis standumas didėja. Bandinius pjaunant 15W galia, didžiausias lenkiamą standumo pokytis ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose – rodiklis B padidėjo 2,81 karto (pokytis 181,98%). Įstrižos krypties bandiniuose B didėjo šiek tiek mažiau – 2,37 karto (pokytis 137,12 %), o mažiausiai – 1,48 karto (35,46%) – padidėjo metmenų krypties bandiniuose. A1 audinyje didžiausias matomas pokytis buvo tiesiogiai proporcingas didėjančiai CO₂ lazerio galiai. Kuo pjovimo galia didesnė – šiuo atveju 35W, tuo didesnis lenkiamą standumo pokytis. Didžiausias lenkiamą standumo pokytis, lyginant ataudų

kryptimi pjautus su kirptais bandiniais, buvo net 3,8 karto (281,08%). Vidutiniškai (87,12%) pokytis didėjo 2 kartus įstrižos krypties bandiniuose, o mažiausias pastebimas pokytis – 1,37 karto (36,72%) – metmenų kryptimi pjautuose bandiniuose. Bandinius pjaunant 60W galia, didžiausias lenkiamojo standumo pokytis buvo taip pat labai didelis – 3 kartai (218,99%) ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose, daugiau negu dvigubai – 1,5 karto (55,3%) pokytis didėjo įstrižos krypties bandiniuose, o mažiausiai – 1,07 karto (7,56%) metmenų kryptimi pjautuose bandiniuose.

Būtina pastebėti, kad žymesni pokyčiai pjautų lazeriu bandinių atveju matomi ataudų ir įstriža kryptimi, bet atlasinio A1 audinio standumas yra didžiausias metmenų kryptimi.

8 lentelė. A2 audinio bandinių lenkiamasis standumas standumas įvertinant bandinio kryptį ir lazerio galią

A2	Lenkiamasis standumas B, (μNm)						
	15W	Pokytis, %	35W	Pokytis, %	60W	Pokytis, %	Kirpti
A2A	1,03	22,61	0,81	-3,57	0,95	13,09	0,84
A2M	1,62	50,00	1,09	0,93	0,98	-9,26	1,08
A2Ist.	1,03	4,04	0,83	-16,16	0,95	-4,04	0,99

A2 audinio bandinių lenkiamasis standumas taip pat kinta, lyginant lazeriu pjautus ir rankomis kirptus bandinius. Kai kuriais atvejais, standumas, nors ir labai nedaug – sumažėjo. To priežastis audinio liaunumas ir nestabilumas. Bandinius pjaunant 15W galia, didžiausias lenkiamojo standumo pokytis didėja 1,5 karto (pokytis 50%) metmenų kryptimi pjautuose bandiniuose. Ataudų krypties bandiniuose didėjo mažiau – 1,22 karto (pokytis 22,61%), o mažiausiai – 1 kartą (4%) – padidėjo įstrižos krypties bandiniuose. Bandinius pjaunant 35W galia, didžiausias didėjantis lenkiamojo standumo pokytis – 1 kartas (0,93%) – matomas metmenų kryptimi pjautuose bandiniuose. Priešingai nei prieš tai tirtame A1 audinyje, pokytis sumažėjo tiek ataudų kryptimi (0,96 karto (-3,57%)), tiek ir įstriža kryptimi (1 karto (-16,16 %) pjautuose bandiniuose. Galiausiai bandinius pjaunant didžiausia 60W galia, didžiausias lenkiamojo standumo pokytis – 1,13 karto (13,09%) – matomas ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose. Mažėjanti tendencija: metmenų kryptimi – 0,91 (-9,26%) pokytis, įstriža kryptimi – 0,95 (-4,04%).

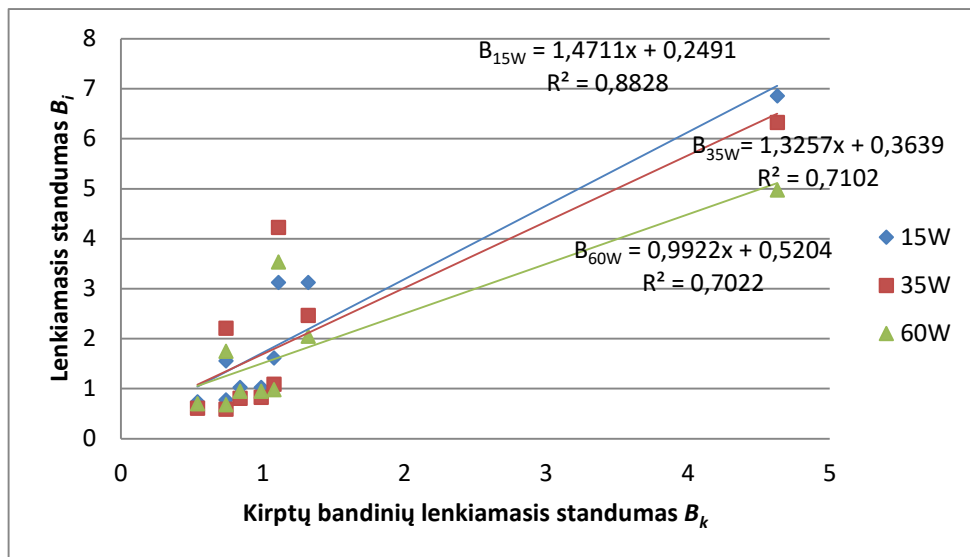
9 lentelė. A3 audinio bandinių lenkiamasis standumas

A3	Lenkiamasis standumas B, (μNm)						
	15W	Pokytis, %	35W	Pokytis, %	60W	Pokytis, %	Kirpti
A3A	0,78	5,41	0,59	-20,27	0,68	-8,12	0,74
A3M	1,56	110,81	2,21	198,65	1,75	136,49	0,74
A3Įst.	0,74	37,04	0,61	12,96	0,70	29,6	0,54

Pačio ploniausio audinio A3 pjovimo charakteristikoms keičiantis, visais atvejais lenkiamojo standumo pokytis labiausiai didėjo metmenų krypties bandiniuose. A3 audinio bandinius pjaunant 15W galia, didžiausias lenkiamojo standumo pokytis – 1,05 karto (110,81%) – matomas metmenų kryptimi pjautuose bandiniuose. Mažesnis standumo pokytis (vertinant procentiškai) įstrižos krypties – (1,37 karto (37,04%)) ir ataudų krypties – (1,05 karto (5,41%)) bandiniuose. Šiuos bandinius pjaunant 35W galia, buvo gautas pats didžiausias lenkiamojo standumo didėjimo pokytis metmenų kryptimi – 2,98 karto (198,65%) – vertinant visus šio audinio bandymo rezultatus. Mažesnis didėjimas – įstrižos krypties – 1,12 karto (12,96%), o mažėjantis standumo pokytis užfiksuotas ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose – 0,79 karto (-20,27%). Paskutiniai šio audinio bandiniai, pjaunant aukščiausia 60W galia. Šių bandinių didžiausias lenkiamojo standumo didėjimo pokytis metmenų kryptimi – 2,3 karto (136,49%), mažesnis, bet taip pat didėjantis pokytis – 1,29 karto (29,6%) – įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose. Mažėjantis lenkiamasis standumas ataudų krypties bandiniuose – 0,91 karto (-8,12%).

10 lentelė. Koreliacijos koeficientai tarp tirtų audinių lenkiamojo standumo rodiklių, kai bandiniai kerpami arba pjaunami skirtingos galios lazeriu

	15W	35W	60W
	B_{15W}	B_{35W}	B_{60W}
Koreliacijos koeficientas r	0,94	0,84	0,84



11 pav. Priklausomybė tarp kirptų bandinių rodiklio B_k ir skirtingos galios lazeriu pjautų bandinių rodiklio B_i

Lyginant šiuos skirtingais būdais apdirbtų bandinių lenkiamojo standumo rezultatus matomas skirtumas tarp pirmojo audinio A1 ir likusių, gerokai plonesnių audinių A2 ir A3. Vienintelio A1 audinio rezultatuose matoma stipri priklausomybė (koreliacijos koeficientas 0,94). Tai patirvintina, kad lazerinis pjovimas pakeitė standumo parametrus. Kitais atvejais (A2 ir A3 audiniuose) koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,84 iki 0,88. Matoma tendencija, kad visais atvejais standžiausia išlieka metmenų kryptis, tačiau ir lazerio galios įtaka taip pat akivaizdi. Privalu išskirti, kad geriausia standumo rezultatus didinti pjaunant lazeriu 35W galia.

3.2. Lazerio galios įtaka pjauto audinio tempimo savybėms

3.2.1. Tempimo savybių pokytis, lyginant kirptus ir skirtingomis lazerio galiomis pjautus audinius

Šiuo tyrimu siekiama nustatyti, kokią įtaką lazerio pjovimo galia turi pjautų bandinių tempimo savybėms, kai tiriami skirtingo storio audiniai, o bandiniai kerpami pagrindinėmis metmenų, ataudų ir 45 laipsnių kampu į metmenų sistemą kryptimis.

Siekiant nustatyti CO₂ lazeriu pjautų audinių mechaninių savybių pokytį, analizuojama audinių didžiausioji trūkimo jėga F (N), trūkimo ištisa ε (%) ir standumo koeficientas E . Audinio tempimo tyrimo rezultatai, įvertinant bandinių tipą ir kryptį (žr. 11 lentelę) bei rezultatų koreliacijos koeficientų priklausomybės (žr. 12 lentelę) pateikiami lentelėse. Audinių stiprumo F_{max} kitimas vertinamas prieš ir

po eksploatacijos. Rezultatai pateikiami išskiriant kiekvieną audinį A1 (žr. 11 lentelę), A2 (žr. 12lentelę) ir A3 (žr. 13 lentelę).

