



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Sublimacinio marginimo įtaka tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms

Baigiamasis magistro projektas

Brigita Kalendraitė

Projekto autorė

Prof. Daiva Mikučionienė

Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Sublimacinio marginimo įtaka tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms

Baigiamasis magistro projektas
Tekstilės inžinerija ir apdaila (6211FX007)

Brigita Kalendraitė

Projekto autorė

Prof. Daiva Mikučionienė

Vadovė

Lekt. Ginta Laureckienė

Recenzentė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Brigita Kalendraitė

Sublimacinio marginimo įtaka tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Brigitos Kalendraitės, baigiamasis projektas tema „Sublimacinio marginimo įtaka tekstilės medžiagų funkcinėms savybėms“ 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)



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa: 6211FX007 Tekstilės inžinerija ir apdaila

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui (-ei)

Brigitai Kalendraitei

(Vardas, Pavardė)

1. Baigiamojo Projekto tema –

Sublimacinio marginimo įtaka tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms

(Lietuvių kalba)

Influence of Sublimation Printing on Physical Properties of Textile Materials

(Anglų kalba)

2. Darbo tikslas ir uždaviniai –

Darbo tikslas – ištirti ir nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms.

Darbo uždaviniai:

1. Sukurti megztų ir austų medžiagų sublimacinio marginimo dizainus ir parinkti technologinio režimo parametrus.
2. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų struktūriniais pokyčiams.
3. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų laidumui orui.
4. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų drėgmės sugeriamumo dinamikai.
5. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų polinkiui pumpuruotis.

Studentas

Brigita Kalendraite

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Baigiamojo
projekto vadovas

Daiva Mikučionienė

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Brigita Kalendraitė. Sublimacinio marginimo įtaka tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms. Magistro baigiamasis projektas. Vadovė prof. Daiva Mikučionienė; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: sublimacija, laidumas orui, dinaminė vandens absorbcija, mežiniai, audiniai.

Kaunas, 2020. 50 p.

Santrauka

Tekstilės pramonėje susidaro daugybė atliekų bei sunaudojami dideli gamtinių išteklių kiekiai. Ieškant alternatyvaus ekologiško marginimo būdo, pasirinktas sublimacinis marginimas. Šio gamybos proceso metu nenaudojamas vanduo, dažikliai naudojami ypač taupiai, nesusidaro užterštų nuotekų. Išanalizuota, kokią įtaką fizikinių savybių pokyčiams sublimacinio marginimo metu daro siūlų ilginis tankis, žaliava, pynimas, struktūros rodikliai.

Šiame darbe analizuojamos 15 skirtingų struktūrų austos (5) ir megztos (10) medžiagos, kurios buvo paruoštos bendradarbiaujant su įmone UAB „Textilis“. Medžiagos skiriasi žaliava, horizontaliuoju ir vertikaliuoju tankumais, paviršiniu tankiu ir pynimu. Tyrinėtos grynaipluoštės ir mišripluoštės poliesterinės medžiagos bei medžiagos, pagamintos iš poliesterinių siūlų derinių ar mišinių su linu, viskoze, medvilne, tenceliu ir elastanu. Pasirinktas platus pynimų asortimentas - lygusis skersinis, presinis, pamušalinis, Milano lastiko, lygusis sluoksniuotinis, drobinis ir satininis pynimai. Tirtų medžiagų paviršinis tankis buvo nuo 100 iki 390 g/m². Atrinktos medžiagos numargintos sublimaciniu būdu, padengiant dažais skirtingą medžiagos plotą (0 %, 30 %, 70 %, 100 %).

Yra žinoma, kad apdailos procesai keičia medžiagos fizines ir mechanines savybes. Darbo tikslas – nustatyti, kokią įtaką tekstilės medžiagų fizikinių savybių pokyčiams turi sublimacinis marginimas. Darbe analizuojama, kaip sublimacija keičia medžiagos komforto savybes. Atlikti struktūrinių pokyčių, laidumo orui, dinaminės vandens absorbcijos ir atsparumo pumpuravimuisi tyrimai. Atlikta rezultatų analizė, palyginant neapdorotas ir skirtingai apdorotas medžiagas. Ieškota fizikinių savybių pokyčių ir struktūrinių bei marginimo charakteristikų tarpusavio priklausomybių.

Tyrimai parodė, kad medžiagos komforto savybės priklauso nuo žaliavos, pynimo, paviršinio tankio, horizontaliojo ir vertikaliojo tankumų bei siūlų sandaros. Nustatyta, kad sublimuojamų dažų kiekis neturi reikšmingos įtakos medžiagų savybių pokyčiams. Pokyčius lemia gamybos proceso metu patiriamas poveikis aukšta temperatūra ir slėgiu, kai medžiaga slegiama įkaitintu kalandru.

Brigita Kalendraitė. Influence of Sublimation Printing on Physical Properties of Textile Materials. Master's Final Degree Project, supervisor prof. Daiva Mikučionienė, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Polymer and Textile Technology (F02), Technological Sciences (F).

Keywords: sublimation, air permeability, water absorption dynamics, knitted structures, woven fabrics.

Kaunas, 2020. 50 p.

Summary

Textile industry accumulates huge amounts of waste, with an addition of large use of natural resources. In search of alternative, ecological dyeing process, a sublimation method was chosen to research. No water is used during its manufacture process, dyes are used economically, no toxic waste is accumulated. It was researched, how yarn linear density, material and pattern affects structure properties and material finish comfortability.

In this paper, 15 different structure woven (5) and knitted (10) fabrics were analyzed, which were prepared in collaboration with „Textilis“ company. Materials differ in raw material, course/weft density, wale/warp density, area density and pattern. Researched pure-fiber and mixed-fiber polyester materials and materials, made of polyester yarn combinations and mixes with flax, viscose, cotton, Tencel and elastane. A vast array of patterns was researched: single jersey, single plated, fleece, Milano rib, tuck-stitch, plain weave and satin weave. Surface density varies from 100 to 390 g/m². Selected materials were dyed using sublimation method, coated with different dye area (0 %, 30 %, 70 %, 100 %).

It is known, that finishing processes change fabric physical and mechanical properties. The goal of the research – to find out, how sublimation dyeing affects textile material physical properties. It is analyzed, how sublimation changes materials comfortability. A research was done on structural changes, air permeability, dynamic water absorption and pilling. Result analysis was conducted, comparing unprocessed and processed materials. Aiming to find changes in physical and relational properties.

Research has shown, that fabrics comfortability depends from raw material, pattern, yarn linear density, course/weft density, wale/warp density and yarn structure. It was discovered, that dye quantity, used in sublimation, does not affect materials change of properties. Changes are affected by manufacture process, during which material is affected by high temperature and press using heated roll.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Ekologija tekstilės medžiagų gamyboje	12
1.2. Sublimacinis marginimas	12
1.3. Medžiagų vartojamosios ir komforto savybės.....	15
1.3.1. Žaliavos įtaka vartojamosioms ir komforto savybėms	16
1.3.2. Pynimo ir struktūrinių rodiklių įtaka laidumui orui	17
1.3.3. Pynimo ir struktūrinių rodiklių įtaka vandens dinaminei absorbcijai	18
1.3.4. Pynimo ir struktūrinių rodiklių įtaka atsparumui pumpuruotis	18
1.3.5. Apdailos įtaka vartojamosioms ir komforto savybėms	19
1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	20
2. Metodinė dalis	22
2.1. Tyrimo objektas.....	22
2.2. Sublimacinio marginimo režimas	25
2.3. Tyrimų metodika	26
2.3.1. Medžiagų sandaros rodiklių nustatymo metodika.....	26
2.3.2. Medžiagų laidumo orui tyrimo metodika	26
2.3.3. Medžiagų dinaminės absorbcijos tyrimo metodika.....	26
2.3.4. Megztinių medžiagų atsparumo pumpuravimuisi tyrimo metodika.....	28
2.3.5. Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika	28
3. Tyrimų rezultatai.....	30
3.1. Sublimacinio marginimo įtakos sandaros rodiklių pokyčiams tyrimas.....	30
3.2. Sublimacinio marginimo įtakos laidumui orui tyrimas	34
3.3. Sublimacinio marginimo įtakos dinaminei vandens absorbcijai tyrimas	38
3.4. Sublimacinio marginimo įtakos polinkiui pumpuruotis tyrimas	44
Išvados	46
Literatūros sąrašas	47
Priedai.....	52
1 priedas. Jaunųjų mokslininkų darbų paroda-konkursas „Technorama 2019“	52
2 priedas. Pramonės inžinerijos jaunųjų mokslininkų konferencija 2019	53

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Tirtų medžiagų struktūros parametrai	22
2 lentelė. Medžiagų siūlų parametrai	24
3 lentelė. Sublimacinių dažų cheminė sudėtis [60].....	25
4 lentelė. Pumpuravimosi vertinimo balai	28
5 lentelė. Horizontaliojo P_h ir vertikaliojo P_v tankumų pokyčiai po sublimacijos	30
6 lentelė. Tirtų medžiagų storiai prieš ir po sublimacinio marginimo, mm.....	33
7 lentelė. Tirtų medžiagų oro srauto debitas D , dm ³ /min	35
8 lentelė. Dinaminės absorbcijos matavimo rezultatai.....	39
9 lentelė. Pumpuravimosi tyrimo rezultatai	44

Paveikslų sąrašas

1 pav. Sublimacinio marginimo etapai [9].....	13
2 pav. Sublimacinio ir tradicinio marginimo būdų palyginimas [12].....	14
3 pav. Įkaitinto kalandro zonos [14]	15
4 pav. Pagrindinės medžiagų vartojamosios ir komforto savybės [15]	16
5 pav. Pumpurėlio formavimasis [47].....	19
6 pav. Presinio pynimo siūlo klojimo schema (1M, 2M bandiniai).....	23
7 pav. Lygiojo skersinio pynimo siūlo klojimo schema (3M, 4M, 5M, 6M, bandiniai).....	23
8 pav. Pamušalinio pynimo siūlo klojimo schema, PA – pagrindo siūlas, PM – pamušalinis siūlas (7M bandinys)	23
9 pav. Pamušalinio pynimo siūlo klojimo schema, PA – pagrindo siūlas, PM – pamušalinis siūlas (8M bandinys)	23
10 pav. Milano lastiko siūlo klojimo schema (9M bandinys).....	24
11 pav. Lygiojo sluoksniuotinio pynimo siūlo klojimo schema, PA – pagrindo siūlas, DE – dengiantysis siūlas (10M bandinys)	24
12 pav. Drobinio pynimo schema (11A, 12A, 14A, 15A bandiniai)	24
13 pav. Satino 3/1 pynimo schema (13A bandinys)	24
14 pav. Naudoti marginimo dizainai su skirtingu paviršiaus užpildymu.....	25
15 pav. Vandens absorbcijos tyrimo schema: 1 – šviesos šaltinis, 2 – pipetė, 3 – bandinys, 4 – skaitmeninė kamera, 5 – stereo-mikroskopas, 6 – kompiuteris, 7 – filmuoto vaizdo kadrai [66].....	27
16 pav. Pipetės schema: 1 – valdymo mygtukas, 2 – nustatymo žiedas, 3 – atleidimo mygtukas, 4 – reguliavimo anga, 5 – skysčio išstūmimo antgalis, 6 – daugiakanalė dalis su: 7 – dangteliu, 8 – anga detalės išardymui, 9 – korpusu [67]	27
17 pav. Horizontaliojo tankumo P_h pokytis po sublimacijos.....	31
18 pav. Vertikaliojo tankumo P_v pokytis po sublimacijos	32
19 pav. Storio pokyčiai po sublimacinio marginimo, mm.....	34
20 pav. Medžiagų laidumas orui R , $\text{dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$	36
21 pav. Audinio 15A mikroskopinis vaizdas prieš ir po sublimacijos (optinis mikroskopas Askania RML5skaitmeninė kamera Nikon Coolpix 4500)	38
22 pav. Medžiagų, nelaidžių vandeniui, pavyzdžiai: a) – 3M bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 3M bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 3M bandinys pirmąją sekundę po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 3M bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais	42
23 pav. Medžiagų, kurių vandens absorbcijos savybės po apdailos nepakito, pavyzdžiai: a) – 1M bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 1M bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 1M bandinys pirmąją sekundę 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 1M bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais	42
24 pav. Medžiagų, kurios neabsorbavo vandens po apdailos, pavyzdžiai: a) – 12A bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 12A bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 12A bandinys pirmąją sekundę 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 12A bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais	43
25 pav. Medžiagų, kurios geriau absorbavo vandenį po sublimacijos, pavyzdys: a) – 4M bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 4M bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 4M bandinys pirmąją	

sekundę 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 4M bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais 43

Įvadas

Tekstilės pramonė – viena taršiausių pramonės šakų, tačiau jos procesai yra nuolatos tobulinami, siekiant didinti jų našumą ir ekologiškumą. Ieškoma efektyvių prevencinių būdų, kaip sumažinti taršą ir daromą žalą gamtai. Daugiausiai vandens išteklių reikalaujantis apdailos procesas tekstilės pramonėje – dažymas ir marginimas.

Sublimacija yra vienas ekologiškiausių medžiagos marginimo būdų, nes šio proceso metu nenaudojamas vanduo. Tekstilės pramonėje ji pradėta naudoti tik 1990 m. Santykinai naujas procesas leidžia išgauti didelės raiškos ir aukštos kokybės spaudą. Sublimaciją galima atlikti tik ant grynpluoščių arba mišriapluoščių poliesterinių medžiagų. Dažnai poliesterio pluoštas neužtikrina aukštų komforto savybių, todėl yra naudojamas mišiniuose ar deriniuose su natūraliais ar dirbtiniais pluoštais.

Dauguma apdailos procesų keičia medžiagos mechanines ir fizines savybes, todėl labai svarbu išnagrinėti, kaip pasikeičia medžiagos funkcinės ir komforto savybės po sublimacijos. Tam atliekami tokie tyrimai: laidumas orui, vandens absorbcija, atsparumas pumpuravimuisi ir kiti. Šių tyrimų rodikliai gali priklausyti nuo daugelio veiksnių – siūlų ilginio tankio, žaliavos, pynimo, medžiagos struktūros rodiklių bei apdailos. Svarbu nustatyti sublimacijos proceso, funkcinių savybių ir struktūrinių parametrų tarpusavio ryšį.

Darbo tikslas – ištirti ir nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tekstilės medžiagų fizikinėms savybėms.

Darbo uždaviniai:

1. Sukurti megztų ir austų medžiagų sublimacinio marginimo dizainus ir parinkti technologinio režimo parametrus.
2. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų struktūriniams pokyčiams.
3. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų laidumui orui.
4. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų drėgmės sugeriamumo dinamikai.
5. Nustatyti sublimacinio marginimo įtaką tiriamųjų medžiagų polinkiui pumpuruotis.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Ekologija tekstilės medžiagų gamyboje

Gamybos pramonėje, tekstilės sektorius yra vienas iš labiausiai teršiančių aplinką. Žaliavos auginimo etape yra naudojami dideli gamtiniai išteklių: kertami medžiai, augalinių pluoštų auginimui gausiai naudojami pesticidai ir herbicidai, didelis gėlo vandens kiekis. Užteršiami dideli dirbamosios žemės plotai. Nuo žaliavos auginimo neatsilieka ir tekstilės medžiagų gamybos etapai. Siekiant pagaminti malonų dėvėjimui gaminį, reikalinga ne viena apdailos operacija, kurių metu sunaudojami dideli vandens ir cheminių preparatų kiekiai [1]. Įvairiuose tekstilės pramonės gamybos etapuose naudojama daugiau kaip 8000 skirtingų cheminių medžiagų, dauguma jų yra nuodingos ir gali tiesioginiu arba netiesioginiu būdu kenkti žmogaus sveikatai [2]. Net 72 dažymo metu naudojami preparatai pripažinti kenksmingais sveikatai, o 30 iš jų nebegali būti pašalinami iš tekstilinių gaminių [3]. Tekstilės dažymo ir baigiamosios apdailos metu generuojama apie 17–20 % visų pramoninėje susidariusių nuotekų (2012 m.) [1].