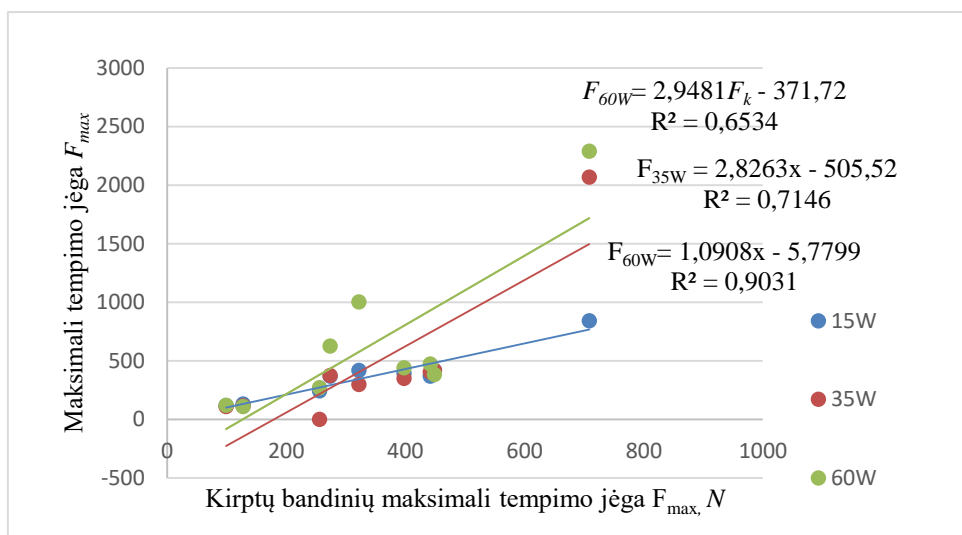
Išanalizavus audinių tempimo rezultatus, nustatyta stipri tiesinė koreliacija (koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,95 iki 0,99) tarp kirptų ir lazeriu pjautų (visomis galiomis) bandinių tempimo jėgos F_{max} verčių (žr. 12 pav.). Galima išskirti atlasinio pynimo audinio A1 stiprumo padidėjimą bandinius pjaunant 60W galios lazeriu. Tačiau toks pokytis nors ir turi įtakos lazeriu apdoroto aprangos elemento savybėms, svarbesnės aprangos elemento eksploatacijos metu pasiekiamos tempimo jėgos (nes dėvint maksimalios tempimo jėgos F_{max} nepasiekiamo). Tyrimais įrodyta, kad dėvėjimo lygio apkrovos sudaro 10-20 procentų maksimalios apkrovos. Pradinis tampros koeficientas E siejasi su dėvėjimo lygio apkrovomis, todėl bandiniai buvo palyginti ir pagal šį rodiklį (žr. 13 pav.). Vertinant bandinių deformacijos pokytį, ištisos ε (%) rodiklis koreliuoja su kirptais bandiniais tik 15 W galia pjautų bandinių atveju (žr. 10 lentelė.), tai galima paaiškinti tuo, kad ši galia mažiausiai apdegina kraštą, taip tapdama artima kirptų bandinių deformacijai.

11 lentelė. Tiriamų audinių stiprumo ir tūsumo rodikliai

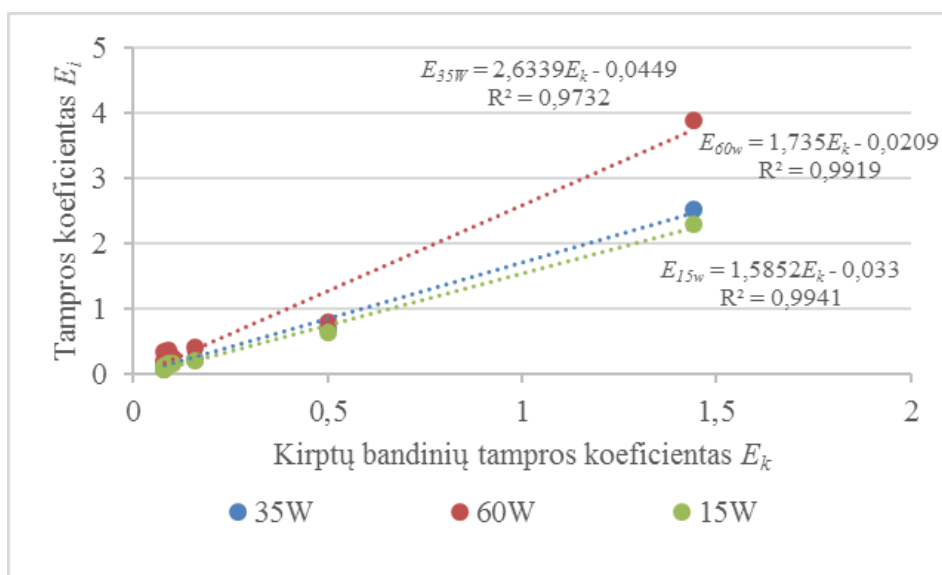
Kodas	15W			35W			60W			Kirpti		
	F_{max} , N	ε , %	E_{15W}	F_{max} , N	ε , %	E_{35W}	F_{max} , N	ε , %	E_{60w}	F_{max} , N	ε , %	E_k
A1M	841,8	23,0	2,29	2068	39,3	2,53	2290	47,6	3,89	708,6	32,1	1,44
A1A	418,7	55,8	0,12	297,3	53,6	0,16	1004	45,5	0,10	321,7	55,6	0,08
A1Į	369,7	74,3	0,08	375,8	73,2	0,09	626,6	69,9	0,11	273,6	59,6	0,08
A2M	417,4	52,20	0,20	417,8	39,6	0,22	382,3	37,9	0,41	448,5	56,6	0,16
A2A	368,3	43,2	0,16	404,8	60,4	0,18	473,0	46,6	0,36	441,8	43,1	0,09
A2Į	243,8	65,7	0,08	303,8	65,1	0,12	271,6	49,8	0,34	255,9	56,2	0,08
A3M	392,5	45,8	0,63	350,2	48,8	0,68	439,4	47,2	0,80	397,6	50,3	0,50
A3A	117,3	70,6	0,16	109,4	53,1	0,20	120,6	51,4	0,25	98,9	59,8	0,10
A3 Į	131,9	37,9	0,12	115,8	47,7	0,16	110,1	38,1	0,21	127,6	44,9	0,08

10 lentelė. Koreliacijos koeficientai tarp tirtų audinių stiprumo ir tūsumo rodiklių, kai bandiniai kerpami arba pjaunami skirtingos galios lazeriu

	15W			35W			60W		
	F_{max} , N	ε , %	E_{15W}	F_{max} , N	ε , %	E_{35W}	F_{max} , N	ε , %	E_{60w}
Koreliacijos koeficientas r	0,95	0,93	0,99	0,84	0,48	0,99	0,81	0,34	0,98

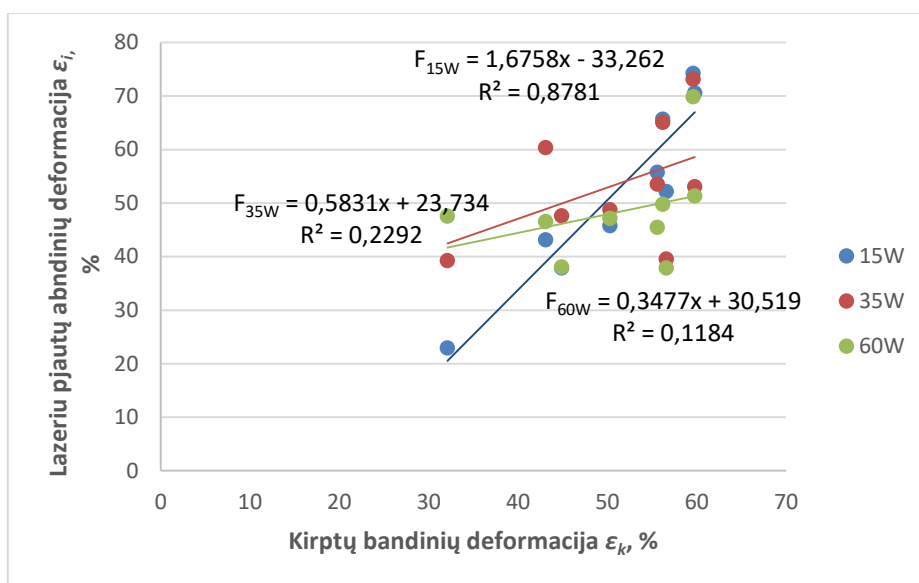


12 pav. Priklausomybė tarp kirptų bandinių rodiklio F_{max} ir skirtingos galios lazeriu pjautų bandinių rodiklio F_{max}



13 pav. Priklausomybė tarp kirptų bandinių koeficiento E_k ir skirtingos galios lazeriu pjautų bandinių koeficiento E_i

Pastebėta, kad didžiausias tampros koeficientas E yra nustatytas bandiniui A1 metmenų kryptimi (A1M). A1 yra storiausias ir standžiausias audinys tempiant. Visais atvejais užfiksuota stipri tiesinė koreliacija tarp lazeriu pjauto audinio ir kirpto audinio tampros koeficiento E (koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,97 iki 0,99 (žr.13 pav.) Nustatyta pasikeitusi bandinių elgsena, esant nedidelėms dėvėjimo ir eksploatacijos metu susidarančioms tempimo apkrovoms.



11 pav. Priklausomybė tarp kirptų bandinių rodiklio ε ir skirtingos galios lazeriu pjautų bandinių rodiklio ε_i

3.2.2. Tempimo savybių pokytis, lyginant skirtingomis lazerio galiomis pjautus ir įvairiomis eksploatacijomis paveiktus audinius

Tolimesnis vertinimas atliekamas lyginant skirtingomis temperatūromis (15W, 35W, 60W) lazeriu pjautų audinių (A1, A2, A3) tempimo trūkimo jėgas F (N) ir ištįsas ε (%), jų pokytį po pilno cheminio valymo bei daugkartinio skalbimo (30° ir 40° laipsnių temperatūroje) ciklo. Atlikta analizė rodo, kad audinius veikiant visų rūšių eksploatacija, stiprumo ir tvirtumo savybės keičiasi - tam tikrais atvejais matoma net labai stipri rezultatų koreliacija. Tiesa yra ir ne tokie žymūs pokyčiai, kuriuose stipri koreliacija neaptikta (žr. 16 lentelė). Eksperimento matavimų variacija neviršijo 10 procentų.

11 lentelė. A1 audinio stiprumo ir tūsumo rodikliai

Kodas	Prieš eksploataciją		Cheminis valymas		Skalbimas 30° temperatūroje		Skalbimas 40° temperatūroje	
	F _{max} , N (CV,%)	ε, % (CV,%)	F _{max} , N (CV,%)	ε, % (CV,%)	F _{max} , N (CV,%)	ε, % (CV,%)	F _{max} , N (CV,%)	ε, % (CV,%)
A1-15A	418,7(6,54)	55,8(4,73)	323,8(7,99)	52,95(6,41)	392(3,09)	47,3 (4,14)	428(4,43)	44,52(5,51)
A1-15M	841,8(3,56)	23,0(6,99)	770,1(5,37)	33,13(9,27)	758(5,78)	24,08(9,08)	792,7(5,35)	22,91(8,73)
A1-15š	369,7(7,87)	74,3(8,34)	460(7,45)	76,8(9,63)	451,7(3,31)	75,13(9,38)	437,6(8,31)	71,7(5,09)
A1-35A	297,3(8,81)	53,6(7,70)	266,8(6,27)	45,61(3,69)	257,8(8,75)	34,8(4,72)	294,6(9,88)	40,60(8,69)

11lentelė. Tęsinys

A1-35M	2068 (2,02)	39,3(8,93)	1955(4,34)	32,08(5,82)	1878(4,26)	26,7(8,78)	1667,0(6,0)	39,24(5,35)
A1-35Įs	375,8(7,56)	73,2(6,57)	458(7,81)	73,58(2,17)	446,2(3,96)	64,63(9,28)	428,0(7,53)	68,93(5,68)
A1-60A	1004(5,48)	45,5(3,24)	691,3(4,63)	64,87(7,19)	1842(9,97)	33,68(8,29)	1932(2,23)	32,55(6,22)
A1-60M	2290(7,34)	47,6(5,37)	1815(5,94)	45,57(3,12)	2172(8,47)	26,96(7,81)	1859(9,97)	37,03(9,75)
A1-60 Įs	626,6(2,84)	69,9(9,84)	682,5 (7,67)	67,1 (9,38)	601(3,85)	55,9(4,49)	599(6,08)	56,8(9,46)

Vertinant A1 audinio didžiausią tempimo jėgą F_{max} , veikiant lazeriu pjautus bandinius po skirtingo poveikio, matomas nežymus pokytis. Remiantis gautais rezultatais galima tvirtinti, kad A1 bandinius pjaunant 15 W galia, mažiausiai tvirtinamas audinio kraštas, nes F_{max} mažiausias, lyginant su kitomis (35W ir 60W) galiomis pjautų bandinių rezultatais. Bandinius pjaunant 60W galia, bandinio kraštas sutvirtinamas maksimaliai dėl susiformuojančio tolygaus lydalo. Matomas standartinis bandinių didžiausio stiprumo pasiskirstymas metmenų kryptimi pjautuose bandiniuose.

15W galia pjautuose bandiniuose, cheminis valymas ir skalbimas sumažina ataudų (iki 29%) ir metmenų (iki 7%) kryptimis pjautų bandinių stiprumo savybes, nes fiksuojamas rodiklio F_{max} sumažėjimas. Visais atvejais bandinius pjautus metmenų kryptimi, bet kuris veiksnys (cheminis valymas, daugkartinis skalbimas 30°C ir 40°C temperatūroje) imituojantis realią eksploataciją, nežymiai silpnina (iki 7%) audinio stiprumo savybes. Tačiau įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose po visų rūšių poveikio F_{max} (iki 24,43%) nežymiai padidėjo. Bandiniams pjautiems 35W galia, cheminis valymas ir daugkartinis skalbimas (30° ir 40° laipsnių temperatūroje) sumažina ataudų (iki 15,32%) ir metmenų (iki 24%) kryptimis pjautų bandinių stiprumo savybes, matomas F_{max} sumažėjimas. Įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose, po visų rūšių eksploatacijos F_{max} (iki 21,87 %) nežymiai padidėjo. 60W galia pjautuose bandiniuose, matoma žymiai didesnė F_{max} visais atvejais. Taip yra dėl to, kad šia galia pjaunant bandinio kraštelis stipresnis, taigi A1 audinyje teigiamai keičia stiprumo charakteristikas. Visais atvejais bandinius pjautus metmenų kryptimi, bet kuris faktorius (cheminis valymas, daugkartinis skalbimas 30° ir 40° laipsnių temperatūroje) nežymiai silpnina (iki 26%) audinio stiprumo ir tvirtumo savybes. Ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose F_{max} sumažėjo (45%) po cheminio valymo ciklo, bet po daugkartinių skalbimų (30° ir 40° laipsnių temperatūroje) šis rodiklis padidėjo (iki 92%). Įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose, F_{max} kinta nežymiai – po cheminio valymo ciklo nežymiai padidėjo (iki 24,43%), o po daugkartinio skalbimo (30° ir 40° laipsnių temperatūroje) priešingai – sumažėjo (iki 4,6 %).

12 lentelė. A2 audinio stiprumo ir tūsumo rodikliai

Kodas	Prieš eksploataciją		Cheminis valymas		Skalbimas 30° laipsnių temperatūroje		Skalbimas 40 laipsnių temperatūroje	
	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %
A2-15A	368,3(8,71)	43,2(6,65)	495,2(4,04)	43,7(3,09)	473,2(3,26)	43,38(3,66)	403,6(9,36)	32,73(8,63)
A2-15M	417,4(2,28)	52,20(6,43)	380,4(3,22)	37,95(7,27)	413,3(4,73)	53,6(3,60)	463,2(6,23)	47,09(5,26)
A2-15Įst	243,8(4,19)	65,7(5,35)	301,3(3,31)	65,73(6,79)	214,2(8,98)	47,93(6,37)	260,4(9,75)	62,47(9,79)
A2-35A	404,8(4,43)	60,4(5,65)	366,4(6,15)	46,34(4,14)	377,4(5,37)	49,91(4,95)	404,3(5,41)	45,73(6,61)
A2-35M	417,8(2,66)	39,6(2,68)	390,2(6,00)	37,54(6,93)	410,3(6,34)	39,37(5,33)	409,9(2,32)	32,98(2,95)
A2-35Įst	303,8(9,09)	65,1(3,68)	333,5(9,71)	66,58(9,11)	301,5(5,89)	67,3(2,27)	335,2 (5,13)	62,9(8,75)
A2-60A	473,0(5,36)	46,6(5,24)	388,9(7,35)	45,36(5,41)	425,1(4,68)	42,50(5,37)	403,6(9,36)	32,73(8,63)
A2-60M	382,3(6,29)	37,9(2,24)	413,5(6,09)	37,95(7,27)	415,4(4,10)	32,18(5,48)	463,2(6,23)	47,09(5,26)
A2-60Įs	271,6(6,83)	49,8(6,93)	345,49(8,12)	69,00(7,54)	268,8(5,16)	43,83(6,75)	257,4(8,04)	62,47(9,78)

Vidutinio storio A2 audiniui lazerio pjovimo temperatūra turi įtakos F_{max} vertei. Pjaunant bandinius 15W ir 35W galia stiprumo ir tūsumo charakteristikos beveik identiškos, tik pjaunant 60W galia matomas priešingas efektas - per aukšta temperatūra mažina F_{max} . Matoma standartinė bandinių priklausomybė - didžiausias stiprumas metmenų kryptimi pjautuose bandiniuose. Analizuojamas skirtumas, lyginant bandinių F_{max} prieš (bandiniai pjauti skirtingomis lazerio galiomis) ir po eksploatacijos (pilno ciklo cheminis valymas, skalbimas 30° ir 40° laipsnių temperatūroje), išskiriant kiekvieną temperatūrą atskirai. 15W galia pjautuose bandiniuose, visais atvejais bandinius pjautus ataudų kryptimi, bet kuris faktorius (cheminis valymas, daugkartinis skalbimas 30° ir 40° laipsnių temperatūroje), imituojantis realią eksploataciją, stiprina (F_{max} didėja iki 65,5%) audinio stiprumo ir tvirtumo savybes. Metmenų kryptimi pjautų bandinių po daugkartinio skalbimo (skalbimas 30° ir 40° laipsnių temperatūra) F_{max} nežymiai didėja (iki 10,97%), bet po cheminio valymo sumažėja (iki 9,72%). Įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose matoma įdomi tendencija – po cheminio valymo ir daugkartinio skalbimo 40° laipsnių temperatūroje F_{max} didėja (iki 27,27%), o po daugkartinio skalbimo 30° laipsnių temperatūroje F_{max} sumažėja (iki 13,81%). Bandiniams pjautiems 35W galia, ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose matomas nežymus mažėjimas (iki 10,4%) ir beveik toks pat (tik 0,1% skirtumas) F_{max} kitimas. Metmenų krypties bandiniuose F_{max} mažėja (iki 7,07%) visais eksploatacijos atvejais. Įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose, po visų rūšių eksploatacijos F_{max} (iki 9,34%) nežymiai padidėjo arba išliko beveik tokia pati (iki 0,76%). 60W galia pjautuose bandiniuose, matoma priklausomybė krypties pjovimo atžvilgiu –

ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose prieš eksploataciją F_{max} didesnė nei metmenų krypties bandiniuose (23,72%). Bet po eksploatacijos A2 – 60M bandiniuose F_{max} didėja (iki 21,0%), priešingai nei prieš tai aptartose 15W ir 35W galia pjautuose bandiniuose. O A2 – 60A F_{max} atitinkamai mažėja (iki 21,62%). Manoma, kad tokia priklausomybė atsirado dėl per aukštos šiam A2 audiniui temperatūros (60W). Įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose po cheminio valymo, F_{max} didėja (iki 27,35%), o po daugkartinių skalbimų (30° ir 40° laipsnių temperatūroje) F_{max} sumažėja (iki 13,81%).

13 lentelė. A3 audinio stiprumo ir tūsumo rodikliai

Kodas	Prieš eksploataciją		Cheminis valymas		Skalbimas 30 laipsnių temperatūroje		Skalbimas 40 laipsnių temperatūroje	
	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %
A3-15A	117,3 (9,92)	70,6(8,95)	145,8(4,24)	48,7(5,17)	138,(5,29)	48,49(4,39)	87,83(4,30)	35,5(9,69)
A3-15M	392,5(4,57)	45,8(3,68)	399,1(9,74)	41,96(4,26)	426,4(5,73)	45,06(7,08)	443,3(3,02)	40,68(3,36)
A3-15Ist	131,9 (4,03)	37,9(3,04)	123,7(8,1)	28,52(2,14)	120,3(1,66)	30,75(1,99)	157,7(4,76)	33,03(7,75)
A3-35A	109,4(9,79)	53,1(6,32)	132,6(9,5)	37,68(4,76)	115,8(9,43)	42,68(5,11)	147,8(2,80)	41,51(7,47)
A3-35M	350,2(2,83)	48,8(7,83)	394(9,51)	41,47(4,68)	408(6,63)	42,95(9,15)	404,8(5,77)	36,07(7,79)
A3-35Ist	115,8(6,64)	47,7(8,59)	109,1(4,29)	36,86(7,57)	120,9(6,99)	37,54(8,06)	118,6(4,61)	34,07(4,27)
A3-60A	120,6(8,90)	51,4(4,32)	130,7(9,68)	41,67(6,89)	120,3(8,9)	39,32(6,8)	136,4(9,69)	36,54(7,92)
A3-60M	439,4(1,23)	47,29(6,68)	330,8(4,28)	29,23(3,81)	403,2(8,840)	41,81(9,11)	385,3(7,22)	30,71(7,75)
A3-60Ist	110,1(3,11)	38,1(3,53)	111,1(7,12)	31,01(9,28)	108,9(9,23)	32,44(8,18)	128,7(9,33)	35,67(9,11)