„Eurostat“ statistikos duomenimis, Europos Sąjungoje 2012 m. susidarė 3 110 000 tonų tekstilinių atliekų (6 kg vienam gyventojui). Nustatyta, kad Lietuva yra 11-oje vietoje pagal didžiausią išmetamų tekstilinių atliekų kiekį Europoje. 2012 metų duomenimis, Lietuvoje susidarė ~ 9000 tonų tekstilinių atliekų, iš kurių 3000 tonų yra gamybos metu susidariusios atliekos. Deja, Lietuvoje perdirbama tik 23 % šių atliekų, likusios nugula sąvartynuose, yra sudeginamos arba kitaip lieka nepanaudotos [4].

Šie skaičiai priverčia susimastyti, todėl jau yra pasiūlytas ne vienas prevencinis būdas, kaip sumažinti tekstilinių atliekų kiekius. „Textale“ organizacija siūlo pradėti nuo savęs ir senus rūbus prikelti antram gyvenimui, juos padekoruojant naujomis detalėmis, kitus tekstilės gaminius paversti naujais produktais, pavyzdžiui, iš užuolaidų pasisiūti maišelius ir t. t. [5]. Gamybos įmonės dažniausiai pasitelkia vieną iš šių atliekų tvarkymo sistemų:

- mechaninį perdirbimą;
- biologinį perdirbimą;
- cheminį perdirbimą;
- terminį perdirbimą;
- mišrias technologijas [6].

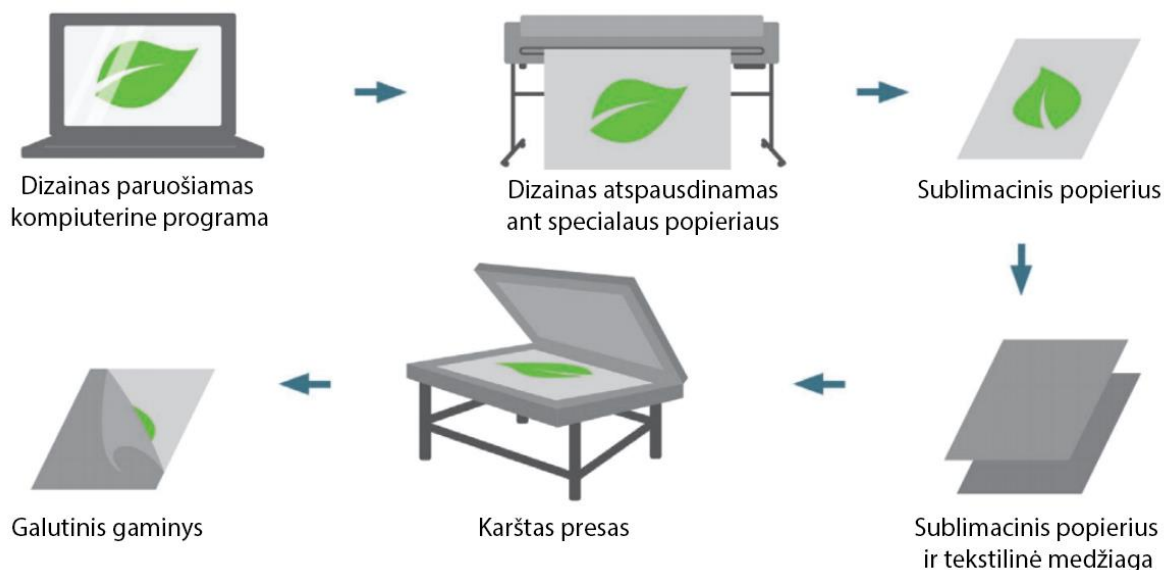
Tačiau svarbu ne tik spręsti, kaip perdirbti susidariusias atliekas, bet ir stengtis, kad tų atliekų gamybos etapuose susidarytų kuo mažiau. Norint tai pasiekti, reikia įvertinti kiekvieną gamybos etapą ir ieškoti alternatyvių ekologiškų sprendimų.

Tekstilės marginimas yra sritis, kurioje susidaro nemažai užterštų vandens nuotekų, o tai susiję su aplinkos tarša. Vienas iš ekologiškiausių marginimo būdų yra sublimacinis marginimas [7], nes šiame gamybos procese nenaudojami vandens išteklių, dažikliai naudojami labai taupiai. Pagrindinė proceso pagalbinė priemonė yra popierius, kuris po panaudojimo gali būti visiškai perdirbtas.

1.2. Sublimacinis marginimas

Sublimacija – cheminio elemento arba cheminio junginio virtimas dujomis tiesiogiai iš kietosios agregatinės būsenos, praleidžiant tarpinę skysčio fazę [8].

Sublimacijos gamybos etapai pavaizduoti 1 paveiksle.



1 pav. Sublimacinio marginimo etapai [9]

Dizainai (marginimo raštai) paruošiami „Adobe Illustrator“, „Adobe Photoshop“, „Corel Draw“ ar kitomis programomis. Tuomet dizainas yra atspausdinamas ant specialaus popieriaus. Popierius gali skirtis savo storium (60–130 g/m²), būti papildomai vaškuotas ar lipnus. Jo savybės parenkamos priklausomai nuo popieriaus kainos, medžiagos savybių ar norimos išgauti marginimo kokybės.

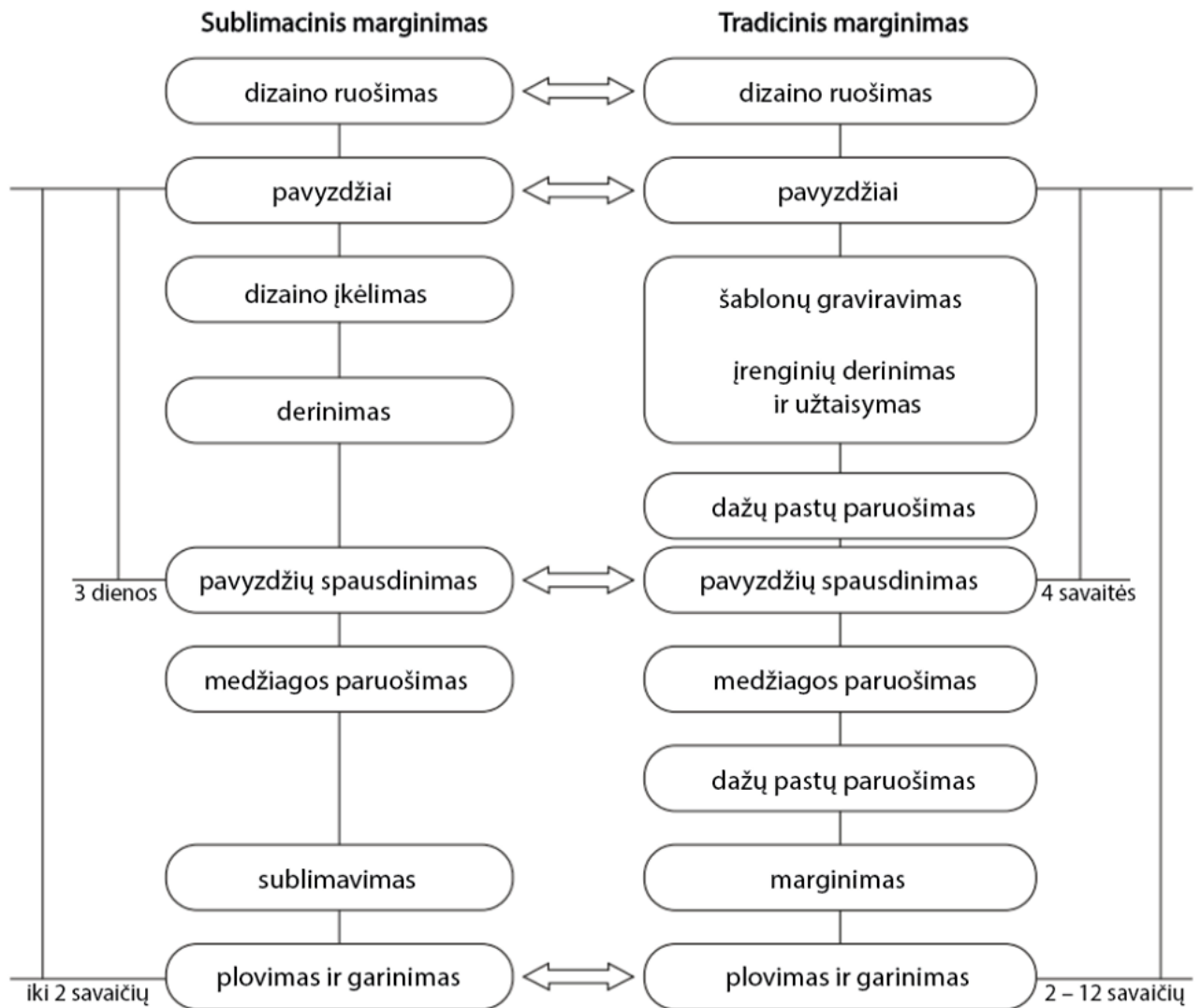
Sublimacijai naudojami CMYK spalvinės sistemos dispersiniai dažai. CMYK spalvų sistemą sudaro juoda, purpurinė, geltona ir mėlyna spalvos. Netirpūs arba labai netirpūs vandenyje dažikliai, kurių vandeninės dispersijos dažo hidrofobinius sintetinius pluoštus, vadinami dispersiniais dažikliais [10].

Įvairios cheminės prigimties pluoštai dispersinius dažiklius sugeria skirtingai. Dažiklio adsorbcija labai padidėja sintetinių pluoštų stiklėjimo temperatūros intervale. Dažymas dispersiniais dažikliais grindžiamas dažiklio tirpimu dažomajame substrate, susidarant kietam tirpalui. Polinėmis grupėmis dažiklis fiksuojasi pluošte dėl bipolinių jėgų. Dispersijų dalelių dydis turi būti ~ 1 μm, esant didesnėms dalelėms, pluoštas nudažomas netolygiai [10].

Dispersiniai dažikliai hidrofobiniame dažomajame substrate fiksuojami dėl Van Der Valso jėgų, dipolio-dipolio ir vandenilinių ryšių sąveikos. Ypač sunku dažyti poliesterinius pluoštus, kurių makromolekulės išsidėsčiusios tvarkingai (susipakavusios), hidrofobiškos. Dėl to dažnai technologinis procesas intensyvinamas didinant temperatūrą ir pridedant specialių intensyviklių [10].

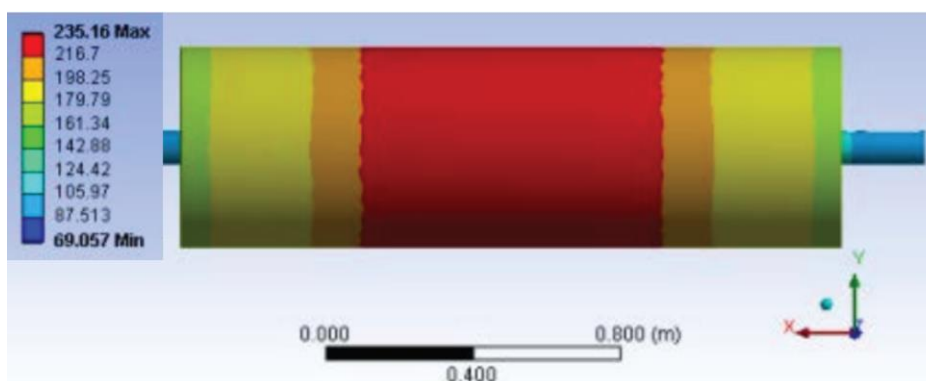
Tyrimo metu naudojamas „Mimaki JV150-160“ plačiaformatės spaudos įrenginys, kuriame yra integruota „Epson Micro Piezo“ spausdinimo galvūčių technologija. Ši technologija valdoma elektros impulsais išstumia atitinkamą dažų kiekį reikiamu metu. Spausdinimo sistema leidžia galvutei išmatuoti kiekvienos spalvos rašalo lašelio dydį ir jį nukreipti tinkamu srovės kampu. Rašalo lašelių dydžiai yra tiksliai dozuojami nuo minimalaus 4 pl iki maksimalaus 35 pl. Maži lašeliai sukuria gražią didelės skiriamosios gebos spaudą, o dideli lašeliai yra labai naudingi greitam spausdinimui [11]. Reguluojant lašelių dydį ir spausdinimo greitį sublimacinio marginimo būdu galima išgauti itin didelės raiškos ir aukštos kokybės spaudą.

Atspausdinus dizainą ant specialaus popieriaus ypač svarbu, kad dažai visiškai išdžiūtų. Priešingu atveju nukentės spaudos kokybė, linijos bus išsiliejusios arba šėšėliuotos. Tolimesniame etape dizainą nuo popieriaus ant medžiagos galima perkelti dviem būdais: termopresu, skirtu nedidelių tiražų vienkartiniams gaminiams (pvz., marškinėliams) ir kalandrinio presu, skirtu našiai gamybai, kai nepertraukiamai marginami medžiagos rulonai. Šis būdas ypač patogus ir greitas lyginant su kitais marginimo būdais, nes nereikia kaskart keisti technologinių parametrų marginant skirtingas medžiagas. Nepriklausomai kokios žaliavos ar storio yra marginama medžiaga, procesas nėra stabdomas. Dėl šios priežasties vyksta ypač naši gamyba. Skirtingų marginimo būdų palyginimas pateiktas 2 paveiksle.



2 pav. Sublimacinio ir tradicinio marginimo būdų palyginimas [12]

Sublimacinio marginimo metu kalandrai yra įkaitinami nuo 180 iki 220 °C temperatūros [13]. Tyrimo metu naudotas elektrinis kaitinimo kalandras. Jam dažnai naudojamas skirtingas kaitinimo elementų skaičius, siekiant tolygiai paskirstyti kaitinimo temperatūrą. Mokslininkų Mingšu ir kt.[14] nustatyta, kad temperatūra pasiskirsto skirtingai per kalandro plotį nepriklausomai, kiek yra naudojama kaitinimo elementų. Temperatūra kalandro centre gali siekti 215–230 °C, o kraštuose – 170–185 °C, kaip pavaizduota 3 paveiksle. Atsižvelgiant į šio tyrimo rezultatus, stengiamasi bandinius imti iš medžiagos vidurio, siekiant užtikrinti, kad gamybos procesas neturėtų įtakos tyrimų rezultatams.



3 pav. Įkaitinto kalandro zonos [14]

Sublimacijos būdu marginamos grynapluoštės ir mišriapluoštės poliesterinės medžiagos. Sublimuojamos medžiagos sudėtyje privalo būti ne mažiau kaip 50 % poliesterinio pluošto [8]. Įprastai žmonės vengia dėvėti grynapluoščius poliesterinius rūbus, nes šis pluoštas pasižymi dideliu hidrofobiškumu, tai yra prastai sugeria drėgmę. Siekiant pagerinti medžiagos hidrofiliškumą ir, tuo pačiu, komforto savybes, poliesterinis pluoštas dažnai maišomas su natūraliais arba dirbtiniais pluoštais. Tačiau kuo daugiau medžiagoje poliesterinio pluošto, tuo gaunamas ryškesnis ir geresnės kokybės raštas.