Ploniausias, drobinio pynimo šifonas A3, pasižymi mažiausiomis stiprumo savybėmis. Vertinant rodiklio F_{max} kitimą, matoma tendencija – metmenų krypties bandinių stiprumo vertės po eksploatacijos poveikio visais atvejais didėja. 15W galia pjautuose bandiniuose, cheminis valymas ir daugkartinis skalbimas 30° laipsnių temperatūroje padidina (iki 24,9%) F_{max} A3 - 15A bandiniuose, o skalbimas 40° laipsnių temperatūroje šią vertę sumažina (33,35%). Visais atvejais bandinius pjautus metmenų kryptimi, bet kuris faktorius (cheminis valymas, daugkartinis skalbimas 30° ir 40° laipsnių temperatūroje), imituojuantis realią eksploataciją nežymiai stiprina (iki 12,94%) audinio stiprumo ir tvirtumo savybes. Tačiau įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose po cheminio valymo ir daugkartinio skalbimo 30° laipsnių temperatūroje F_{max} sumažėja (iki 24,9%), o po skalbimo 40° laipsnių temperatūroje F_{max} nežymiai padidėjo (iki 19,56%). 35W galia ataudų ir metmenų kryptimis pjautuose bandiniuose matomas nežymus didėjimas F_{max} (A3-35A iki 35,10%, A3-35M iki 16,5%). Metmenų krypties bandiniuose F_{max} mažėja (iki 7,07%) visais eksploatacijos atvejais. Įstriža kryptimi pjautuose

bandiniuose, po visų rūšių eksploatacijos F_{max} (iki 9,34%) nežymiai padidėjo arba išliko beveik tokia pati (iki 0,76%). Tačiau įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose fiksuojami nežymūs kitimai: po cheminio valymo F_{max} sumažėja (iki 6,14%), o po daugkartinių skalbimų (30° ir 40° laipsnių temperatūroje) ši vertė F_{max} nežymiai padidėjo (iki 14,04%). 60W galia pjautuose bandiniuose, matomas pasikeitimas metmenų krypties bandiniuose. F_{max} po visų rūšių eksploatacijos mažėja (iki 32,82%), ataudų kryptimi pjautuose bandiniuose atvirkščiai po eksploatacijos F_{max} didėja (iki 13,17%). Įstriža kryptimi pjautuose bandiniuose – po cheminio valymo ir daugkartinio skalbimo 40° laipsnių temperatūroje F_{max} didėja (iki 27,35%), o po likusio daugkartinio skalbimo (30° laipsnių temperatūroje) F_{max} sumažėja (iki 1,01%).

Apibendrinant visų tyrimų rezultatus, tikrinama rezultatų koreliacija (žr. 14 lentelę). Nustatyta stipriausia A1 audinio tempimo jėgos F_{max} priklausomybė tarp bandinių prieš eksploataciją ir po cheminio valymo (koreliacijos koeficientas 0,98) bei skalbimo 30° temperatūroje (koreliacijos koeficientas 0,98). Tempimo ištisos rezultatai, pasižymintys stipria koreliacija, yra tarp bandinių prieš eksploataciją ir po daugkartinių skalbimų (koreliacijos koeficientas kinta tarp 0,91 ir 0,94).

Fiksuoti A2 audinio pokyčiai, vertinant tempimo rodiklių rezultatus – nežymūs, koreliacija silpna, rezultatai patvirtina aptarto straipsnio išvadas [17].

A3 audinio tempimo jėgos F_{max} gautų rezultatų koreliacija stipri (koreliacijos koeficientas kinta tarp 0,95 ir 0,98), o tempimo ištisos rezultatų koreliacija silpna.

14 lentelė. Koreliacijos koeficientai tarp tirtų audinių stiprumo ir tūsumo rodiklių prieš ir po eksploatacijos poveikių, kai pjaunami skirtingos galios lazeriu

Kodas	Cheminis valymas		Skalbimas 30°C laipsnių temperatūroje		Skalbimas 40 laipsnių temperatūroje	
	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %	F_{max} , N	ε , %
A1	0,98	0,87	0,92	0,91	0,86	0,94
A2	0,52	0,68	0,85	0,80	0,84	0,69
A3	0,95	0,81	0,98	0,81	0,96	0,18

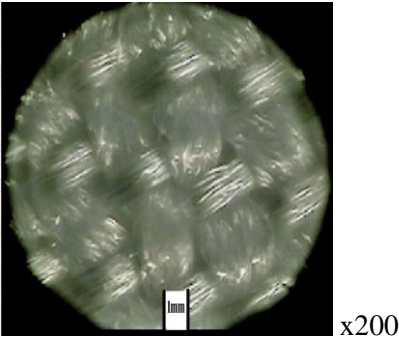
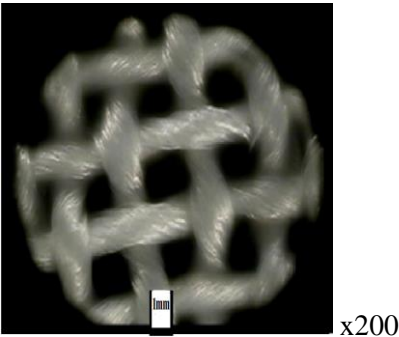
Visų audinių tempimo tyrimo rezultatuose, vertinant bandinius prieš ir po eksploatacijos, matomi pokyčiai. Aptartos gautų rezultatų priklausomybės rodo, kad audinių skalbimas ir cheminis valymas turi įtakos lazeriu pjautų audinių tempimo savybėms.

3.3. Lazerių pjautų bandinių morfologinė analizė

Audinių morfologinė analizė parodė didelį audinių struktūrų skirtumą, kuris įtakoja skirtingą bandinių krašto kokybę apdorojant lazeriu. Tirtų audinių išdidinti vaizdai pateikiami 15 lentelėje. Tyrimas patvirtino, kad tankiausias audinys yra atlasas A1, plonesnis, mažesnio tankumo ir vidutinio storio šifonas A2, o pats ploniausias ir rečiausias audinys A3.

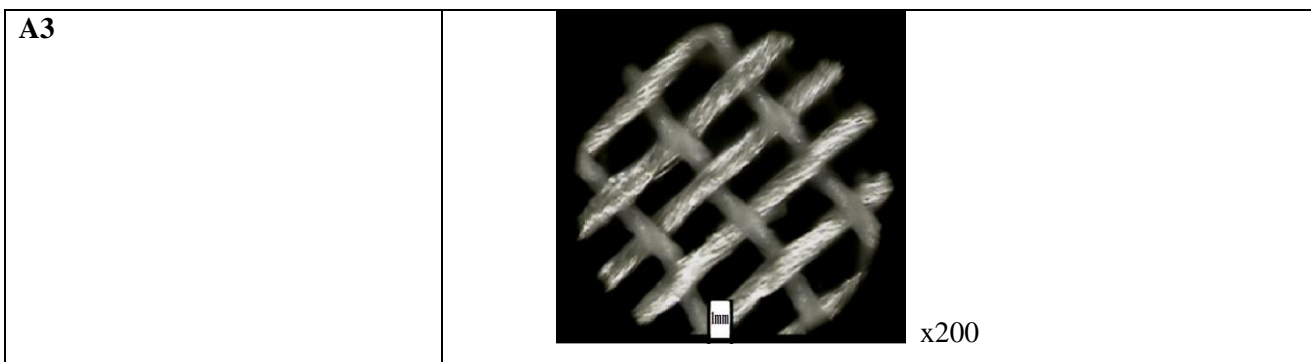
Audinio lazериų pjauto krašto kokybei didžiausią įtaką daro audinio siūlų tankumas [11]. Esant pakankamam audinio tankumui, apdorojant lazериų susidaro vientisas lydalo kraštas, kuris užtikrina švarią pjauto krašto liniją ir pjauto mazgo atsparumą mechaniniams veiksniams dėvint. Vientisas lydalo kontūras nesidaro esant mažam audinio tankumui.

15 lentelė. Audinių struktūrų morfologinė analizė, didinimas 200 kartų

Audinio kodas	Mikroskopu <i>Infinity 5,0 Lumenera Corporation</i> užfiksuotas vaizdas
A1	
A2	

17 lentelė. Tęsinys

--	--



Vertinant lazeriu pjautų kraštų kokybę (žr. 18 lentelė), kiekvienas audinys aptiriamas atskirai.

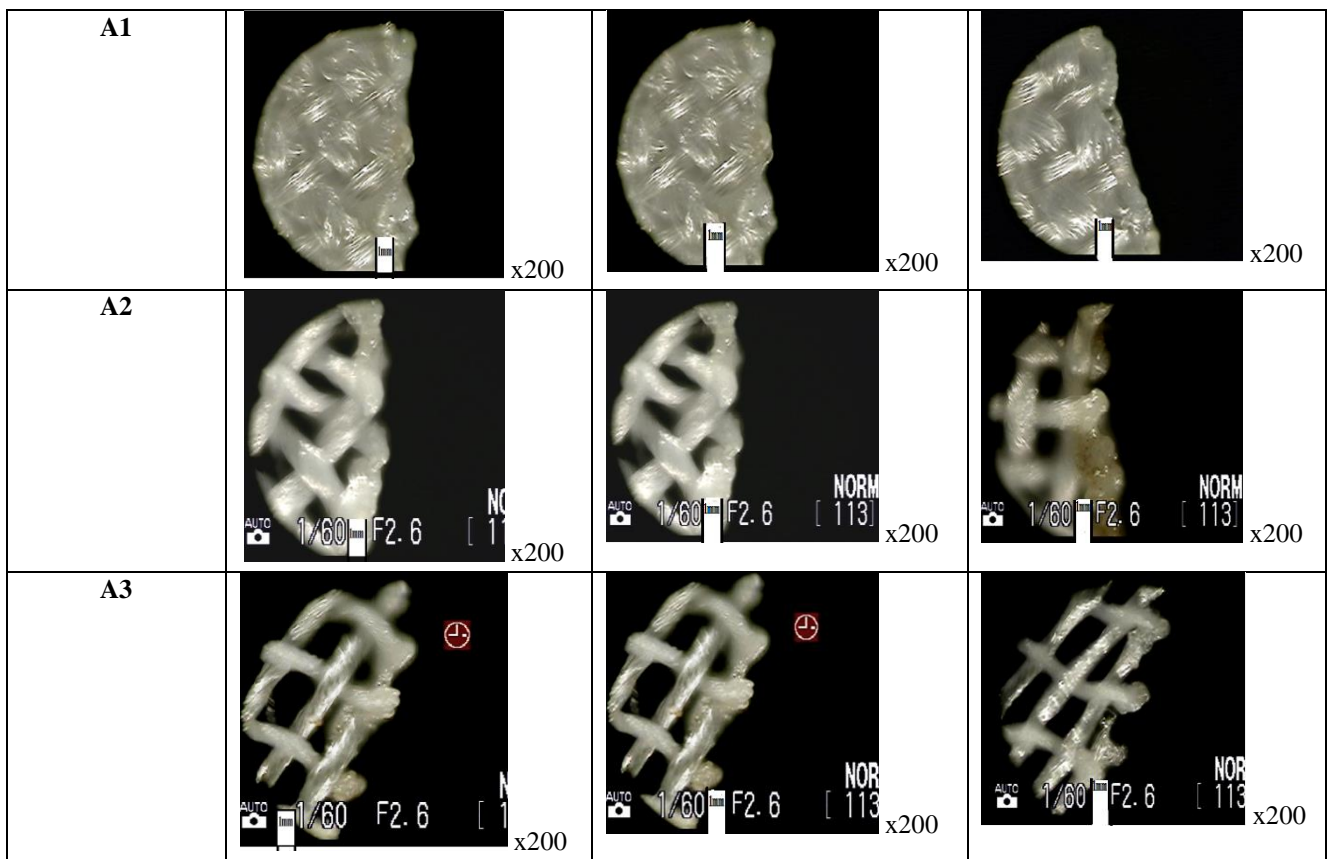
A1 (atlaso) audinio pjauto kraštelių kokybė pati geriausia. Šio audinio siūlų tankumas pats didžiausias, todėl stebint mikroskopu užfiksuojamas tolygus lydalo kontūras (A1 – 15, A1 – 35, A1 – 60 bandiniuose). Šiuose bandiniuose pjūviai atrodo tvarkingi, lydalo plotis visuose bandiniuose vienodas. Galima tvirtinti, kad lazerio pjovimo galia didelės įtakos A1 audinio kraštelių kokybei neturi, nes tik pjaunant 60W pjovimo galia (A1 – 60 bandinyje) matomas nežymus lydalo spalvos pokytis dėl deginimo.