Sublimacinis marginimas atliekama tik ant baltų arba šviesių medžiagų. CMYK spalvų sistemoje, kurios pagrindu maišomi dažai spausdinimo įrenginyje, nėra baltos spalvos. Todėl norint išgauti šviesias spalvas dizaine tos vietos nėra padengiamos dažais arba padengiamos labai plonu sluoksniu. Tokiu būdu gaunamos reikiamo šviesumo spalvos.

Deja, sublimacijos technologija leidžia padengti tik vieną medžiagos pusę, o dažai nepersigeria per medžiagą. Tačiau pabrėžtina, kad perkeltas ant medžiagos dažas yra nejaučiamas medžiagos paviršiuje. Tai reiškia, kad dažų molekulės fiksuojamos ant pavienių poliesterio pluošto gijų nesudarydamos vientisos plėvelės ant medžiagos paviršiaus.

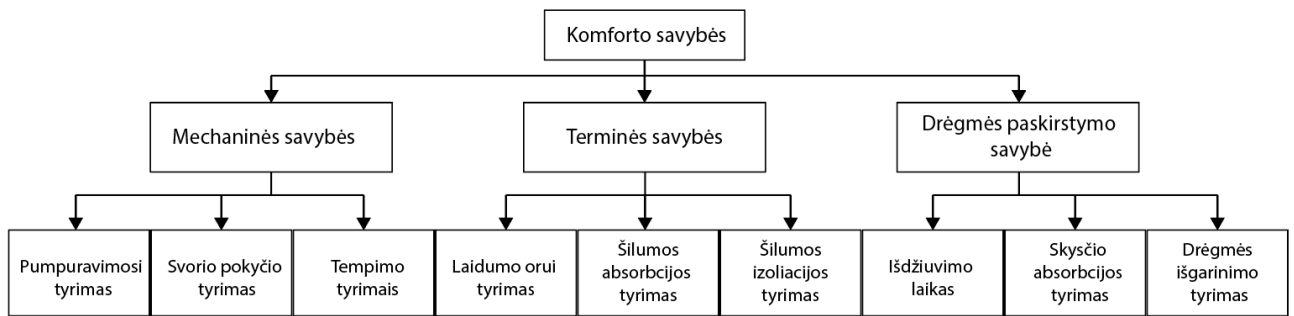
1.3. Medžiagų vartojamosios ir komforto savybės

Patogus ir funkcionalus rūbas leis kūnui „kvėpuoti“, nekaups drėgmės bei bus ilgaamžis, išlaikys estetinę išvaizdą ir greitai nesusidėvės. Visa tai gali užtikrinti tik aukštos kokybės ir komforto lygiu pasižyminti apranga. Komfortas – kompleksinių savybių visuma, kurios patenkina vartotojo poreikius. Todėl susikongravus į vieną savybę (pvz., laidumą orui) negalima teigti, kad medžiaga yra komfortiška. Reikia ieškoti optimalaus komforto dedamųjų savybių derinio.

Tekstilės medžiagų vartojamosios ir komforto savybės paprastai skirstomos į tokias tris pagrindines grupes [15]:

1. Mechaninės savybės.
2. Terminės (šiluminės) savybės.
3. Drėgmės valdymo savybės.

Pagrindinės šių savybių dedamosios, kurios dažnai yra glaudžiai tarpusavyje susijusios, pavaizduotos 4 paveiksle.



4 pav. Pagrindinės medžiagų vartojamosios ir komforto savybės [15]

Sublimacinis marginimas atliekamas ant grynaipluoščių ir mišriapluoščių poliesterinių medžiagų. Norint numatyti kokiomis vartojamosiomis ir komforto savybėmis pasižymės galutinis gaminyje labai svarbu ne tik išsiaiškinti kokiomis savybėmis pasižymi poliesterio pluoštas, bet ir mišinyje naudojamos žaliavos.

Svarbu projektuojamam gaminiui parinkti tinkamą pluoštinę sudėtį, tačiau tai yra tik viena iš komfortui įtaką darančių sąlygų. Siekiant išsiaiškinti, ar gaminyje atitiks vartotojo poreikius ir bus komfortiškas dėvėti, atliekami tokie tyrimai: laidumo orui, vandens absorbcijos ir jos dinamikos, atsparumo pumpuravimuisi ir kiti. Šios savybės priklauso nuo pasirinkto audinio ar mezginio pynimo, struktūrinių rodiklių, tokių kaip kilpos ilgis ir kilpų tankumas (mezginiams), ataudų ir matmenų tankumas (audiniams), paviršinis tankis, medžiagos storis, sluoksnių skaičius ir kt. Komforto savybės priklauso nuo daugelio kintamųjų, todėl literatūros šaltinių, kuriuose paskelbti šios problemos nagrinėjančių mokslo darbų rezultatai, nagrinėjimas šia tema yra ypač svarbus, siekiant išsiaiškinti, kokie veiksniai daro didžiausią įtaką.

Dažnai medžiagos parametrai lemia jos komforto savybes, tačiau šiuolaikinė tekstilės pramonėje atliekama gausybė įvairių apdailų, kurios gali iš esmės pakeisti medžiagos funkcines savybes. Sublimacinis marginimas – ne išimtis, todėl būtina išanalizuoti kaip keičiasi komforto rodikliai po atliktos apdailos.

1.3.1. Žaliavos įtaka vartojamosioms ir komforto savybėms

Projektuojant gaminį vienas iš pirmųjų žingsnių yra žaliavos parinkimas. Atliekant sublimacinį marginimą, didžiąją dalį medžiagos sudėties turi sudaryti poliesterinis pluoštas, todėl suprantama, kad jo savybės bus dominuojančios, o likusių pluoštų savybės palygintos su poliesteriniu pluoštu:

- Poliesterinis pluoštas – sintetinis pluoštas, kuris, palyginus jį su kitais natūraliais ir dirbtiniais pluoštais, dažniausiai pasižymi prastomis hidrofilinėmis savybėmis bei yra linkęs elektrintis. Tačiau šis pluoštas užtikrina gaminiui geras mechanines savybes, matmenų stabilumą, atsparumą trinčiai, dilinimui bei yra linkęs greitai išdžiūti [15–18].
- Linų pluoštas – vienas iš stipriausių natūralios prigimties celiuliozinių pluoštų, kuriam būdingos geros hidrofilinės ir laidumo orui savybės [19, 20]. Tačiau lininės medžiagos linkusios glamžytis.
- Medvilnės pluoštas – natūralios kilmės celiuliozinis pluoštas, kuris pasižymi geresnėmis hidrofilinėmis ir laidumo orui savybėmis nei poliesterinis pluoštas. Tačiau šis pluoštas

pasižymi prastesnėmis mechaninėmis savybėmis, eksploataavimo metu medvilninis gaminy linkęs pumpuruotis [15].

- Viskozinis pluoštas – celiuliozinis dirbtinis pluoštas, kuris pasižymi geromis komforto savybėmis, bet prastesnėmis pumpuravimosi savybėmis nei poliesterinis pluoštas [21].
- Lajocelis (tencelis) – lengvas ir švelnus celiuliozinis dirbtinis pluoštas [22]. Yra nustatyta, kad lajocelio pluoštas pasižymi prastesnėmis laidumo orui, bet geresnėmis vandens absorbcijos savybėmis nei poliesterinis pluoštas. Geriausiu laidumu vandens garams pasižymėjo lajocelio ir poliesterio mišinio medžiaga. Tai parodo, kad, maišant skirtingus pluoštus, galima išgauti geriausias savybes [23–25].
- Elastanas – ypač elastingas sintetinis pluoštas iš poliuretano, kurio grandinės sudarytos iš periodiškai pasikartojančių lanksčių ir stangrių atkarpų. Elastanas naudojamas kaip vienagijai arba daugiagijai siūlai siekiant suteikti gaminiams elastingumą. Šis pluoštas įjautas ar įmegztas į medžiagą padidina jos tankumą, taigi kinta medžiagos vartojamosios ir komforto savybės [26].

Siekiant gauti optimalias medžiagos savybes, sintetiniai, dirbtiniai ir natūralūs pluoštai yra maišomi tarpusavyje. Sintetinį pluoštą sumaišius su natūraliu, medžiaga bus linkusi mažiau glamžytis ir pumpuruotis nei grynpluoštės natūralios medžiagos bei išlaikys optimalias komforto savybes, bus laidi orui, gerai sugers ir išgarins drėgmę.

1.3.2. Pynimo ir struktūrinių rodiklių įtaka laidumui orui

Medžiagos laidumas orui nusako, ar bus užtikrinta gera kūno ventiliacija ar dėvint rūbą neprakaituosime bei jausimės komfortiškai. Natūralu, kad vasara dėvime plonus rūbus, kurie pasižymi dideliu laidumu orui ir užtikrina, kad jausimės gerai, o žiema renkames storesnę aprangą, kuri yra mažiau laidi orui. Besirinkdami aprangą atsižvelgiame į laidumo orui rodiklius, kuris priklauso nuo medžiagos akytumo – akučių dydžio ir kiekio. Skirtingos paskirties medžiagos pasižymės skirtingu laidumu orui. Norint užtikrinti optimalų medžiagos akytumą, atsižvelgiant į gaminio paskirtį reikia parinkti tinkamą žaliavą, pynimą, siūlų ilginį tankį, apdailą, paviršinį tankį bei medžiagos storį [27–31].

Remiantis mokslinėmis publikacijomis galima teigti, kad geriausiai kūnus leis „kvėpuoti“ mezginiai, kurių struktūroje yra lankų ir tašų. Pavyzdžiui presiniai ar ažūriniai pynimai. Prastesnėmis laidumo orui savybėmis pasižymi dvigubieji sluoksniuotiniai arba pamušaliniai pynimai. Įprastai šių pynimų struktūra būna tankesnė, o numegzta medžiaga storesnė [29]. Audinių struktūros priešingai, net ir pačios ploniausios medžiagos gali būti beveik nelaidžios orui. Oro cirkuliacija audiniuose priklauso nuo matmenų ar ataudų perdangų ilgio. Kuo ilgesnės perdangos, tuo laisvesnė yra medžiagos struktūra ir oras lengviau cirkuliuoja [28].

Ne mažiau svarbūs ir kiti medžiagos rodikliai. Mokslininkas Ebru [32] nustatytė, jog medžiagos, turinčios didesnę kilpos ilgį, pasižymi didesniu laidumu orui. Taip yra dėlto, kad kilpos ilgis lemia akučių dydį. Gilinantis dar į smulkesnius elementus nustatyta, jog įtakos turi ne tik siūlo ilginis tankis, bet ir siūlo sandara. Akučių dydis priklauso nuo gijų storio ir skaičiaus siūle. Glaudesnės struktūros ir storesnių gijų siūlai leidžia oro srautui tekėti sklandžiau, o smulkesnės gijos, dėl didesnio paviršiaus užpildymo laipsnio, sudaro daugiau kliūčių, dėl ko oras sunkiau cirkuliuoja [33, 34]. Analogiškomis savybėmis pasižymi ir verpalai. Pavieniai siūlo plaukeliai išsiskaido sudarydami gerą termoizoliacinį barjerą, tačiau kartu ir daugiau kliūčių orui judėti.

Laidumas orui turi būti parenkamas atsižvelgiant į būsimą medžiagos paskirtį. Medžiaga gali pasižymėti didesniu arba mažesniu laidumu orui, tačiau visiškas oro judėjimo blokavimas yra nepageidautina savybė. Atsižvelgiant į nagrinėtus tyrimus negalima teigti, kad kažkuri viena medžiagos savybė daro lemiamą įtaką oro laidumui. Tai kompleksiškas reiškinys, todėl, ieškant optimalaus oro laidumo vertės, reikėtų atsižvelgti į visas įtaką darančias dedamąsias. Svarbu, jog parinktos medžiagos savybės užtikrintų optimalų akučių, kuriomis cirkuliuos oras, dydį ir jų išsidėstymą.

1.3.3. Pynimo ir struktūrinių rodiklių įtaka vandens dinaminei absorbcijai

Žmogaus kūnas nuolatos vykdo temperatūros reguliavimo funkciją. Kai kūno temperatūra pakyla, prakaito liaukos atsidaro ir išskiria prakaitą, taip vėsindamos kūną. Šiuo atveju dėvimas rūbas turi atlikti dvi funkcijas – sugerti bei išgarinti susikaupusią drėgmę. Priešingu atveju jausime drėgmę, kuri sukels diskomforto jausmą. Todėl viena iš svarbiausių medžiagos savybių yra greitas drėgmės absorbavimas. Ši savybė priklauso nuo medžiagos pynimo, paviršinio tankio bei medžiagai atliktos apdailos [20, 31, 35–38].

Vienas iš vandens absorbcijos dinamiką nusakančių rodiklių yra medžiagos struktūra. Remiantis mokslinėmis publikacijomis vienasluoksniai elementarieji pynimai geriau sugeria drėgmę nei dvisluoksniai ar kombinuotieji pynimai [37]. Medžiagos pynimas glaudžiai susijęs su jos paviršiniu tankiu. Yra žinoma, kad kuo storesnė ir tankesnė bus medžiagos struktūra, tuo didesnis jos paviršinis tankis. Nustatyta, kad skysčiams sunkiau skverbtis į tankią, didelio paviršinio tankio medžiagą [35]. Taip nutinka dėl to, kad tankioje struktūroje vanduo susiduria su daugiau kliūčių, sklisdamas turi apimti didesnę skaičių pluošto. Dėl šios priežasties skystis pasklinda mažesniame medžiagos plote.

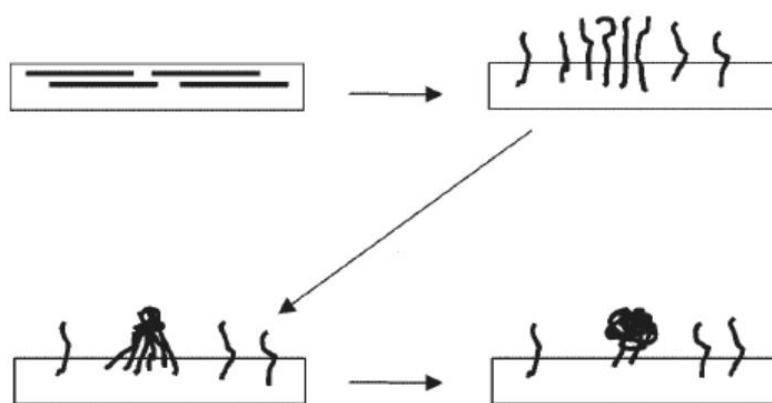
Bene didžiausią įtaką daro medžiagos sudėtis [32, 39]. Remiantis paskelbtomis mokslinėmis publikacijomis natūralūs pluoštai geriau sugeria drėgmę negu sintetiniai, tačiau sintetiniai pluoštai greičiau išdžiūsta. Taip yra dėl pluoštus sudarančių amorfinių ir kristalinių sričių. Natūralūs pluoštai, lyginant juos su sintetiniais pluoštais, turi mažą kristališkumo laipsnį ir daug amorfinių sričių, o tai reiškia, kad jie gerai absorbuos drėgmę ir vanduo prasiskverbs į struktūros vidų. Sintetiniai pluoštai veikia priešingai – jie turi didesnį kristališkumo laipsnį, todėl sunkiau absorbuoja drėgmę, taigi absorbuotas vanduo pasklinda medžiagos paviršiuje, bet ne vidiniuose sluoksniuose. Tai yra neigiama sintetinių pluošto savybė, taip pat tai reiškia, jog sintetinės medžiagos bus linkusios greičiau nei natūralios išgarinti drėgmę iš vidinių sluoksnių [40].

Nepriklausomai tai yra žiemai ar vasarai skirtas rūbas, pageidautina, kad medžiaga visada gerai sugertų ir transportuotų drėgmę į išorinius sluoksnius. Siekiant gauti geriausias medžiagos vandens absorbcijos savybes, reikia teisingai suderinti skirtingas žaliavas bei struktūrinius rodiklius.

1.3.4. Pynimo ir struktūrinių rodiklių įtaka atsparumui pumpuruotis

Vadovaujantis ekologiškesnio vartojimo principais, atsparumas pumpuravimuisi tampa labai svarbus medžiagos rodiklis. Kuo medžiaga bus linkusi mažiau pumpuruotis, tuo ilgiau išlaikys savo estetinę išvaizdą ir ilgaamžiškumą, tuo ilgiau vartotojas bus linkęs gaminio neišmesti. Medžiagos pumpuravimasis – tai neigiama medžiagos savybė, kuri atsiranda laisviems medžiagos plaukeliams susivėlus į kuokštelį (žr. 4 pav.). Šį reiškinį lemia apdailos procesai, medžiagos sudėtis, pynimas, kilpos ilgis bei siūlo struktūra [41, 42]. Nuo šių rodiklių priklauso, kiek laisvų plaukelių bus medžiagos paviršiuje bei kaip greitai jie susivels į pumpurėlius.

Mokslininkų Akterio ir kt. [43] nustatyta, jog retesnės struktūros medžiagų paviršiai yra linkę greičiau susipumpuruoti nei tankiau suaustos ar numegztos struktūros. Taip yra dėlto, kad laisvesnės struktūros medžiagos paviršiuje išsidėsto daugiau laisvų plaukelių. Tačiau tai yra tik vienas iš pagrindinių medžiagos pumpuravimosi rodiklių. Lygiai taip pat svarbi ne tik siūlo, bet ir plaukelių struktūra. Ištirta, jog natūralūs pluoštai yra mažiau atsparūs pumpuravimuisi nei sintetiniai [44, 45]. Mat natūralaus pluošto plaukeliai būna riboto ilgio, turi rangytą ar grublėtą struktūrą. Ypač greitai pumpuruojasi vilnos pluoštas, pasižymintis žvynuotu plaukelio paviršiumi [46]. Taigi, tai lemia siūlo struktūra – iš lygios struktūros gijinių siūlų pagaminta medžiaga bus atspari pumpuravimuisi, nes tikėtina, jog jos paviršiuje nebus laisvų plaukelių, iš kurių susiformuotų pumpurėliai dėvint rūbą. Priešingomis savybėmis pasižymės medžiaga, pagaminta iš verpalų. 5 paveiksle pavaizduotas pumpurėlio formavimosi medžiagos paviršiuje principas [47].



5 pav. Pumpurėlio formavimasis [47]

Kuo trumpesni plaukeliai bus verpale ir kuo retesnė medžiagos struktūra, tuo daugiau laisvų plaukelių atsiras medžiagos paviršiuje. O tai yra neigiamas medžiagos bruožas, todėl siekiant užtikrinti gaminio ilgaamžiškumą ir didelį atsparumą pumpuravimuisi, reikia parinkti tinkamus medžiagos struktūrinius rodiklius, apdailą bei atsižvelgti į parinktos žaliavos plaukelių ir gijų ilgį.

1.3.5. Apdailos įtaka vartojamosioms ir komforto savybėms

Apdailos procesai yra neatsiejama tekstilės pramonės dalis. Apdailos metu medžiagai galima suteikti įvairias savybes. Pavyzdžiui, padaryti medžiagą minkštesnę, nelaidžią vandeniui, orui. Suteikti antibakterines, antistatines, optines ar kitas savybes. Medžiagos skalbimas ir dažymas yra vieni iš dažniausiai tekstilinėms medžiagoms naudojamų apdailos procesų, tačiau dažnu atveju šis gamybos etapas nepagerina medžiagos komforto savybių [48].

Atlikta daug mokslinių tyrimų, kurių metu nustatyta, jog daugkartinis skalbimas dažniausiai pablogina tekstilės medžiagų (ypač skersinių mezginių, numegztų iš natūralių pluoštų siūlų) ar gaminių komforto savybes. Anksčiau atliktuose tyrimuose pastebima, jog medžiagos matmenys linkę keistis po 2–5 skalbimų, kol pasiekia duotoms sąlygoms pusiausvyrą būseną ir galutinai nusistovi [49]. Besikeičiantys matmenys byloja apie pasikeitusios medžiagos komforto savybes. Remiantis jau atliktais tyrimais pastebėta, kad keičiantis matmenims keičiasi medžiagos laidumas orui [50]. Pageidautina, kad medžiagos matmenys išliktų stabilūs, po skalbimo, tik tokiu būdu galima užtikrinti kokybišką ir patvarų gaminį. Taip pat yra ištirta, kad medžiagoje esantys pluošto plaukeliai

daugkartinio skalbimo metu trinasi vienas su kitu, dėl ko medžiagos paviršius pakinta, atsiranda pumpurėliai bei užsikemša medžiagos paviršiuje esančios akutės [51–53]. Dėl šių struktūrinių pakitimų sumažėja medžiagos laidumas orui ir vandens absorbcija, pablogėja gaminio estetinė išvaizda.

Dar viena iš dažniausiai atliekamu apdailų tekstilės gaminiams – minkštinimas. Šios apdailos metu minkštikliais apdirbta medžiaga tampa malonesnė liesti ir dėvėti. Nustatyta, kad minkštintos medžiagos greičiau sugeria bei išgarina vandenį palyginus su neapdorotomis medžiagomis [54]. Minkštinimas atpalaiduoja medžiagos struktūrą, todėl skysčiai lengviau sklinda medžiagos paviršiumi. Deja šiam apdailos procesui naudojami dideli chemikalų kiekiai, kurių būtų galima išvengti.

Taip pat medžiagos komforto ir vartojamosios savybės linkusios keistis po dažymo. Mokslininkų ištirta ir nustatyta, jog nudažius medžiagą įvairiais pigmentiniais dažais, pluoštas pasidengia dažų dalelėmis, padidėja medžiagos storis, deja suprastėja medžiagos laidumas orui ir vandens absorbcija. Dažai sudaro papildoma sluoksnį ant medžiagos paviršiau, dėl ko ženkliai prastėja medžiagos komforto savybės, o tai nėra teigiamas proceso bruožas. Tačiau medžiagos pumpuravimuisi marginimo procesai reikšmingos įtakos neturi [55, 56]. Apibendrinus galima teigti, kad, norit pakeisti medžiagos estetinę išvaizdą (spalvą), turime įvertinti, kad dažymo procesas turės neigiamos įtakos galutinio produkto komforto savybėms. Esant galimybei reikia rinktis kuo mažiau kenksmingą aplinkai ir mažesnę įtaką medžiagai darančius dažymo procesus.

Sublimacija yra gana naujas medžiagų marginimo būdas, todėl nėra ypač plačiai išnagrinėtas. Nors šiuo būdu numarginus medžiagą dažai nėra jaučiami ant medžiagos paviršiaus, negalima teigti, jog medžiagos savybės nepakinta. Yra ištirta, jog sublimuojamų dažų spalvos kokybė priklauso nuo proceso metu naudojamos temperatūros, kalandro sukimosi greičio arba presavimo trukmės bei marginamos medžiagos pluoštinės sudėties. Skernauskytė [57] nustatė, jog kuo didesnė naudojama temperatūra ir presavimo trukmė, tuo spauda gaunama ryškesnė (tamsesnė), tai yra, tuo daugiau dažo persikelia nuo popieriaus ant medžiagos. Taip yra dėlto, kad dispersiniai dažai yra sužadinami tik aukštoje temperatūroje. Kuo aukštesnė temperatūra, tuo daugiau dažo nusėda ant medžiagos. Deja, negalima kaitinti gaminio itin aukštoje temperatūroje, nes medžiaga pradės lydytis arba degraduoti.

Remiantis mokslinėmis publikacijomis, sublimacijos būdu numarginta medžiaga nenublunka po buitinio ar komercinio skalbimo, nenudažo kitų gaminių atliekant sausos, šlapios trinties ir prakaito testus [58]. Tai ypač teigiama savybė, nes tai reiškia, kad tokiu būdu numargintos medžiagos spalvos išliks nepakitusios ir po daugkartinio naudojimo.

Taigi, dauguma apdailos (ypač šlapiosios apdailos) procesų keičia medžiagos vartojamąsias ir komforto savybes. Tačiau nėra iki galo aišku, kaip sublimacinis marginimas veikia skirtingos pluoštinės sudėties, skirtingomis technologijomis pagamintas bei skirtingų struktūrinių rodiklių medžiagas.

1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Tekstilės pramonėje gausu procesų, kurių metu yra nesaikingai naudojami gamtos išteklių, dėl to susidaro dideli atliekų kiekiai. Ne išimtis yra ir Lietuvos tekstilės pramonė. Tačiau yra gausybė

sprendimų, sumažinančių procesų daromą žalą aplinkai. Vienas iš tokių būtų – sublimacinis marginimas.

Sublimacinis marginimas yra draugiškas aplinkai, o gauta spauda yra kokybiška ir ilgaamžė. Sublimacijos proceso esmė – dažai perkeliama nuo popieriaus ant medžiagos, cheminiams junginiams virstant dujomis ir grįžtant į kietą agregatinę būseną, dažui nusėdus ant medžiagos. Šiam procesui naudojamas specialus popierius, CMYK sistemos dispersiniai dažai ir įkaitintas kalandras, kuris slepią medžiagą. Sublimacinis marginimas gali būti naudojamas baltoms grynaipluoštėms ir mišriaipluoštėms poliesterinėms medžiagoms. Procesas patrauklus rinkoje dėl itin našios ir paprastos, bet efektyvios gamybos. Galima marginti nuo ploniausiu audinių ar mezginių iki storų pamušalinių pynimo mezginių proceso nekeičiant technologinių parametrų. Numargintos medžiagos paviršiuje nėra jaučiamas dažas, nes jo molekulės sukimba su poliesterio medžiaga, taigi išgaunamas ypač aukštos kokybės marginys, kuris neblunka ir išlieka ilgaamžis daugkartinio dėvėjimo ir skalbimo metu.

Norint išgauti kokybišką sublimacinį marginį didžiąją dalį medžiagos sudėties turi sudaryti poliesterio pluoštas. Deja, grynaipluoštės poliesterinės medžiagos dažniausiai pasižymi prastomis drėgmės sugeriamumo savybėmis, yra linkusios elektrintis. Tačiau jos pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis. Natūralių bei dirbtinių pluoštų medžiagos, priešingai, pasižymi geromis hidrofilinėmis savybėmis ir prastesnėmis mechaninėmis. Siekiant gauti optimalias medžiagos savybes, natūralūs, dirbtiniai ir sintetiniai pluoštai yra maišomi tarpusavyje.

Žaliava svarbus, tačiau tik vienas iš pagrindinių rodiklių, nusakančių, kokiomis savybėmis pasižymės medžiaga. Negalima koncentruotis tik į vieną rodiklį. Medžiagos komforto ir vartojamąsias savybes lemia rodiklių visuma. Norint įvertinti medžiagos savybes, atliekami sandaros rodiklių pokyčių įvertinimo, laidumo orui, dinaminės vandens absorbcijos, atsparumo pumpuravimuisi ir kiti tyrimai. Išnagrinėjus mokslinius šaltinius paaiškėjo į kokius medžiagos rodiklius labiausiai verta atkreipti dėmesį. Pastebėta, kad laidumas orui priklauso nuo medžiagos akytumo, kuo daugiau akučių ir kuo jos didesnės, tuo lengviau cirkuliuos oras. Tuo tarpu medžiagos vandens dinamikos absorbcija priklauso nuo kristalinių ir amorfinių pluošto sričių bei struktūrinių rodiklių. Medžiagos atsparumas pumpuravimuisi priklauso nuo laisvų plaukelių skaičiaus medžiagos paviršiuje. Kuo daugiau jų bus tuo greičiau medžiagos paviršius susipumpuruos ir praras estetinę išvaizdą. Medžiagos akytumui, plaukelių skaičiui ir kitoms savybės įtakos turi medžiagos pynimas, struktūros rodikliai – storis, horizontalusis ir vertikalusis tankumai (mezginiams), metmenų ir ataudų tankumai (audiniams), kilpos ilgis (mezginiams), siūlų perdangų ilgis (audiniams), paviršinis tankis, siūlų sandara, ilginis tankis bei apdaila.

Šiuolaikinėje gamyboje medžiagos savybes galima keisti apdirbant ją skirtinga apdaila, kurios metu galima padaryti ją laidžią garams, bet nelaidžią vandens lašams, suteikti antibakterines, antistatines, nedegumo ar kitas savybes. Tačiau daugumos būtinųjų (skalbimo, minkštinimo, dažymo, marginimo ir kitų) apdailos procesų metu nukenčia medžiagos vartojamosios ar komforto savybės. Siekiant, kad medžiagą būtų spalvinga ar patogi dėvėti, dažnai pablogėja medžiagos laidumas orui, metmenų stabilumas, vandens absorbcija ir atsparumas pumpuravimuisi.

Sublimacinis marginimas, palyginus su kitais būdais, yra nauja marginimo technologija, todėl nėra pakankamai mokliškai pagrįstų duomenų, kaip kinta medžiagos savybės, priklausomai nuo dažų kiekio, medžiagos žaliavos ar struktūrinių rodiklių.

2. Metodinė dalis

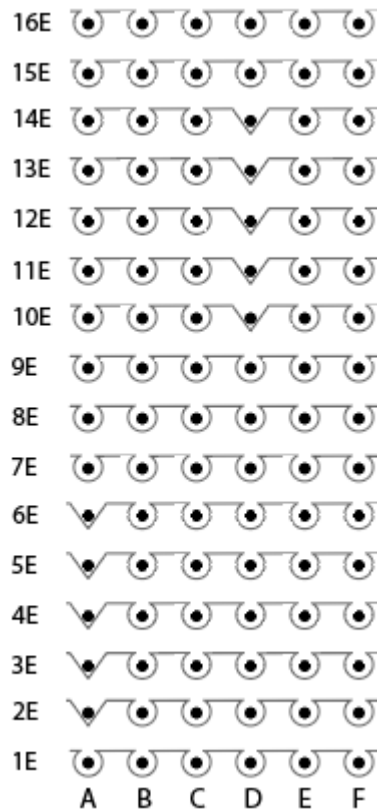
2.1. Tyrimo objektas

Tyrimams buvo pasirinkta 15 skirtingų struktūrų austų ir megztų medžiagų, kurios skiriasi pluoštine sudėtimi, paviršiniu tankiu ir pynimu. Bandiniai paruošti bendradarbiaujant su įmone UAB „Textilis“. Didesniąją dalį šios įmonės asortimento sudaro megztinės medžiagos, todėl jų buvo pasirinkta 10, o austų medžiagų – 5. Šių medžiagų pagrindiniai struktūros parametrai pateikti 1 lentelėje. Tirtų medžiagų pynimai pavaizduoti 6–13 paveiksluose.