A2 (vidutinio storio šifonas) audinio kraštelių kokybė vidutiniška. Lyginant su A1 audinio kraštelių kokybe, matomas didelis skirtumas, nes A2 audinio siūlų sistema reta, taigi nesusidaro tolygus išlydytas kraštas. Šiam audiniui lazerio pjovimo galia turi įtakos krašto kokybei, optimalu pjauti 15-35W galia (A2-15 ir A2-35), nes audinį pjaunant 60W galios lazeriu (A2-60), deformuojama bandinio forma, keičiasi lydalo plotis bei matomi defektai dėl deginimo.

A3 (ploniausias šifonas) audinio lazeriu pjauto krašto kokybė pati blogiausia. Taip yra dėl labai retos ir lengvai ardomos siūlų sistemos [17]. Pjaunant šį audinį, nepriklausomai nuo galios, nesusidaro vientisas, tolygus lydalo kontūras (A3-15, A3-35, A3-60), lazeris tik aplydo atskirų siūlų kirptus galus.

18 lentelė. Audinių lazeriu pjautų kraštų morfologinė analizė

Audinio kodas	Mikroskopu <i>Infinity 5,0 Lumenera Corporation</i> užfiksuotas vaizdas		
	Lazerio pjovimo galia, W		
	15W	35W	60W


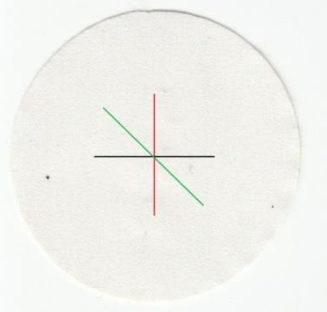
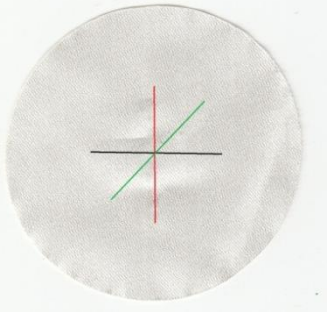
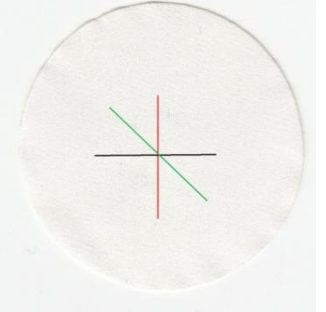
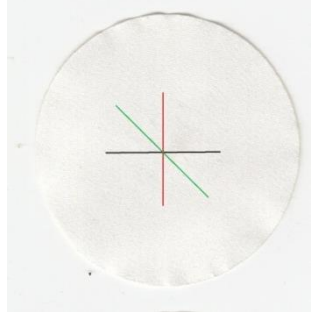
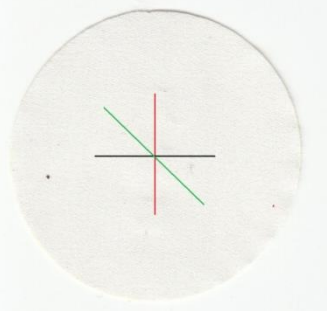
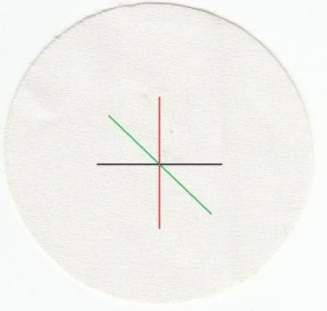
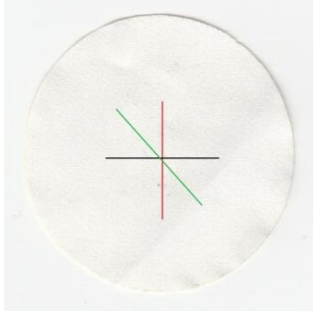
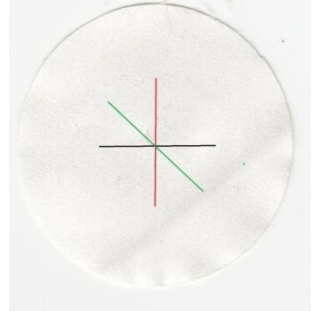
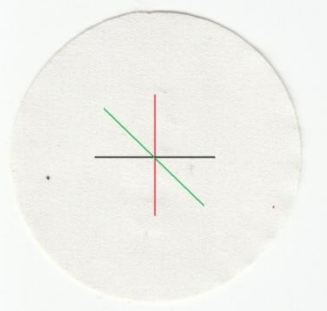
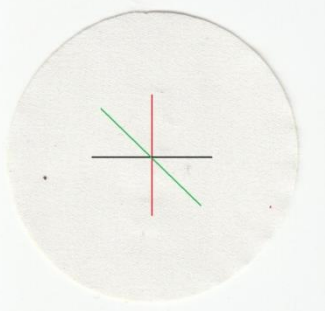
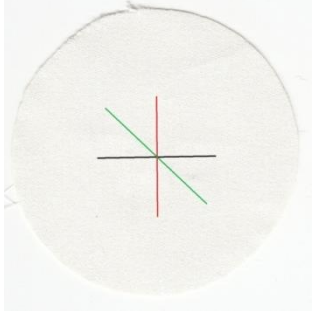
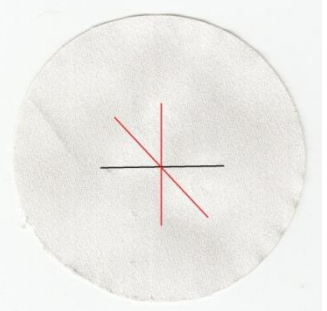


3.4. Vizualinis pjauto audinio krašto vertinimas po eksploatacijos poveikio

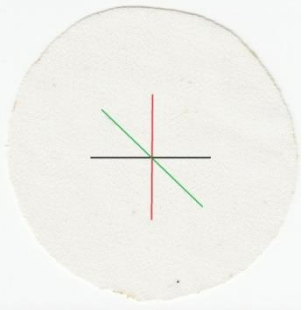
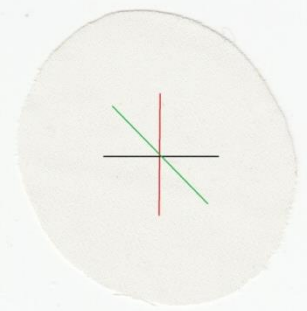
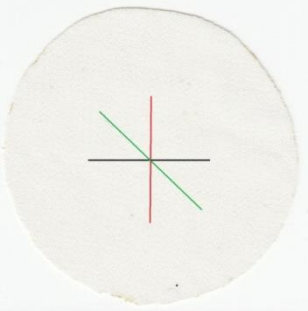
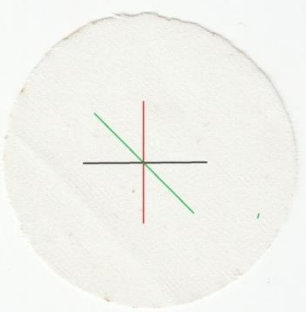
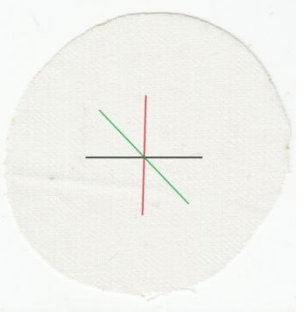
Analizuojant skirtingų audinių apskritimo formos bandinių vaizdus prieš ir po eksploatacijos poveikio (pramoninio skalbimo ir cheminio valymo), matomas žymus A3 audinio vizualinis pokytis. Tik šis audinys akivaizdžiai kinta vertinant bandinio kraštų irumą, estetinę išvaizdą bei spalvos pokytį. Stipriausias ir mažiausiai valymo ir skalbimo veikiamas audinys A1 – šio audinio pokytis nežymus, nes pjaunant lazeriu tolygiai apdeginamas kraštas, o ne atskiri siūlai, kaip retų audinių A2 ir A3 atveju.

Analizė atliekama išskiriant kiekvieną poveikį - cheminį valymą ir skalbimą (30°C ir 40°C temperatūroje) (19lentelė). Vizualiai vertinamas kiekvienos bandinių grupės pokytis po kiekvieno ciklo (1 ciklas, 2 ciklai, 3 ciklai). Darbe pateikiama viena lentelė, kurioje nurodomi audinių bandinių vaizdai po daugkartinio skalbimo 30° laipsnių temperatūroje. Likusios lentelės pateikiamos 1priede.