1 lentelė. Tirtų medžiagų struktūros parametrai

Mezginiai						
Bandinio kodas	Pluoštinė sudėtis	Paviršinis tankis, g/m ²	Horizontalusis tankumas, cm ⁻¹	Vertikalusis tankumas, cm ⁻¹	Pynimas	Siūlų ilginis tankis, tex
1M	30 % VI, 65 % PES, 5 % EL	160	12	17	presinis	11 PES/ 23 VI/ 2,2 EL
2M	30 % VI, 65 % PES, 5 % EL	180	13	19	presinis	12 PES/ 21 VI/ 2,2 EL
3M	80 % PES, 12 % TENCEL	145	17,5	23	lygusis skersinis	14 PES/Tencel
4M	20 % LI, 80 % PES	180	15,5	21	lygusis skersinis	22 PES/LI
5M	100 % PES	160	7,5	11	lygusis skersinis	22x2 PES
6M	100 % PES	190	8	13	lygusis skersinis	25x2 PES
7M	20 % CO, 75 % PES, 5 % EL	390	7	12	pamušalinis	30 PES/ 144 CO
8M	20 % CO, 80 % PES	255	5	9	pamušalinis	56x2 PES/ 78 CO
9M	95 % PES, 5 % EL	310	12	19	Milano lastikas	24 PES/ 2,2 EL
10M	21 % VI, 73 % PES, 5 % EL	300	15,5	22	lygusis sluoksniuotinis	12 PES/22 VI/ 2,2 EL
Audiniai						
Bandinio kodas	Pluoštinė sudėtis	Paviršinis tankis, g/m ²	Ataudų tankumas, cm ⁻¹	Metmenų tankumas, cm ⁻¹	Pynimas	Siūlų ilginis tankis, tex
11A	100 % PES	100	66	34	drobinis	13 PES
12A	100 % PES	100	70	47	drobinis	6 PES
13A	97 % PES, 3% EL	100	45	38	satinas 3/1	10 PES / 2,2 EL
14A	100 % PES	190	52	30	drobinis	20 PES
15A	100 % PES	120	62	32	drobinis	8 PES

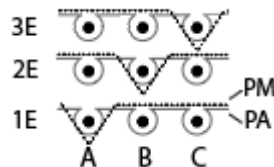
Pastaba: VI – viskoziniai verpalai, PES – poliesteriniai (polietilentereftalato) siūlai, EL – elastano siūlai, TENCEL – lajocelio pluošto siūlai, CO – medvilniniai verpalai, LI – lininiai verpalai.



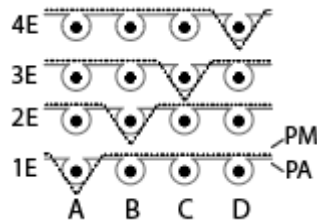
6 pav. Presinio pynimo siūlo klojimo schema (1M, 2M bandiniai)



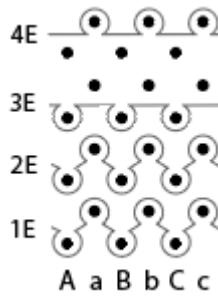
7 pav. Lygiojo skersinio pynimo siūlo klojimo schema (3M, 4M, 5M, 6M, bandiniai)



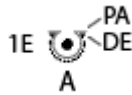
8 pav. Pamušalinio pynimo siūlo klojimo schema, PA – pagrindo siūlas, PM – pamušalinis siūlas (7M bandinys)



9 pav. Pamušalinio pynimo siūlo klojimo schema, PA – pagrindo siūlas, PM – pamušalinis siūlas (8M bandinys)



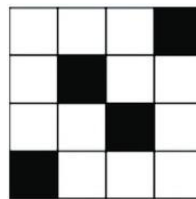
10 pav. Milano lastiko siūlo klojimo schema (9M bandinys)



11 pav. Lygiojo sluoksniuotinio pynimo siūlo klojimo schema, PA – pagrindo siūlas, DE – dengiantysis siūlas (10M bandinys)



12 pav. Drobinio pynimo schema (11A, 12A, 14A, 15A bandiniai)



13 pav. Satino 3/1 pynimo schema (13A bandinys)

Kadangi nagrinėtoje literatūroje išsiaiškinta, kad siūlo sandara turi įtakos medžiagos pumpuravimosi savybėms, nuspręsta pasigilinti į medžiagų siūlų sandara. Duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Medžiagų siūlų parametrai

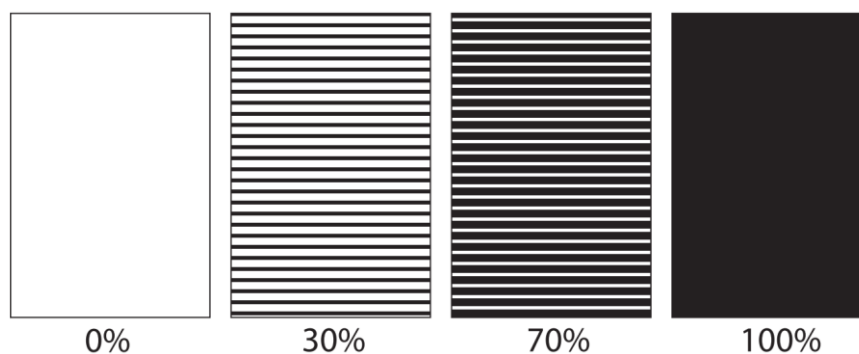
Bandinio kodas	Medžiagos siūlų parametrai
Mezginiai	
1M	Mezginyje persipina gijiniai, elastomeriniai siūlai ir verpalai
2M	Mezginyje persipina gijiniai, elastomeriniai siūlai ir verpalai
3M	Verpalas
4M	Verpalas su įsuktais lino plaukeliais (kuokšteliais)
5M	Gretinti siūlai, iš kurių vienas gijinis siūlas, kitas verpalas
6M	Gretinti siūlai, iš kurių vienas gijinis siūlas, kitas verpalas
7M	Pagrindo elementas susidaro iš gretintų siūlų, iš kurių vienas gijinis siūlas, kitas verpalas bei elastomerinio siūlo, pamušalinis elementas – du gretinti verpalai
8M	Pagrindo elementas du gretinti gijiniai siūlai, pamušalinis elementas – du gretinti verpalai
9M	Verpalas su įpintu elastomeriniu siūlu
10M	Mezginyje persipina gijiniai, elastomeriniai siūlai ir verpalai

2 lentelės tęsinys.

Bandinio kodas	Medžiagos siūlų parametrai
Audiniai	
11A	Gijiniai siūlai
12A	Gijiniai siūlai
13A	Gijiniai ir elastomeriniai siūlai
14A	Gijiniai siūlai
15A	Gijiniai siūlai

2.2. Sublimacinio marginimo režimas

Prieš sublimacinį marginimą pirmiausia „Adobe Illustrator“ programa buvo paruošti trys marginimo dizainai. Dizainas paruoštas taip, kad dažai padengtų skirtingą medžiagos paviršiaus plotą (30 %, 70 % ir 100 %). Rezultatų palyginimui tyrimams naudotos nesublumuotos medžiagos (0 %) ir medžiagos po sublimacijos su skirtingu paviršiaus ploto padengimu dažais (30 %, 70 % ir 100 %). 14 paveiksle pavaizduota kaip atrodo dizainai su skirtingu užsipildymu. Spausdinimo įrenginyje nėra baltos spalvos dažų, todėl baltos dizaino vietos nėra padengtos dažais.



14 pav. Naudoti marginimo dizainai su skirtingu paviršiaus užpildymu

Parengti dizainai atspausdinti japonų firmos Mimaki JV150-160 plačiaformate spausdinimo mašina ant popieriaus, kurio paviršinis tankis 130 g/m^2 [59]. Spausdinimo greitis – $11 \text{ m}^2/\text{h}$, aplinkos temperatūra spausdinimo metu – $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$, drėgmė – 27 %. Spausdinimui naudoti CMYK spalvų sistemos japonų firmos Mimaki Sb54 dispersiniai dažai. Jų cheminė sudėtis pateikta 3 lentelėje.

3 lentelė. Sublimacinių dažų cheminė sudėtis [60]

Eil. nr.	Sudėtis	Kiekis, %	CAS Nr.
1	Propileno glikolis	20-30	57-55-6
2	Glicerinas	5-15	56-81-5
3	Dažas	1-10	-
4	Vanduo	50-60	7732-18-5
5	Kiti priedai	<10	-

Paveikslui perkelti nuo popieriaus ant medžiagos buvo naudojamas kinų firmos Elephant DBX-26A/26B įrenginys su kaitinamuoju kalandru. Kalandro temperatūra – 205 °C, aplinkos temperatūra spausdinimo metu – 16,5 °C, drėgnis – 35 %.

2.3. Tyrimų metodika

Tyrimai atlikti kondicinėse aplinkos sąlygose (20 ±2 °C temperatūros, 65±5 % aplinkos drėgmės) pagal LST EN ISO 139:2006 standartą. Prieš atliekant tyrimus, bandiniai šiose aplinkos sąlygose išlaikyti 24 val. [61].

2.3.1. Medžiagų sandaros rodiklių nustatymo metodika

Megztinės medžiagos horizontalusis P_h (cm⁻¹) ir vertikalusis P_v (cm⁻¹) tankumo koeficientai nustatyti vienetiniame mezginiame ilgyje ir plotyje pagal LST EN 14971:2006 standartą [62]. Naudojant tekstilinio lupą, penkiose skirtingose bandinio vietose buvo apskaičiuojamas kilpų skaičius viename centimetre stulpelių ir eilučių kryptimis.

Tirtų medžiagų paviršinis tankis nustatytas pagal standartą LST EN 12127:1999 [63]. Iš įvairių kiekvienos tirtos medžiagos vietų kirpimo įtaisu iškirpti penki 100 cm² ± 1% dydžio elementarūs bandiniai. Jie pasverti elektroninėmis svarstyklėmis EW 150–3M ±1mg tikslumu. Kiekvieno elementariojo bandinio paviršinis tankis apskaičiuotas kaip bandinio masės ir bandinio ploto santykis, išreikštas g/m². Iš penkių elementariųjų bandymo rezultatų apskaičiuotas aritmetinis vidurkis, rezultatus apvalinant 1 gramu tikslumu.

Bandinių storis nustatytas pagal LST EN ISO 5084:1996 standartą [64] SCHMIDT Control Instruments (Vokietija) storio matuokliu, bandinį dedant tarp dviejų plokštelių. Storis išmatuotas penkiose skirtingose bandinio vietose, iš penkių elementariųjų bandymo rezultatų apskaičiuotas aritmetinis vidurkis, rezultatus apvalinant 100 μm tikslumu.

2.3.2. Medžiagų laidumo orui tyrimo metodika

Tirtų medžiagų laidumo orui tyrimai buvo atlikti remiantis LST EN ISO 9237:1997 standartu, aprašančiu plokščių tekstilės medžiagų laidumo orui matavimo būdą [65]. Bandymo metu matuojamas oro srauto, prasiskverbiantio per 5 cm² medžiagos plotą esant 200 Pa slėgių skirtumui. Tyrimai atlikti laboratoriniu laidumo orui matavimo prietaisu L14DR Karl Schroder KG D-69450 Weinheim (Vokietija). Laidumas orui R , dm³/(m²s) apskaičiuotas pagal 1 formulę:

$$R = \frac{D}{A} \cdot 167 \quad (1)$$

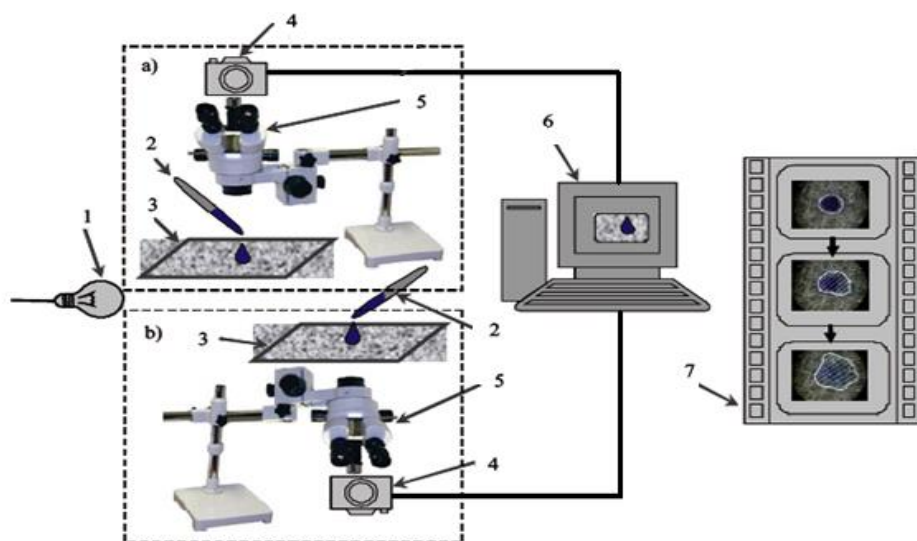
Čia D – oro srauto debitas, dm³/min; A – plotas, per kurį skverbėsi oro srautas, cm².

Vienas bandinys buvo testuojamas penkis kartus, vengiant medžiagos kraštų. Bandinys buvo dedamas dešinine (išorine) puse į viršų.

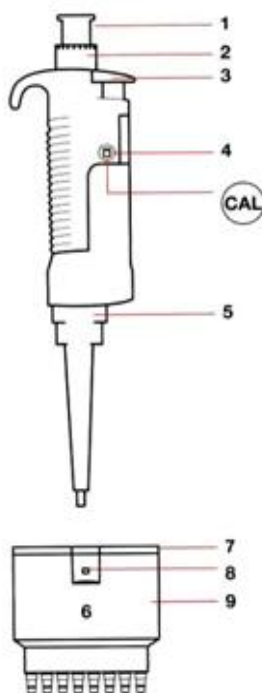
2.3.3. Medžiagų dinaminės absorbcijos tyrimo metodika

Dinaminės absorbcijos tyrimas atliktas distiliuoto vandens lašą užlašinus ant bandinio paviršiaus ir filmuojant skysčio elgseną laikui bėgant. Vandens lašas užlašinamas iš 1 cm aukščio ant kondicionuoto, tolygiai patiesto ir išlyginto bandinio paviršiaus. Matuojamas besigeriančio skysčio dėmės plotas bandinio paviršiuje laikui bėgant. Šiame darbe bandymai atlikti pagal sumodeliuotą

schema, pateiktą 15 paveiksle [66]. Siekiant stebėti besigeriančio skysčio dėmės pokyčius mezginyje, vanduo buvo nuspalvintas. Užlašinamo skysčio kiekis – 1 μ l. Naudojama pipetė (pagal ISO 8655-2 standartą [67]), kurios principinė schema pateikta 16 paveiksle.



15 pav. Vandens absorbcijos tyrimo schema: 1 – šviesos šaltinis, 2 – pipetė, 3 – bandinys, 4 – skaitmeninė kamera, 5 – stereo-mikroskopas, 6 – kompiuteris, 7 – filmuoto vaizdo kadrai [66]



16 pav. Pipetės schema: 1 – valdymo mygtukas, 2 – nustatymo žiedas, 3 – atleidimo mygtukas, 4 – reguliavimo anga, 5 – skysčio išstūmimo antgalis, 6 – daugiakanalė dalis su: 7 – dangteliu, 8 – anga detalės išardymui, 9 – korpusu [67]

Skysčio lašo ir dėmės pokytis filmuotas skaitmenine fotokamera Coolpix 4500, naudojant optinį mikroskopą. Nufilmuotas vaizdo įrašas buvo kadruojamas pasirinktais laiko intervalais. Metric 7.0

programa išmatuotas dėmės plotas. Išanalizavus vaizdo įrašą, nustatyta, kaip užlašintas skystis geriasi į bandinį.

2.3.4. Megztinių medžiagų atsparumo pumpuravimuisi tyrimo metodika

Medžiagų polinkis pumpuruotis nustatytas pagal ISO 12945-2:2000 standartą [68]. Tyrimo metu naudotas Martindale'o prietaisas. Apskritas tiriamasis bandinys nustatyta jėga veikiamas tokios pačios medžiagos kaip ir bandinys ir juda pagal Lissajous figūrą. Po 2000 sūkių bandinys įvertinamas balais nuo 1 iki 5. „1“ reiškia, kad pumpuravimasis pasireiškė labai stipriai, įvairaus dydžio pumpurėliai tankiai dengia visą bandinio paviršių, o „5“ reiškia, kad bandinio paviršius nepakito. Paviršiaus pokytis vertinamas apžiūros dėžėje mažiausiai trijų ekspertų, esant specialiam apšvietimui. Vertinimo kriterijai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Pumpuravimosi vertinimo balai

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

2.3.5. Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika

Statistinių rodiklių apskaičiavimui buvo naudotos šios formulės [69]:

Apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis \bar{x} :

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

Čia n – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

Apskaičiuojama vidutinė kvadratinė nuokrypa, S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

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

Apskaičiuojama dispersija, S^2 :

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

Apskaičiuojamas variacijos koeficientas, V :

$$V = \frac{S}{\bar{x}} 100\% \quad (5)$$

Tekstilėje priimta, esant variacijos koeficiento vertei mažesnei nei 5 %, rezultatų sklaidą laikyti labai maža, esant nuo 5 iki 10 % – gana maža, nuo 10 iki 15 % – vidutinė, jei viršija 15 % – didelė.

Apskaičiuojama absoliutinė atsitiktinė paklaida Δ_a :

$$\Delta_a = \frac{t_\alpha S}{\sqrt{n}} 100\% \quad (6)$$

Čia t_α – Stjudento kriterijus.

3. Tyrimų rezultatai

Šiame skyriuje pateikti tyrimų rezultatai ir jų analizė. Tyrimai atlikti pagal anksčiau nurodytas metodikas. Analizuojama, kokią įtaką sublimacinio marginimo procesas ir pasirinktas marginimo dizainas (medžiagos paviršiaus padengimo dažais plotas) turėjo medžiagų sandaros rodiklių, laidumo orui, dinaminės absorbcijos pokyčiams ir pumpuravimuisi.

3.1. Sublimacinio marginimo įtakos sandaros rodiklių pokyčiams tyrimas

Tikėtina, kad atlikus sublimacinę apdailą, medžiaga patirs matmenų ir struktūrinius pokyčius. Tai gali sukelti sublimacinio marginimo proceso metu naudojami karšti kalandrai, kurie medžiagą slekia ir veikia aukšta temperatūra apdailos metu.

Siekiant tai nustatyti, apskaičiuoti horizontalieji ir vertikalieji tankumai (P_h , P_v) prieš sublimaciją ir po jos. Apskaičiuotas gautų rezultatų variacijos koeficientas V . Rezultatai pateikti 5 lentelėje ir 17, 18 paveiksluose.

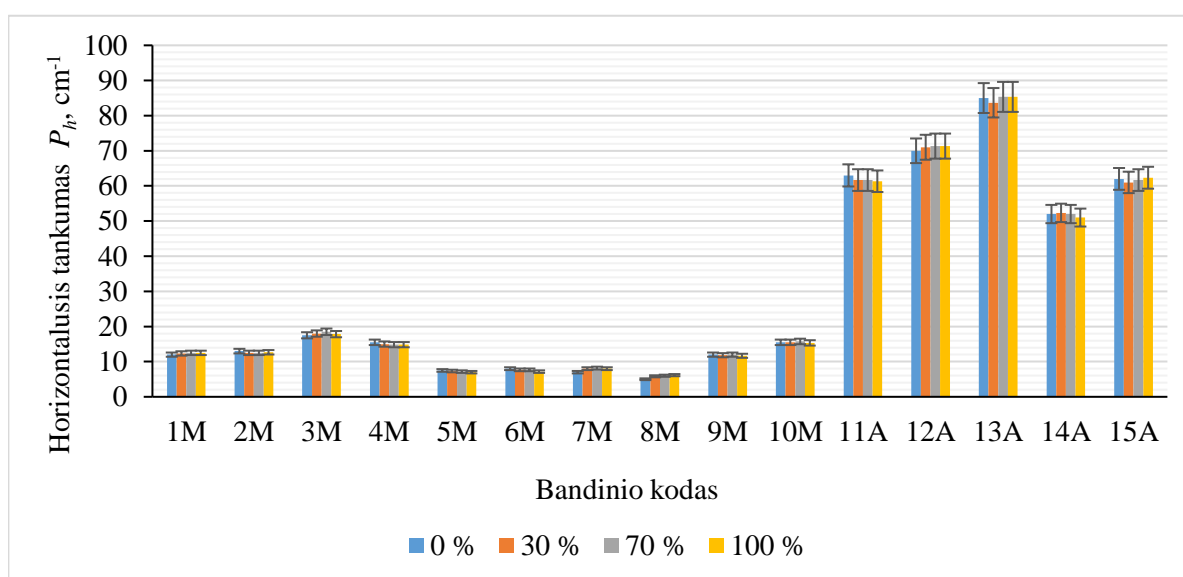
5 lentelė. Horizontaliojo P_h ir vertikaliojo P_v tankumų pokyčiai po sublimacijos

Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Sublimuoto paviršiaus plotas							
		0 %		30 %		70 %		100 %	
		P_h , cm ⁻¹	P_v , cm ⁻¹	P_h , cm ⁻¹	P_v , cm ⁻¹	P_h , cm ⁻¹	P_v , cm ⁻¹	P_h , cm ⁻¹	P_v , cm ⁻¹
Mezginiai									
1M	Vidurkis	12	17	12,3	16,3	12,5	16,0	12,5	15,7
	V , %	0	0	2,3	3,5	0	0	0	1,8
2M	Vidurkis	13	19	12,5	17	12,5	17,2	12,7	18,7
	V , %	0	1,9	4	0	0	1,7	2,8	3,1
3M	Vidurkis	17,5	23	18	23,3	18,5	23,5	17,8	23,8
	V , %	2,9	2,2	0	2,5	0	2,1	1,6	1,2
4M	Vidurkis	15,5	21	15	20,7	14,8	20,7	14,8	20,3
	V , %	3,2	0	0	2,8	1,9	2,794	1,9	2,8
5M	Vidurkis	7,5	11	7,3	9,5	7,2	10	7	10,8
	V , %	0	0	3,9	5,3	4	5	7,1	2,7
6M	Vidurkis	8	13	7,7	10,3	7,7	10,2	7,2	10,8
	V , %	4,3	3,8	3,8	2,8	3,8	2,8	10,7	2,7
7M	Vidurkis	7	12	8,0	10,7	8,2	10,8	8,0	11,7
	V , %	0	0	0	2,7	3,5	2,7	0	4,9
8M	Vidurkis	5	9	5,8	7	6	7,7	6,2	7,5
	V , %	0	0	4,9	0	0	7,5	4,7	0
9M	Vidurkis	12	19	11,8	18,5	12	18,7	11,7	20,3
	V , %	0	2,6	2,4	2,7	0	3,1	2,5	2,8
10M	Vidurkis	15,5	22	15,5	24,3	15,8	24	15,3	24,7
	V , %	0	0	0	2,4	2,2	0	1,9	2,3

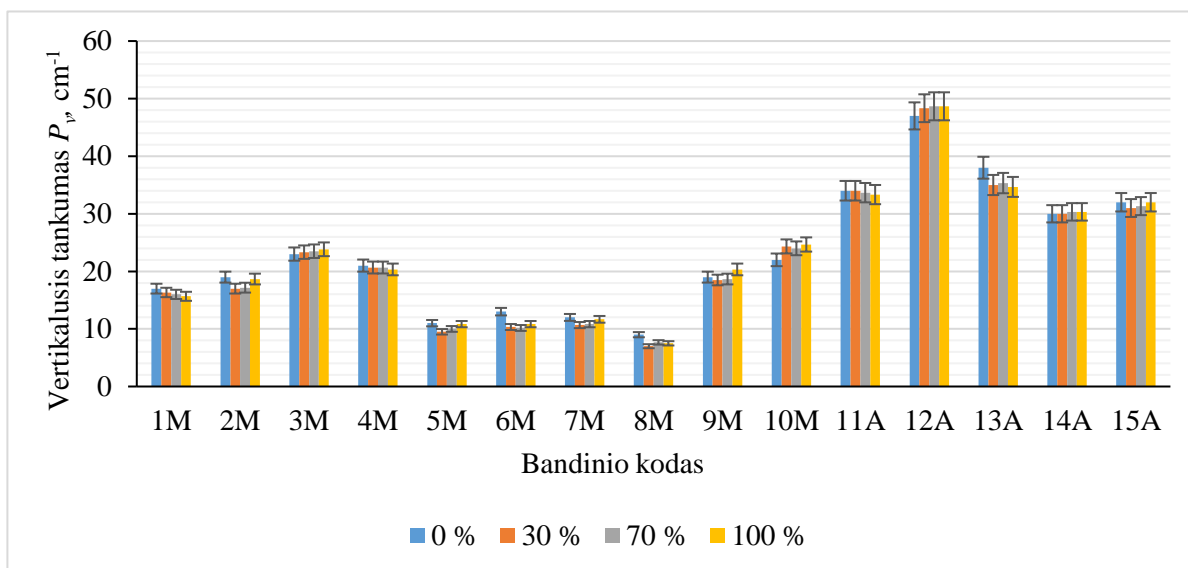
5 lentelės tęsinys.

Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Sublimuoto paviršiaus plotas							
		0 %		30 %		70 %		100 %	
		P_h, cm^{-1}	P_v, cm^{-1}	P_h, cm^{-1}	P_v, cm^{-1}	P_h, cm^{-1}	P_v, cm^{-1}	P_h, cm^{-1}	P_v, cm^{-1}
Audiniai									
11A	Vidurkis	63	34	61,7	34,0	61,7	33,7	61,3	33,3
	V, %	1,6	2,9	0,9	0	0,9	1,7	0,9	1,7
12A	Vidurkis	70	47	71,0	48,3	71,3	48,7	71,3	48,7
	V, %	1,4	1,1	0	1,2	0,8	1,2	0,8	1,2
13A	Vidurkis	85	38	83,7	35,0	85,3	35,3	85,3	34,7
	V, %	2,4	2,6	1,8	0	0,7	1,6	0,7	1,7
14A	Vidurkis	52	30	52,3	30,0	52,0	30,3	51,0	30,3
	V, %	0	0	1,1	0	1,9	1,9	2	1,9
15A	Vidurkis	62	32	61,0	31,0	61,7	31,3	62,3	32,0
	V, %	0,8	0	0	0	0,9	1,8	0,9	0

Horizontaliojo tankumo matavimo rezultatų variacijos koeficientas kito nuo 0 iki 10,7 %, o vertikaliojo tankumo – nuo 0 iki 7,5 %.



17 pav. Horizontaliojo tankumo P_h pokytis po sublimacijos



18 pav. Vertikaliojo tankumo P_v pokytis po sublimacijos

Remiantis tyrimų rezultatais matome, kad medžiagų horizontalusis ir vertikalusis tankumai neženkliai svyravo – padidėjo arba sumažėjo – po sublimacinio marginimo. Sublimacijos procesas bandinių horizontaliajam tankumui reikšmingo pokyčio beveik neturėjo, kaip matome horizontalusis tankumas po sublimacinio marginimo kito nuo 0,1 % iki 6,3 % (žr. 16 pav.), išskyrus du bandinius – 7M ir 8M, numegztus pamušaliniu pynimu. 7M bandinio horizontalusis tankumas padidėjo vidutiniškai 15,1 %, o 8M bandinio – 20 %, lyginant su neapdorotais bandiniais. Šie du bandiniai yra pamušalinio pynimo mezginiai, kurių sudėtyje yra ir medvilninių verpalų (medvilninis verpalas klojamas kaip pamušalinis siūlas). 8M bandinys taip pat išsiskyrė ir vertikaliojo tankumo rezultatais – jo tankumas po sublimacinio marginimo sumažėjo iki 17,9 %. Ženkliai sumažėjo ir bandinio 6M vertikalusis tankumas – iki 19,7 %; šis bandinys yra grynpluoštis poliesterinis lygiojo skersinio pynimo mežginys. Likusių bandinių vertikalus tankumas kito nuo 1 % iki 10 % (žr. 17 pav.). Vertikalusis tankumas dažnai kinta labiau nei horizontalusis, tai yra nulemta įvairių technologinių procesų (audimo ir mežgimo, plovimo, džiovinimo ir kt.) metu patiriamos išilginės deformacijos.

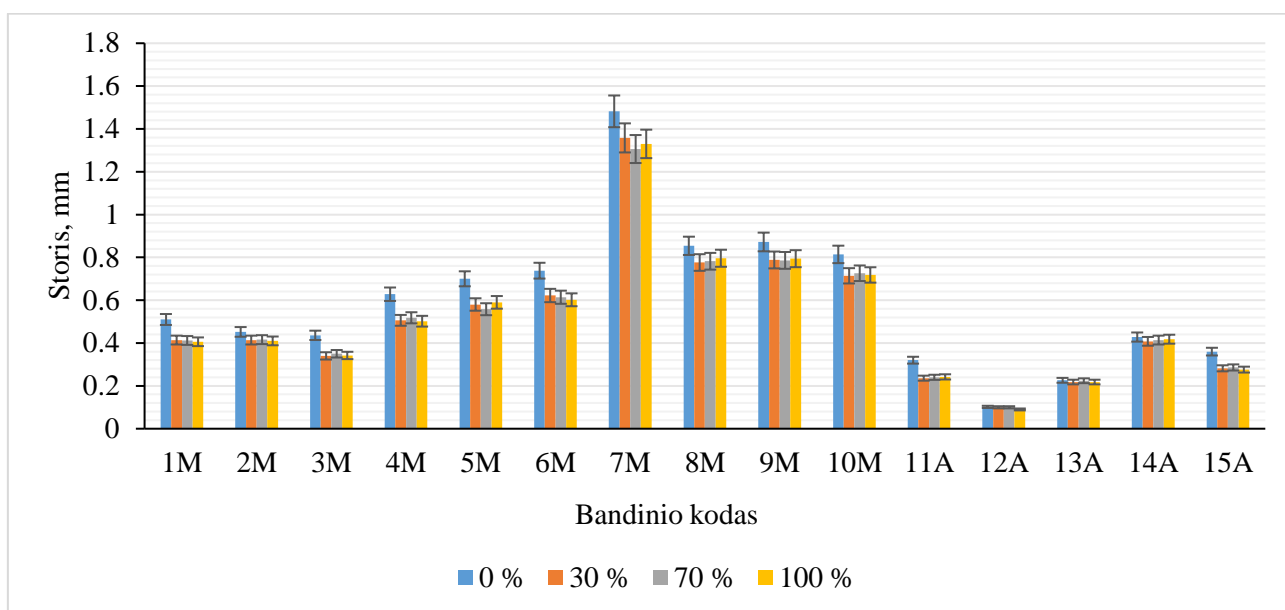
Taip pat nustatyta, jog tankumo pokyčiui naudojamas sublimacinio marginimo dizainas ir sublimuojamų dažų kiekis įtakos neturėjo. Pokyčiams įtaką daryti galėjo sublimacinio marginimo proceso režimas, nes medžiaga, tiekama į kalandrą, yra įtempta išilgine kryptimi, dėl ko yra ištemptos kilpos arba metmenų siūlai.

Po sublimacinio marginimo, taikant skirtingo užpildymo dizainus (žr. 2.2. sk.), išmatuoti tirtų medžiagų storiai. Matavimų rezultatai pateikti 6 lentelėje ir 19 paveiksle.