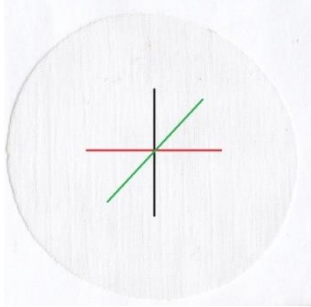
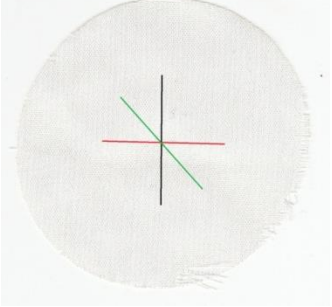
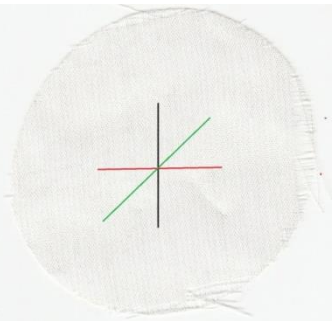
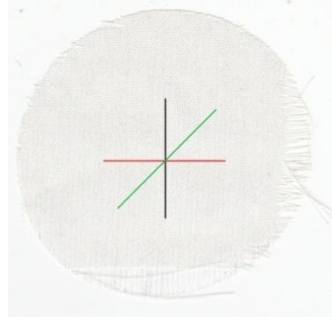
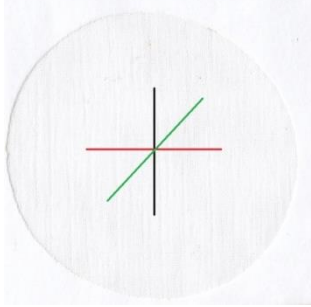
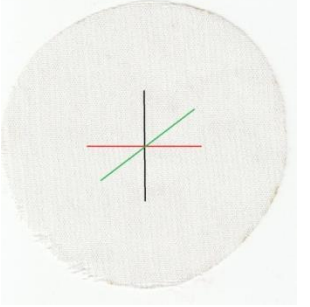
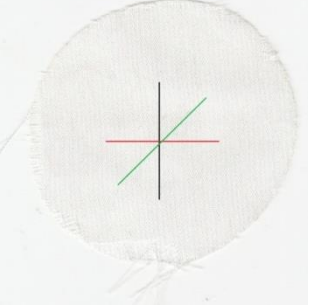
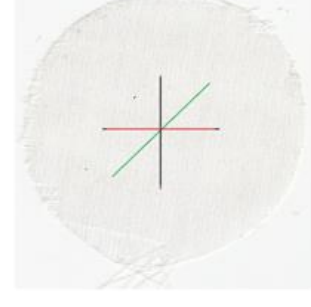
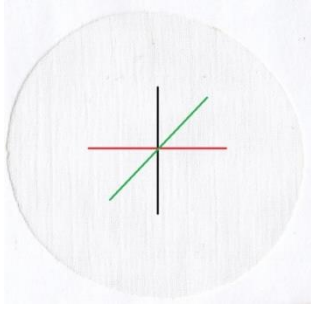
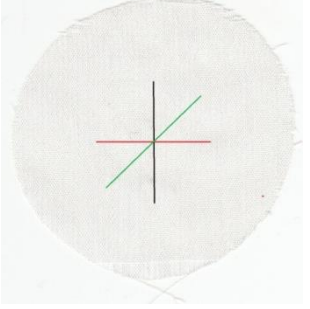
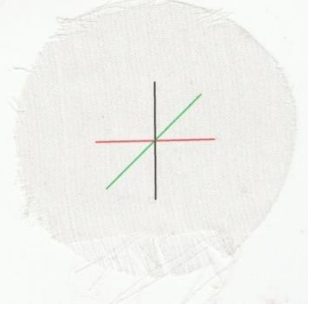
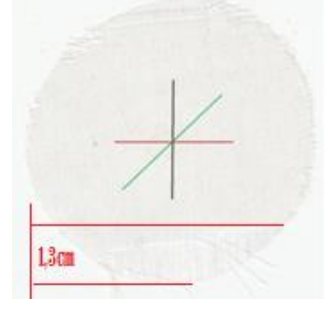
16 lentelė. Skanuoti audinių vaizdai prieš ir po skalbimo 30° C temperatūroje

Kodas	Liniuotė	Prieš poveikį	Skalbimas 30° laipsnių temperatūroje		
			1 ciklas	2 ciklas	3 ciklas
A1-15					
A1-35					
A1-60					

19 lentelė. Tęsinys

A2-15					
A2-35					
A2-60					

19lentelė. Tęsinys

A3-15					
A3-35					
A3-60					

Vizualiai matomų pjauto lazeriu krašto spalvos pokyčių po daugkartinių valymų ir skalbimų ciklų nepastebima nei vieno tirto audinio atveju.

Skirtingomis galiomis pjautų bandinių pokytis, skalbiant juos 30° laipsnių temperatūroje, ryškiausiai matomas ploniausio šifono A3 bandiniuose. Visomis lazerio galiomis pjauti bandiniai pažeidžiami jau pirmo skalbimo ciklo metu. Matomas ataudų krypties siūlų sistemos irimas (didžiausia A1-60 bandinyje išmatuota irimo zona iki 1,3 cm). Optimali lazerio pjovimo galia 35W (A3 – 35) – šiuo atveju bandiniai šiek tiek mažiau pažeidžiami, nei pjauti kita galia. A3 audinio (A3 – 60) krašteliis labiausiai pažeidžiamas pjaunant 60W galios lazeriu, t.y. lazerinis pjovimas susilpnina bandinio kraštelių ir jau po pirmojo skalbimo ciklo matomas stiprus siūlų sistemos irimas visomis kryptimis. Toks žymus pokytis fiksuojamas dėl A3 audinio struktūros – šiam audiniui būdingas mažiausias siūlų tankumas. Ši analizė patvirtina atliktos morfologinės audinių analizės išvadas ir mechaninių savybių tyrimų rezultatus.

Vidutinio storumo A2 audinio bandinių vizualinis pokytis nėra žymus, bet matoma stipri lazerio galios priklausomybė bandinius skalbiant 30° laipsnių temperatūroje. Bandinių krašteliis pradėjo irti tose vietose, kur krašteliis pjovimo metu buvo pažeistas (lazeriu pjauto bandinio lydalas pakitusios (rudos) spalvos, t.y. matomas degėsis). Po lazerinio pjovimo 35W ir 60W (A2-35, A2-60) galia pakito bandinių forma (apskritimo formos bandiniai ištįso, A2 – 35W bandinio forma tapo netaisyklingos ovalo formos). Optimali lazerinio pjovimo galia – 15W (A2 – 15).

Pats stipriausias ir mažiausiai skalbimo 30° laipsnių temperatūroje pažeidžiamas audinys – A1. Pjaunant šio audinio bandinius 15W ir 35W galia pasiekiamas puikus rezultatas, eksploatacijos poveikis neiššaukia audinio kraštelių irimo. Tik A1-60 bandinių ciklinis skalbimas šiek tiek pažeidžia kraštelių ir vizualiai matomas pradinis siūlų sistemos irimas – tačiau pokytis minimalus.

Skalbimas 40°C temperatūroje audinius veikia labai panašiai, kaip ir 30° laipsnių temperatūra. Labiausiai pažeisti A3 audinio bandiniai, kaip ir pirmuoju atveju po pilno skalbimo ciklo didžiausi defektai - siūlų irimas ataudų kryptimi matomas A1 – 60 bandiniuose (irimo zona iki 1,2 cm). Esminis skirtumas skalbiant aukštesne temperatūra, bandinių defektai yra didesni, jau po pirmojo ciklo skalbiant 40 °C temperatūroje bandinių defektai buvo didesni, negu skalbiant 30 °C temperatūroje.

Kaip ir prieš tai analizuotu atveju, atspariausias A1 audinys. Pjaunant šio audinio bandinius 15W, 35W ir 60W galia pasiekiamas puikus rezultatas, skalbimas neiššaukia audinio kraštelių irimo.

Cheminis valymas pats saugiausias jautrių tekstilės medžiagų ir drabužių priežiūros būdas. Visiems tirtiems audiniams šis poveikis darė mažiausią įtaką. Atlasinio pynimo A1 audinio bandiniuose,

juos pjaunant visomis lazerio galiomis (A1 - 15, A1 – 35, A1 – 60), ir chemiškai valant tris kartus, pjautų bandinių kraštelių kokybė išliko tokia pati.

A2 audinyje matoma ta pati geometrinės bandinio formos iškraipymo tendencija. Poveikio dažnis ir lazerio pjovimo galia turi įtakos bandinių formos kitimui: (A2 – 60) apskritimo formos bandiniai deformuojasi įstrižai siūlų sistemos kryptimi, į netaisyklingą ovalo formą. Labiausiai apdegintas ir pažeistas kraštas pradeda keisti formą, matomas siūlų sistemos retėjimas kraštuose (A2 – 35 ir A2 – 60), tik šiuo atveju nepradeda slinkti ir kristi siūlai.

Kaip ir visais prieš tai aptartais atvejais, silpniausia bandinių grupė yra A3 audinys. Nors šiuo atveju bandinių kraštelių pokytis minimalus (žymiausias pokytis A1 – -15 bandiniuose, matomas nedidelis irimas (irimo zona iki 7mm) ataudų siūlų sistemoje ir įstrižai kryptimi.