6 lentelė. Tirtų medžiagų storiai prieš ir po sublimacinio marginimo, mm

Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Sublimuoto paviršiaus plotas			
		0 %	30 %	70 %	100 %
		Storis, mm	Storis, mm	Storis, mm	Storis, mm
Mezginiai					
1M	Vidurkis	0,51	0,41	0,41	0,41
	V, %	1,96	2,75	3,16	1,35
2M	Vidurkis	0,45	0,41	0,42	0,41
	V, %	3,28	1,32	2,74	1,72
3M	Vidurkis	0,44	0,34	0,35	0,34
	V, %	2,05	0,01	2,02	2,45
4M	Vidurkis	0,63	0,51	0,52	0,5
	V, %	3,06	6,34	5,36	2,18
5M	Vidurkis	0,7	0,58	0,56	0,59
	V, %	4,74	2,11	2,94	3,97
6M	Vidurkis	0,74	0,62	0,61	0,6
	V, %	1,77	1,35	2,47	4,76
7M	Vidurkis	1,48	1,36	1,31	1,33
	V, %	1,75	2,77	2,63	1,68
8M	Vidurkis	0,85	0,78	0,78	0,8
	V, %	2,70	2,67	2,46	1,43
9M	Vidurkis	0,87	0,79	0,79	0,79
	V, %	1,26	1,65	1,45	1,44
10M	Vidurkis	0,81	0,71	0,73	0,72
	V, %	1,10	1,60	3,32	2,07
Audiniai					
11A	Vidurkis	0,32	0,24	0,24	0,24
	V, %	2,21	2,32	2,95	3,46
12A	Vidurkis	0,1	0,1	0,1	0,09
	V, %	8,20	8,60	8,54	9,09
13A	Vidurkis	0,23	0,22	0,22	0,22
	V, %	2,42	2,05	2,46	2,05
14A	Vidurkis	0,43	0,41	0,41	0,42
	V, %	1,95	4,03	2,16	1,07
15A	Vidurkis	0,36	0,28	0,29	0,28
	V, %	2,78	2,97	1,92	1,98

Apskaičiuotas bandinių storio variacijos koeficientas svyruoja nuo 0 iki 9,09 %. Duomenų sklaida laikoma gan maža.



19 pav. Storio pokyčiai po sublimacinio marginimo, mm

Remiantis gautais rezultatais nustatyta, jog visų bandinių storis po sublimacijos sumažėja. Mažiausias storio pokytis nustatytas austiems bandiniams 12A, 13A, 14A, jų storis sumažėjo iki 4,5 %. Megztų 2M, 7M, 8M, 9M, 10M bandinių storis po sublimacijos sumažėjo iki 15 %. Didžiausias storio pokytis nustatytas bandiniams 1M, 3M, 4M, 5M, 6M, 11A ir 15A – nuo 21 % iki 29 %. Pastebėta, jog storis reikšmingai pasikeitė visiems lygiojo skersinio pynimo mezginiams, nepriklausomai nuo jų sudėties. Nustatyta, jog storesnių bei didesnio paviršinio tankio megztnių medžiagų storis kito mažiausiai.

Tačiau svarbu tai, jog medžiagos storio pokyčiui sublimuojamų dažų kiekis įtakos neturėjo, nes, nepriklausomai, koks paviršiaus plotas buvo padengta dažais, storis po atliktos apdailos sumažėjo vienodai. Vadinas, storio pokyčiui įtakos turėjo karšto kalandro slėgis. Praeidama pro įkaitintą kalandrą, sublimuojama medžiaga yra suspaudžiama, dėl to išsilankščiusių audinyje ar mezginyje siūlų struktūra yra suplojama, sumažinant siūlų išsilankstymo laipsnį, struktūrą suglaudinant.

Medžiagos storio sumažėjimas nėra teigiamas bruožas, nes tai reiškia, kad medžiagos struktūra susispaudė ir siūlai joje suglaudėjo. Šis pokytis gali lemti medžiagos akytumo sumažėjimą arba visišką akučių užsidarymą, o tai, kaip nustatyta atlikus literatūros analizę, gali turėti įtakos laidumo orui sumažėjimui.

3.2. Sublimacinio marginimo įtakos laidumui orui tyrimas

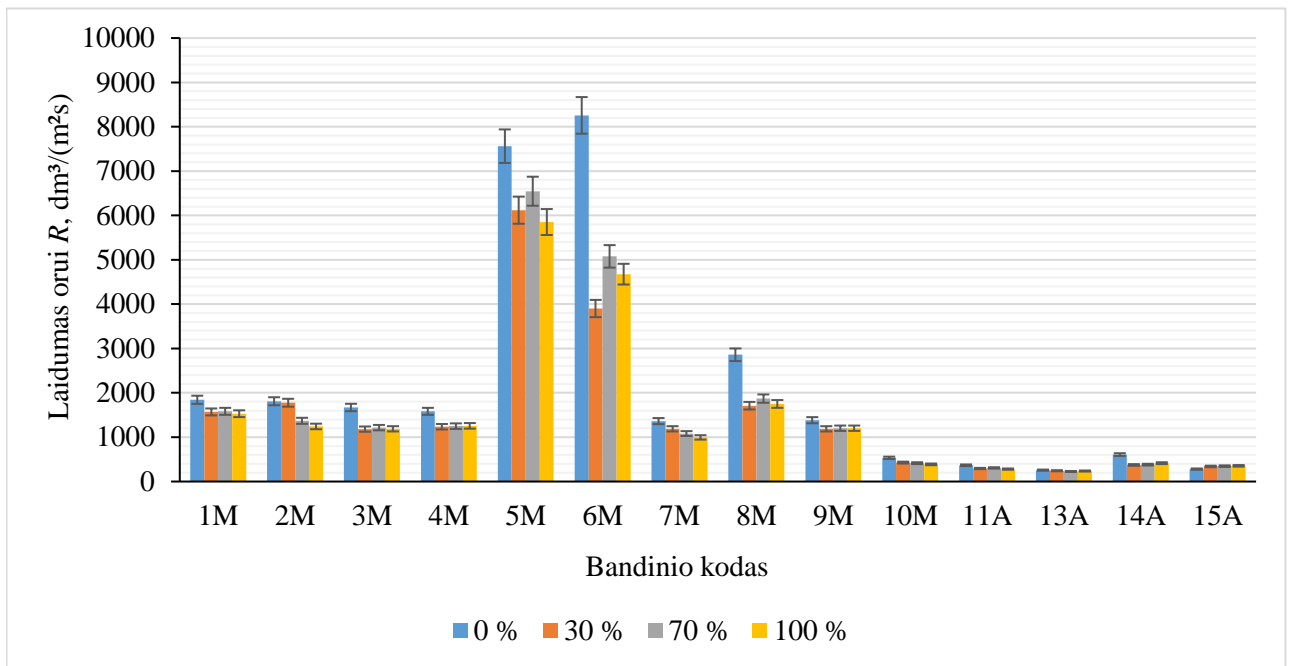
Nustačius, kad sublimacijos proceso metu pakinta medžiagos vertikalūs bei horizontalūs tankumai, medžiagos storis ir, galimai, akytumas, buvo atliktas sublimacinio marginimo įtakos medžiagų laidumui orui tyrimas. Jo rezultatai pateikti 7 lentelėje ir 20 paveiksle.

Atlikus tyrimą pastebėta, kad 12A audinys yra visiškai nelaidus orui. Taip yra todėl, kad šis audinys buvo apdorotas specialia apdaila, sukuriančia orui nelaidžią ir vandenį atstumiančią plėvelę. 12A bandinys toliau nėra nagrinėjamas laidumui orui tyrimo rezultatų analizėje.

7 lentelė. Tirtų medžiagų oro srauto debitas D , dm^3/min

Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Sublimuoto paviršiaus plotas			
		0 %	30 %	70 %	100 %
		Debitas, dm^3/min	Debitas, dm^3/min	Debitas, dm^3/min	Debitas, dm^3/min
Mezginiai					
1M	Vidurkis	55,2	47	47,4	45,8
	V, %	1,98	2,13	2,41	1,83
2M	Vidurkis	54,2	53,2	41	37,2
	V, %	4,59	1,57	6,68	3,51
3M	Vidurkis	50	35,4	36,4	35,6
	V, %	2	3,22	4,17	3,20
4M	Vidurkis	47,4	37	37,4	37,6
	V, %	5,08	3,82	6,16	7,66
5M	Vidurkis	56,6	45,8	49	43,8
	V, %	5,67	6,62	3,23	7,81
6M	Vidurkis	61,8	29,2	38	35
	V, %	4,19	6,59	3,22	4,52
7M	Vidurkis	40,8	35,6	32,4	29,8
	V, %	5,02	4,26	6,76	4,38
8M	Vidurkis	42,8	25,6	28	26,2
	V, %	4,49	4,45	3,57	3,19
9M	Vidurkis	41,4	35,6	36	36
	V, %	2,75	1,54	3,4	2,78
10M	Vidurkis	16	12,8	12,4	11,6
	V, %	4,42	3,49		4,72
Audiniai					
11A	Vidurkis	11	8,8	9,2	8,4
	V, %	9,09	5,08	4,86	6,52
12A	–	–	–	–	–
13A	Vidurkis	15,4	14,6	13,6	14,2
	V, %	3,56	3,75	4,03	3,15
14A	Vidurkis	18,2	11,2	11,4	12,4
	V, %	2,46	7,47	10	9,2
15A	Vidurkis	8,4	10,2	10,4	10,6
	V, %	6,52	4,38	5,27	8,44

Gautiems rezultatams apskaičiuotas variacijos koeficientas kinta nuo 1,54 iki 9,2 %.



20 pav. Medžiagų laidumas orui R , $\text{dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$

Išanalizavus gautus rezultatus nustatyta, kad medžiagos laidumas orui, kaip ir buvo tikėtasi, po atliktos sublimacijos pakinta, tai yra absoliučios daugumos atveju sumažėja. Megztinių medžiagų laidumas orui pakito nuo 13 % iki 45 %, priklausomai nuo mezginio struktūros, o audinių šiek tiek mažiau – nuo 8 % iki 35 %. Palyginus audinių ir mezginių laidumus orui tarpusavyje, iš pateiktų rezultatų matome, kad audiniai pasižymi ženkliai mažesniu laidumu orui nei mezginiai. Anksčiau nagrinėtoje literatūroje buvo aptarta, kad medžiagos, pagamintos iš gijinių siūlų, pasižymi geresnėmis laidumo orui savybėmis [33], tačiau matome, kad šiuo atveju yra priešingai – galutines savybes lemė glaudesnis siūlų išsidėstymas audiniuose, lyginant su mezginiais. Kilpinė mezginių struktūra užtikrina didesnę laidumą orui, netgi tuo atveju, kai naudojami papildomi siūlai, pavyzdžiui, pamušalinio ar sluoksniuotinio pynimo mezginiuose.

Mažiausiu laidumu orui pasižymėjo 10M meginys, numegztas lygiuoju sluoksniuotiniu pynimu, struktūroje klojant dar ir elastomerinį siūlą. Kadangi tokios struktūros mezginiuose kilpos sudaromos iš mažiausiai dviejų lygiagrečiai paklotų siūlų, mezginių paviršiaus užpildymas yra labai didelis, atitinkamai, akytumas mažas. Ypač, kai pagrindo ir dengiantysis siūlai yra skirtingos pluoštinės sudėties. Tai patvirtina ir kitų tyrėjų atlikti darbai [26, 70]. Skirtinga pluoštinė sudėtis lemia skirtingą siūlų išsilankstymą (geometriją) kilpoje, dėl to medžiagos užpildymo rodiklis bus didesnis, o tuo pačiu akytumas mažesnis, nei mezginiuose, sudarytuose iš tos pačios žaliavos siūlų. Antra vertus, struktūroje esantis elastomerinis net ir labai mažo ilginio tankio siūlas taip pat sutankina mezginio struktūrą bei sumažina paviršiaus akytumą. O tai daro lemiamą įtaką mezginio laidumui orui.

Nors presinio pynimo mezginiai dėl struktūroje esančių presinių kilpų ir lankų dažnai pasižymi didesniu laidumu orui nei analogiški lygiojo skersinio pynimo mezginiai, tačiau tirtuoju atveju 1M ir 2M bandinių, numegztų presiniu pynimu, laidumo orui vertės nebuvo išskirtinai didelės. Tai gali reikšti, kad šių mezginių struktūroje buvo pakloti ir elastomeriniai siūlai. Yra žinoma, kad elastomeriniai siūlai padidina kilpų tankumą bei sumažina mezginio akytumą, todėl laidumas orui sumažėja [26, 71]. Siūlų pluoštinės sudėties įtaka laidumui orui gali būti pademonstruota ir

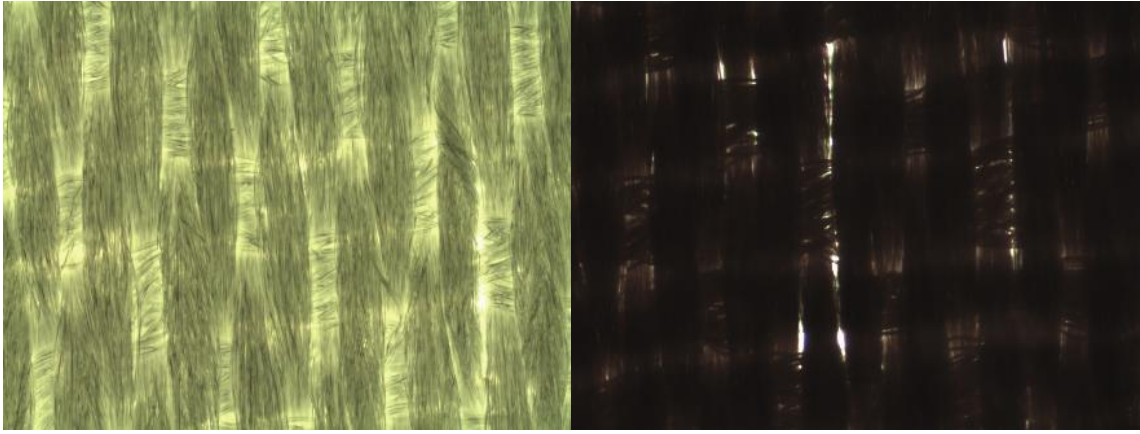
analizuojant 5M ir 6M mezginių rezultatus. Šie bandiniai pasižymėjo didžiausiu laidumu orui. Abu jie yra grynpluoščiai poliesteriniai lygiojo skersinio pynimo mežginiai. Taip pat jų kilpų horizontalusis ir vertikalusis tankumai vieni iš mažiausių.

Taip pat akytumui lemiamos įtakos turi ir siūlų ilginis tankis. 7M ir 8M mežginiai numegzti tokiu pačiu – pamušaliniu pynimu. Tačiau 8M mežginio laidumas orui yra maždaug dvigubai didesnis nei 7M mežginio. Nors pastarojo mežginio pagrindo kilpos mezgamos iš beveik dvigubai didesnio ilginio tankio poliesterinių siūlų, tačiau šiame mezginyje klojamo pamušalinio medvilninio verpalo ilginis tankis yra dvigubai didesnis nei 8M mezginyje. Vadinasi, akytumui lemiamos įtakos turėjo būtent pamušalinis siūlas, sudarantis mezginyje paeiliui tąsas ir lankus, kurie raporte išsidėsto šachmatiškai. Kadangi pamušalinis siūlas formuoja mežginio kairinėje pusėje tarsi antrą sluoksnį, tai labai sumažina mežginio paviršiaus akytumą. Todėl tokio pynimo mežginiai (ypač sušiaušti apdailos metu) labai tinka šiltiems apatiniams ir sportiniams bei laisvalaikio gaminiams gaminti.