Atlikus vizualinę bandinių po skalbimo ir valymo analizę, matoma, kad cheminis valymas daro minimalią įtaką bandinių kraštelių kokybei. Manoma, kad taip yra todėl, kad cheminio valymo metu nenaudojamas vanduo. Daugkartinis skalbimas vienokiu ar kitokiu atveju turi neigiamos įtakos visiems audiniams.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Darbe nustatyta, kad skirtingo storio audinius apdorojant CO₂ lazeriu ir didinant lazerio galią nuo 15W iki 60W, lenkiamasis standumas didėja. Didžiausias pokytis matomas A1A bandiniuose, kurių lenkiamasis standumas didėja net 3 kartus (281,08%). Nustatyta stipri tiesinė priklausomybė tarp kirptų bandinių lenkiamojo standumo rodiklio ir skirtinga galia lazeriu pjautų bandinių lenkiamojo standumo – A1 audinio atveju koreliacijos koeficientas 0,94; A2 ir A3 audinių atveju koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,84 iki 0,88. Tirtų audinių atveju rekomenduojama naudoti 35W CO₂ lazerio galią, siekiant padidinti elemento standumą gaminyje.
2. Išanalizavus tempimo rezultatus, nustatyta stipri koreliacija (koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,95 iki 0,99) tarp kirptų ir lazeriu pjautų (visomis galiomis) bandinių maksimalios trūkimo jėgos F_{max} . Nustatyta, kad CO₂ lazerio galia turi įtakos tempiamo bandinio tampros koeficiento E vertei (koreliacijos koeficientas kinta nuo 0,97 iki 0,99). Tyrimais įrodyta pasikeitusi lazeriu pjautų bandinių elgsena, esant nedidelėms dėvėjimo ir eksploatacijos tempimo apkrovoms.
3. Remiantis morfologine ir literatūrinių šaltinių analize lazerio apdaila nerekomenduojama šifonui A3, ypač pjaunant nesimetriško ir geometrinio kontūro elementus, nes šio audinio siūlų tankumas yra mažas. Retų ir paslankių audinių atveju tikėtina, kad net po pirmo skalbimo ar cheminio valymo ciklo silpna siūlų sistema pradės irti ir gaminys praras estetinę išvaizdą.
4. Vizualiai išanalizavus tirtų audinių kokybę, nustatyta, kad po lazerinio pjovimo (15W, 35W ir 60W) A2 audinio kraštelis pažeidžiamas - apdeginamas ir keičiasi spalva, todėl šiam audiniui lazerio apdaila nerekomenduojama.
5. Remiantis atliktais tyrimais, lazerio apdaila tinkamiausia atlasinio pynimo audiniui A1, nes jo charakteristikos mažiausiai keičiasi, o lazeriu pjaunant aplydomas kraštas išlaiko kokybę eksploatacijos metu.
6. Rekomenduojama visus audinius ir iš jų pagamintus aprangos elementus valyti chemiškai. Cheminis valymas mažiausiai pažeidžia lazeriu pjautų elementų kirptinius kraštus ir padeda užtikrinti aukštą gaminių kokybę dėvėjimo metu. Nerekomenduojama skalbti A2 ir A3 audinių, nes skalbiami dekoratyviniai elementai praranda estetinę vaizdą.
7. Rekomenduojama tyrimus tęsti, ieškant optimalaus lazerio parametrų derinio plonų poliesterio audinių pjovimui. Darbe tyrimai atliekami keičiant lazerio galią 15W, 35W ir 60W, tačiau neaišku, kaip kitos galios lazeris veiks audinių standumo ir stiprumo rodiklius bei vizualinę lazeriu pjauto audinio kraštų kokybę.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Informacija apie lazerinių technologijų panaudojimą [Žiūrėta 2017m. lapkričio 20d.]
Prieiga per internetą: <http://www.engadget.com/2014/06/17/laser-cut-clothing-explainer/>
2. Informacija apie lazerinių technologijų panaudojimo priežastys [Žiūrėta 2015m. lapkričio 20d.]
Prieiga per internetą: <http://www.slideshare.net/prinksrocks/laser-cut-fashion>
3. Informacija apie lazerinių technologijų panaudojimą 2017m. aukštosios mados kolekcijose [Žiūrėta 2017m. vasario 18d.] Prieiga per internetą: <http://www.irisvanherpen.com/>
4. Informacija apie lazerinių technologijų panaudojimą 2017m. aukštosios mados kolekcijose [Žiūrėta 2017m. vasario 18d.] Prieiga per internetą: <https://www.pinterest.com/pin/315392780139601576/>
5. Informacija apie lazerinių technologijų panaudojimą 2016 - 2017m. aukštosios mados kolekcijose [Žiūrėta 2017m. vasario 18d.] Prieiga per internetą: <http://trendprivemagazine.com/2016/07/06/ralph-russo-aw16-haute-couture-collection-paris-fashion-week/>
6. Informacija apie lazerio apdailos būdus [Žiūrėta 2017m. vasario 18d.] Prieiga per internetą <http://www.cutlaser.com/services/laser-cutting-fabric>
7. Informacija apie audinius, kurių apdaila atliekama lazeriu [Žiūrėta 2015m. lapkričio 20d.] Prieiga per internetą: <https://startupfashion.com/laser-cut/>
8. Informacija apie natūralios pluoštinės sudėties audinių lazerinio pjovimo technologija [Žiūrėta 2017m. vasario 18d.] Prieiga per internetą: <http://www.cutlaser.com/showcase/ensuk-hur-laser-cutting-felt>
9. Informacija apie lazerio panaudojimo būdus [Žiūrėta 2015m. lapkričio 20d.] Prieiga per internetą: <http://www.matchesfashion.com/intl/products/1079962>
10. Informacija apie lazerių panaudojimo būdus-Žiūrėta 2017m. kovo 20d.] Prieiga per internetą: <http://www.julitastefashion.com/2014/11/12/kristi-andress-ss-2015-iffair-2014/>
11. Kanapėnas, R. Lazerinė technologija pramonėje. Vilnius: Mokslas leidykla, 1988: 108 p.
12. Balachnaitė, O, Bargelis, A ir kiti.. Lazerinė technologija. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2008: 362 p.
13. V. Betingytė, A. Gulbinienė, V. Urbelis. Laminatų komfortiškumo didinimas naudojant lazerines technologijas. Gaminių technologija ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga/Kauno technologijos universitetas.Kaunas, Technologija 2009: p.100-104.

14. Fatima Estaves, Helena Alonso, Effect of Co2 Laser Radiation on Surface and Dyeing Properties of Synthetic Fibres. Research Journal of Textile and Apparel, Vol. 11 Issue: 3, pp.42-47, doi: 10.1108/RJTA-11-03-2007-B006
15. Informacija apie lazerinių technologijų naujoves [Žiūrėta 2015m. lapkričio 23d.] Prieiga per internetą: <http://www.utsavpedia.com/ethnic-innovations/laser-cut-fashion-cutting-edge/>
16. I .Kavoliūnaitės, V.Urbelis. Lazerių nupjautų aprangos medžiagų struktūros mikroanalizė. Gaminių technologija ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga/Kauno technologijos universitetas.Kaunas, Technologija 2012: p. 102-107.
17. Nukman Yusoff1, Noor Azuan Abu Osman, Khairi Safwan Othman, Harizam Mohd Zin.A study on laser cutting of textiles. Department of Engineering Design and Manufacture, Faculty of Engineering, University of Malaya. 2016: Paper ID: P201
18. L. Čepukonė ir M. Jucienė. Lazerių galios įtaka audinio standumui. Gaminių technologija ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga/Kauno technologijos universitetas.Kaunas, Technologija 2012: p.108-111.
19. Informacija apie lazerių panaudojimą nėrinių ir gipšų smulkinimui [Žiūrėta 2015m. lapkričio 23d.] Prieiga per internetą: <https://www.pinterest.com/pin/283726845248667150/>
20. [P. Bamforth](#), [K. Williams](#), [M.R. Jackson](#). Edge quality optimisation for CO₂ laser cutting of nylon textiles. Applied Thermal Engineering Journal [Vol. 26, Issue 4](#),2006:p. 403–412
21. Informacija apie drabužių skalbimo dažnį. [Žiūrėta 2017m. sausio 23d.] Prieiga per internetą: <http://lifelife.com/how-often-you-should-wash-your-clothes-based-on-scienc-1734318404>
22. Informacija apie [lazerio](#) apdaila [Žiūrėta 2017m. sausio 20d.] Prieiga per internetą: <http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/advanced-technologies/laser/plasma/>
23. M. Jucienė, V.Dobilaitė, G. Kazlauskaitė. Influence of Industrial Washing on Denim Properties. ISSN 1392–1320 Materials science Medžiagotyra, Vol. 12, No. 4. 2006.
24. Ž. Juchnevienė, M. Jucienė, V.Urbelis. Skalbimo įtaka lazerių apdoroto džinsinio audinio spalvos pokyčiui. Gaminių technologija ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga/Kauno technologijos universitetas.Kaunas, Technologija 2012: p.112-116
25. Dr. Heba Assem El-Dessouki, Effect of Different Washing Methods on Mechanical Properties of Egyptian Denim Fabrics, International Design Journal, Volume 5, Issue 3, pp 1099-1107
26. Informacija apie cheminio valymo mašiną [Žiūrėta 2015m. lapkričio 26d.] Prieiga per internetą: <http://www.ziermann.com/index.php/history.html>


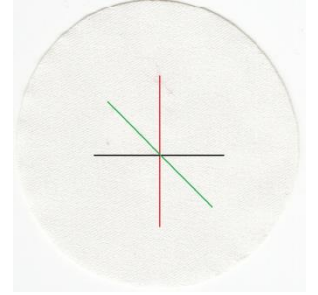
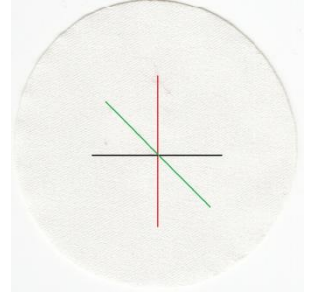
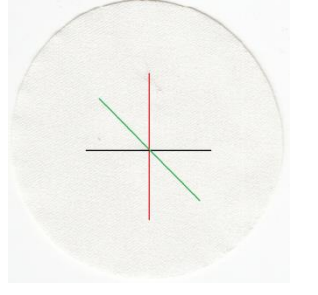
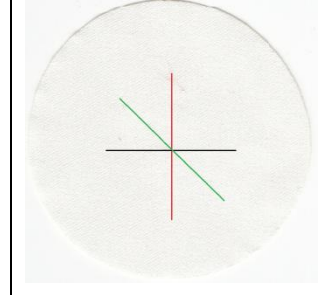
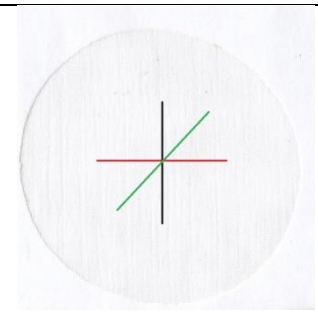
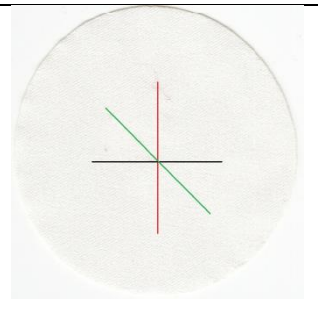
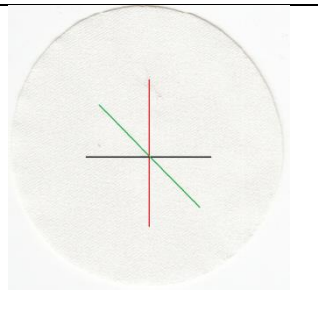
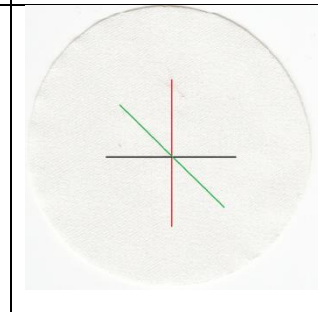
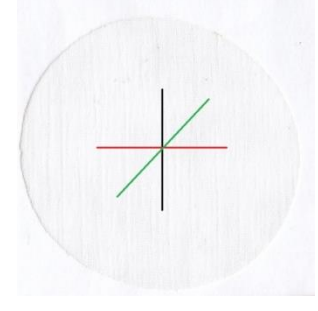
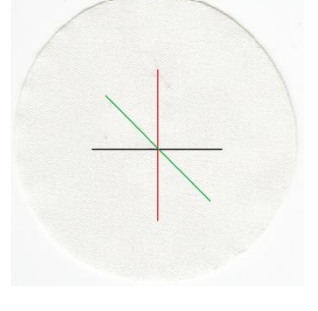
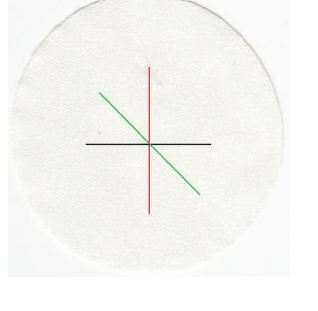
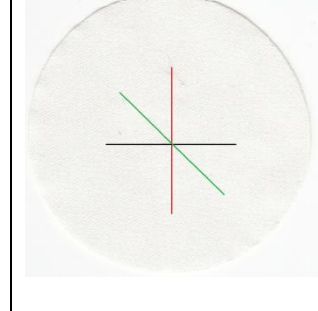
27. Informacija apie cheminį valymą [Žiūrėta 2015m. lapkričio 26d.] Prieiga per internetą: https://en.wikipedia.org/wiki/Dry_cleaning
28. Informacija apie cheminio valymo metu naudojamus chemikalą perchloretileną [Žiūrėta 2015m. lapkričio 26d.] Prieiga per internetą: http://en.wikipedia.org/wiki/Dry_cleaning
29. Informacija apie cheminio valymo procesą [Žiūrėta 2015m. gruodžio 26d.] Prieiga per internetą <http://www.dlionline.org/Dry-cleaning>
30. Informacija apie cheminio valymo žalą žmogaus sveikatai [Žiūrėta 2015m. gruodžio 26d.] Prieiga per internetą: http://www.slate.com/articles/health_and_science/the_green_lantern/2010/03/dirty_laundry.html
31. Neal Fann, Perchloroethylene Dry Cleaners Refined Human Health Risk Characterization, [interaktyvus]. Risk and Exposure Assessment Group, OAQPS. United States, 2005: p. 1-69. Prieiga per: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/riskassessment_dry_cleaners.pdf
32. Haifa I. H. Al-Shibi, Huda S. A. Habib & Yasser M.E. Hassan. Influence of drycleaning on physical and mechanical properties of wool/acrylic Fabrics. Pakistan Textile Journal; Vol. 61 Issue 10, 2012: p. 42
33. Informacija apie cheminio valymo procese naudojamus chemikalus [Žiūrėta 2015m. lapkričio 23d.] Prieiga per internetą: <https://drycleancoalition.org/chemicals/chemicalsusedindrycleaningoperations.pdf>
34. Md Zulfikar Hasan, Md Shamim Alam. A Comparative Study on the Effect of Different Types of Dry Cleaning Solvent on the Physical Properties of Garments. International Journal of Textile Science. Vol. 5 No. 4, 2016; pp. 67-73.
35. Informacija apie audinių reikšmę [Žiūrėta 2017m. lapkričio 20d.] Prieiga per internetą: <https://epelene.lt/medziagos-reiksme>
36. Informacija apie pasirinktą atlasinį (A1) audinį [Žiūrėta 2017m. lapkričio 20d.] Prieiga per internetą: <http://www.tavosapnas.lt/audiniai/audiniai-drabuziams/atlasas/atlasinis-audinys-alt-21.htm>
37. Informacija apie pasirinktą šifoninį (A2) audinį [Žiūrėta 2017m. lapkričio 20d.] Prieiga per internetą: <http://www.tavosapnas.lt/sifonai/sifonas-sif-09.htm>
38. Informacija apie pasirinktą ploną šifoninį (A3) audinį [Žiūrėta 2017m. lapkričio 20d.] Prieiga per internetą: <http://audiniupasaulis.lt/LT/audiniai/sifonas/>

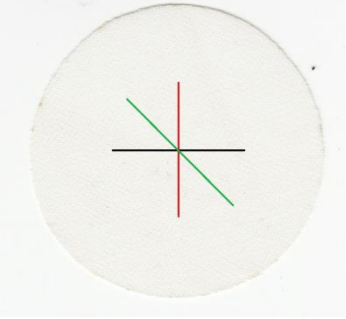
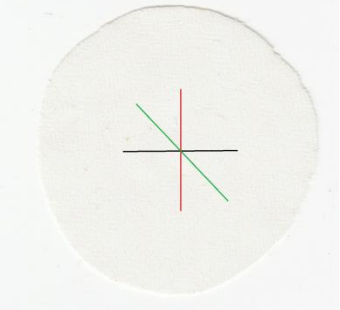
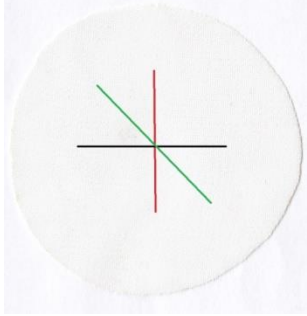
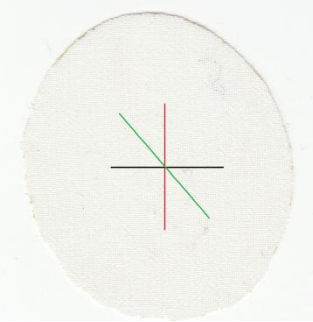
39. Tekstilės medžiagos. Audiniai. Sandara. Bandymo būdas. 2dalis. Siūlų skaičiaus vienetiniame ilgyje nustatymas (modifikuotas ISO 7211-2:1984).1998,11p.
40. Tekstilė. Tekstilės medžiagų ir gaminio storio nustatymas (ISO 5084-1996). 2000:5p.
41. Tekstilė. Tekstilės medžiagos. Paviršinio tankio nustatymas naudojant mažus bandinius (LST EN 12127:1999).
42. FAST Fabric assurance by simple testing. Manual. Tekstilė. Tempiamosios medžiagų savybės. 1 dalis. Didžiausios jėgos ir pailgėjimo esant šiai jėgai nustatymas juostelės metodu (ISO 13934-1:2013).
43. Tekstilė. Tempiamosios medžiagų savybės. 1 dalis. Didžiausios jėgos ir pailgėjimo esant šiai jėgai nustatymas juostelės metodu (ISO 13934-1:2013).
44. Tekstilė. Buitinio skalbimo ir džiovinimo procedūros bandant tekstilę (ISO 6330:2012).

PRIEDAI

1 priedas. Vizualinio vertinimo lentelės

20 lentelė. Skanuoti audinių vaizdai prieš ir po skalbimo 40° C temperatūroje


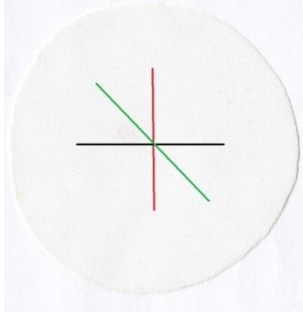
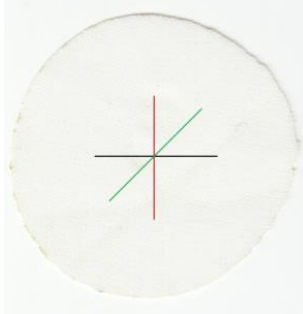
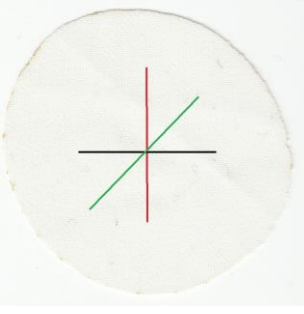
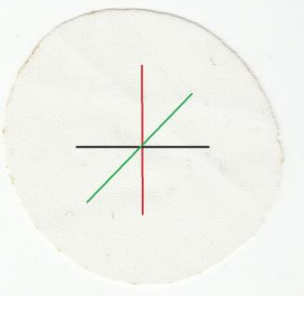
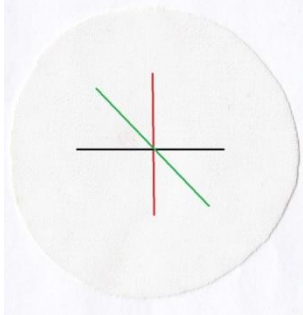
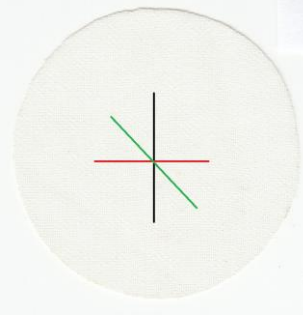
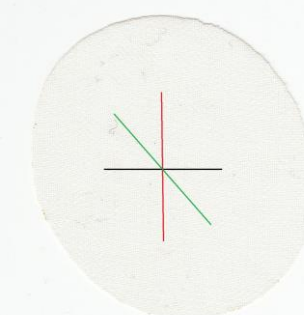
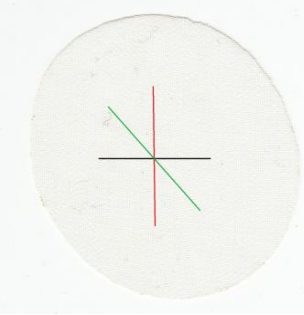
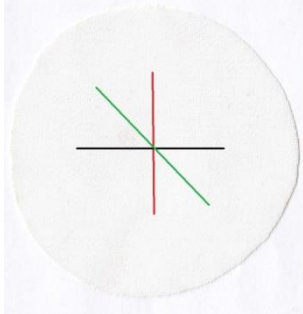
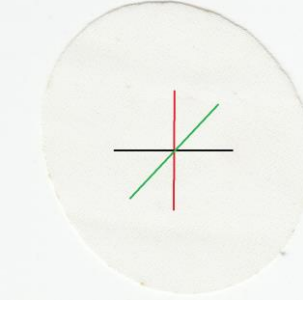
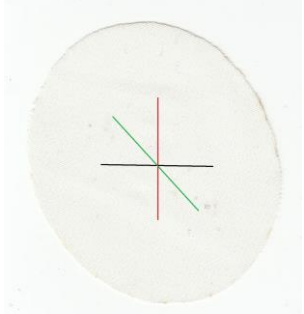
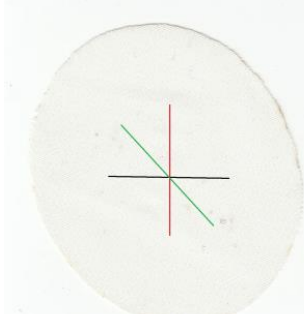
Kodas	Liniuotė	Prieš poveikį	Skalbimas 30° laipsnių temperatūroje		
			1 ciklas	2 ciklas	3 ciklas
A1-15					
A1-35					
A1-60					

A2-15					
A2-35					
A2-60					

A3-15					
A3-35					
A3-60					

17 lentelė. Skanuoti audinių vaizdai prieš ir po cheminio valymo

Kodas	Liniuotė	Prieš poveikį	Cheminis valymas		
			1 ciklas	2 ciklas	3 ciklas
A1-15					
A1-35					
A1-60					

A2-15					
A2-35					
A2-60					

A3-15					
A3-35					
A3-60\					

2 Priedas. Dalyvavimas konferencijoje

Jaunųjų mokslininkų konferencija „Pramonės inžinerija 2017“. Žodinis pranešimas: E.Varanavičienė, J. Domskienė, M. Jucienė. Co₂ lazerio parametrų įtaka mechaninėms tekstilės medžiagų savybėms ir gaminio kokybei. (2017 05 11).

Jaunųjų mokslininkų konferencija

pažymėjimas

PRA MO NĖS inžinerija

2017

nr. V24-11-74

pažymime, kad 2017 m. 05 mėn. 11 d.

Ernesta Varanavičienė

Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Pramonės inžinerija 2017“
pristatė žodinį pranešimą ir konferencijos pranešimų leidiniui
pateikė straipsnį

„CO₂ lazerio parametrų įtaka mechaninėms tekstilės medžiagų
savybėms ir gaminio kokybei“

MIDF Dekanas dr. Andrius Vilkauskas

Lietuvos aviacijos muziejus, Kaunas

organizatorė



mechanikos
inžinerijos ir
dizaino fakultetas



partneriai



3 Priedas. Baigiamojo magistro darbo kompaktinis diskas