Lyginant panašaus pynimo, bet skirtingo paviršinio tankio medžiagas (1M su 2M, 7M ir 8M) pastebėta, kad kuo didesnis medžiagos paviršinis tankis, tuo medžiaga sunkiau praleidžia oro srautą. Tačiau tai negalioja audiniams. Didžiausio paviršinio tankio bandinys 14A, kurio ataudų ir metmenų siūlų ilginis tankis irgi didžiausias iš visų tirtų audinių (20 tex), taip pat pasižymi ir didžiausiu laidumu orui. Tai gali būti paaiškinta tuo, kad didesnio ilginio tankio siūlai perdangų vietose daugiau išsirango, dėl to padidėja ir audinio akytumas, o tuo pačiu ir laidumas orui. Šio audinio laidumo orui sumažėjimas po sublimacijos taip pat labai ženklus, net 35,9 %. Tai leidžia daryti išvadą, kad didesnio ilginio tankio siūlų, veikiamų įkaitinto kalandro slėgio, išsilankstymo laipsnis audinio perdangų vietoje po sublimacijos sumažėja, siūlai suplokštėja, todėl reikšmingai sumažėja ir audinio akytumas bei laidumas orui.

Didžiausias mezginių laidumo orui pokytis po sublimacijos nustatytas mežginiams 6M (net 44,9 %) ir 8M (37,9 %). Šios medžiagos pasižymėjo ir didžiausiais horizontaliojo ir vertikaliojo tankumų pokyčiais, nustatytais ankstesniame tyrime ir aprašytais 3.1 skyrelyje. Suglaudėjus kilpoms, sumažėjo medžiagos akutės, kuriomis cirkuliavo oras. Reikšmingo laidumo orui pokyčio nepajuto tik 13A audinys – jo storio ir horizontaliojo tankumo pokytis taip pat buvo pats mažiausias. Galima teigti, kad esant minimaliems matmenų pokyčiams po sublimacijos, medžiagos laidumo orui pokyčiai taip pat bus minimalūs.

Visų medžiagų laidumo orui sumažėjimas paaiškinamas medžiagos santrauka ir akytumo sumažėjimu vidinėje medžiagos struktūroje. Toks reiškinys yra būdingas daugumai medžiagų, patiriančių įvairias apdailos ir dažymo operacijas. Tačiau 15A audinio laidumas orui padidėjo net 23,8 %, tai yra šis bandinys elgėsi priešingai, nei kitos tirtos medžiagos. Todėl nuspręsta atidžiau pasižiūrėti į audinio struktūros pokyčius po sublimacijos. Nustatyta, kad 15A audinio atveju sublimaciniam marginimui naudotas rašalas paveikė pavienes audinį sudarančio siūlo gijas, jas prilipindamas prie pagrindinio siūlo. Dėl šios priežasties atsirado didesnis akytumas tarp siūlų, kuris turi lemiamos įtakos oro laidumui. Šis reiškinys pavaizduotas 21 paveiksle. Toks specifinis akytumo padidėjimas užfiksuotas tik 15A audiniui. Jo išskirtinumas, lyginant su kitais bandiniais, labai mažas siūlų ilginis tankis (8 tex). Taigi, galima daryti išvadą, kad sublimacijos proceso metu gijos siūluose šiek tiek persislenka, taip suformuodami papildomas akutes. Didesnio ilginio tankio siūluose toks gijų persislinkimas irgi galimas, bet dėl didesnio siūlo skersmens tai neturi tokios reikšmingos įtakos.



21 pav. Audinio 15A mikroskopinis vaizdas prieš ir po sublimacijos (optinis mikroskopas Askania RML5skaitmeninė kamera Nikon Coolpix 4500)

Laidumo orui sumažėjimas nėra pageidautinas reiškinys, kadangi dėl to sumažėja galimybė kūnui „kvėpuoti“, dėvint tokį drabužį. Tyrimas parodė, kad dažais padengiamo paviršiaus plotas neturėjo įtakos laidumo orui savybėms, nes nenustatytos jokios priklausomybės tarp dažais padengimo ploto ant medžiagos ir tų medžiagų laidumo orui. Tai reiškia, kad pats dažas neužkemša medžiagos porų, o padengia tik atskirų gijų ir plaukelių paviršius, nesudarydamas vientiso dažų sluoksnio ant medžiagos. Tai yra labai teigiama sublimacinio marginimo savybė.

3.3. Sublimacinio marginimo įtakos dinaminei vandens absorbcijai tyrimas

Labai svarbi savybė, lemianti dėvėjimo komfortą, yra medžiagos gebėjimas absorbuoti drėgmę. Ypač svarbi yra drėgmės sugerties dinamika. Tai yra, kaip greitai drėgmė yra sugerama ir kaip plačiai medžiagos paviršiuje pasklinda drėgmės dėmė. Apskaičiuoti statistiniai gautų rezultatų rodikliai. Dinaminės absorbcijos tyrimų rezultatai pateikti 8 lentelėje. Lašo dydis buvo matuojamas po 0, 5, 10, 20, 40, 60, 120 ir 180 s nuo lašo užlašinimo momento. Čia N reiškia, kad lašas išplito už matavimo ribų ir tiksliai išmatuoti jo išplitimo nebuvo įmanoma. S reiškia, kad lašas nekito ir nesigėrė į medžiagą. I – reiškia, kad skystis absorbavosi į medžiagos vidinius sluoksnius, todėl nebuvo įmanoma išmatuoti lašo dydžio.

8 lentelė. Dinaminės absorbcijos matavimo rezultatai

Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Dėmės plotas, mm ²																															
		0 %								30 %								70 %								100 %							
		0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180
Mezginiai																																	
1M	Vidurkis	4992,09	28423,56	38250,04	47233,55	56716,92	60765,91	66697,16	70894,11	10491,12	29635,12	37697,67	47759,46	59509,72	61716,67	67380,56	72452,36	7445,41	28067,18	37950,40	48672,53	58141,95	63814,46	68344,96	69678,79	9041,81	28864,12	35292,73	44841,56	55959,51	59776,88	64026,93	66092,66
	V, %	42,64	9,44	5,85	8,11	8,24	9,39	5,79	7,68	58,32	10,89	8,25	6,20	8,31	2,90	2,48	4,30	50,30	3,93	5,12	10,34	9,26	7,50	10,20	7,16	24,93	2,54	3,07	7,27	5,06	3,10	2,41	1,56
2M	Vidurkis	2982,13	8926,06	16475,11	30801,23	47479,88	57236,66	68508,05	73550,70	2223,12	2244,83	2250,54	3151,89	11999,69	22559,42	44380,50	53255,92	2260,77	2346,22	2326,88	3179,28	11652,17	22868,72	45131,59	53493,17	2201,86	2269,39	2282,52	2897,98	10879,71	21374,66	44674,94	51529,22
	V, %	11,62	60,23	50,66	36,02	19,51	13,54	13,08	8,04	2,85	2,60	2,91	45,24	26,79	8,09	5,05	0,84	7,17	5,56	3,19	11,55	19,02	13,89	6,20	3,43	5,16	4,16	4,64	2,19	21,69	6,26	4,05	3,27
3M	–	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
4M	Vidurkis	2703,28	8755,91	14530,00	20751,66	29697,52	35949,25	50105,14	58714,55	2742,35	6610,05	12838,69	22438,53	34624,30	44720,75	67210,61	76136,78	3390,41	9245,27	17348,27	26585,69	38750,01	49528,26	70005,90	79305,41	3052,00	8997,30	15330,58	24984,09	37025,84	45927,80	68775,56	77806,26
	V, %	6,68	23,27	12,41	13,68	12,61	9,36	7,68	8,25	2,91	23,73	26,45	18,53	12,48	8,95	5,37	6,07	24,58	4,97	5,01	9,29	9,21	10,71	9,58	9,30	14,39	32,35	21,49	10,66	14,09	11,03	12,47	10,45
5M	Vidurkis	2346,80	2462,93	2546,01	3256,88	4709,18	5688,83	8479,17	10626,52	2291,18	2289,73	2413,33	2594,01	2971,22	3828,10	5331,30	6940,07	2184,62	2282,26	2293,75	2375,33	2603,85	2752,89	4053,85	5287,37	2308,15	2348,83	2362,81	2370,54	2777,44	3377,96	4480,78	6276,74
	V, %	10,16	1,95	11,88	7,89	4,65	9,31	11,64	14,36	4,24	6,55	1,08	9,21	1,18	7,06	10,54	14,28	8,03	5,60	9,28	9,34	5,26	6,75	13,91	22,39	7,32	6,59	3,04	7,00	12,41	10,59	10,88	17,51

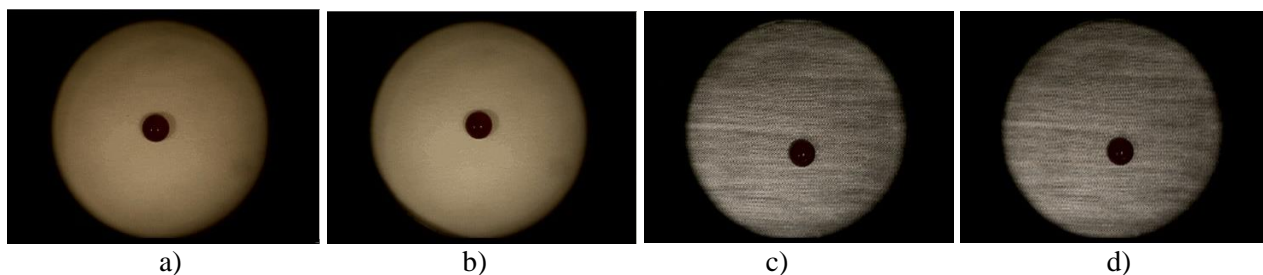
8 lentelės tęsinys.

Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Dėmės plotas, mm ²																															
		0 %								30 %								70 %								100 %							
		0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180
6M	Vidurkis	2112,19	2168,38	2109,24	2335,54	3042,61	3848,55	6267,66	7695,07	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	V, %	6,08	5,97	3,29	2,94	25,72	27,05	12,94	17,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7M	Vidurkis	6856,08	10977,11	12826,54	15027,64	17614,13	18522,15	21437,71	23952,43	9810,55	14505,07	16492,73	19659,83	22169,95	23231,60	25301,35	26719,98	10033,21	15325,90	18904,68	19594,68	21465,63	24156,05	24820,11	25908,19	9912,67	14617,83	16001,76	17239,49	19736,63	21876,55	23437,63	23968,97
	V, %	26,18	9,45	4,41	4,66	2,55	8,16	6,69	7,29	11,05	3,22	7,02	3,01	4,06	3,94	5,72	7,40	6,73	4,08	12,54	7,49	5,82	4,38	6,60	9,77	14,42	7,44	7,56	11,69	12,41	5,92	7,07	4,25
8M	Vidurkis	2127,43	5718,43	19849,81	39996,32	59053,80	84935,52	96759,67	Z	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
	V, %	4,36	61,75	5,99	8,20	5,57	9,02	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9M	-	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
10M	-	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
Audiniai																																	
11A	Vidurkis	4139,92	57605,17	83727,74	106853,09	Z	Z	Z	Z	14873,43	65838,97	80621,24	96414,77	Z	Z	Z	Z	17306,87	67566,79	81592,88	98351,68	Z	Z	Z	Z	15809,48	65357,85	80535,86	Z	Z	Z	Z	Z

8 lentelės tęsinys.

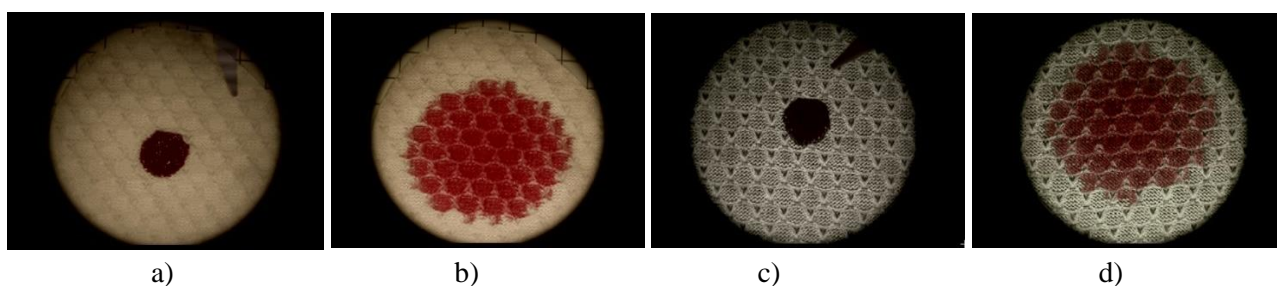
Bandinio kodas	Statistiniai rodikliai	Dėmės plotas, mm ²																																					
		0 %								30 %								70 %								100 %													
		0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180	0	5	10	20	40	60	120	180						
	V, %	18,85	4,62	5,90	0,02	—	—	—	—	21,47	9,98	7,01	6,42	—	—	—	—	37,08	8,59	8,30	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25,36	4,34	2,90	—	—	—	—	—
12A	Vidurkis	2191,94	4825,17	6453,43	9448,55	13014,31	14885,99	21018,75	23376,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	V, %	4,20	5,00	3,44	10,13	6,54	6,84	8,62	6,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
13A	Vidurkis	24274,75	74164,32	—	—	—	—	—	—	31524,35	75554,32	—	—	—	—	—	—	28828,88	73563,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	V, %	37,84	7,48	—	—	—	—	—	—	17,64	8,98	—	—	—	—	—	9,24	4,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
14A	Vidurkis	6708,07	38527,13	53987,28	84789,01	—	—	—	—	7108,26	54766,52	71585,67	99590,23	—	—	—	13083,06	53919,75	70067,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	V, %	35,62	3,92	2,29	3,16	—	—	—	—	31,16	5,83	5,18	0,00	—	—	18,07	1,30	1,93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
15A	Vidurkis	6361,77	31125,27	53466,51	71125,19	—	—	—	—	16120,50	71442,46	—	—	—	—	—	18016,16	67697,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	V, %	24,11	1,73	7,51	0,00	—	—	—	—	35,87	0,60	—	—	—	—	61,72	8,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				

Išnagrinėjus gautus rezultatus nustatyti keturi pagrindiniai medžiagų absorbcijos tipai. Pirmoji grupė (žr. 22 pav.) – tai nelaidūs vandeniui ir drėgmės nesugeriantys bandiniai (3M, 9M, 10M). Per 180 s stebėjimo periodą skysčio lašas šių medžiagų nebuvo absorbuotas, o taip pat sublimacinis procesas neturėjo jokios įtakos šiai savybei.



22 pav. Medžiagų, nelaidžių vandeniui, pavyzdžiai: a) – 3M bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 3M bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 3M bandinys pirmąją sekundę po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 3M bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais

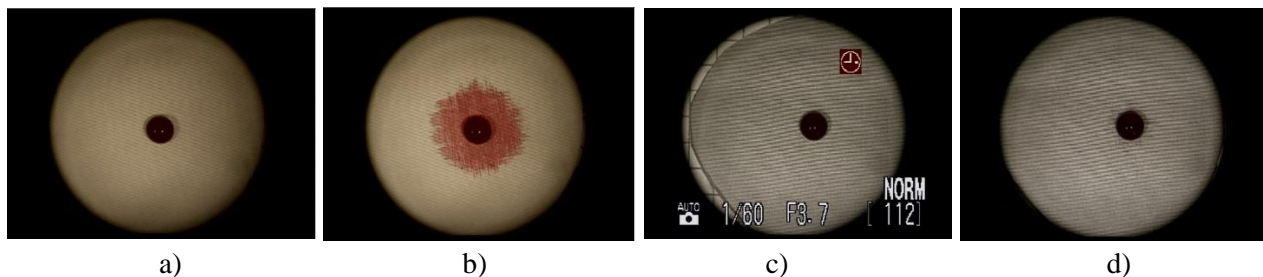
Antrosios grupės bandinių (žr. 23 pav.) vandens absorbcijos dinamika yra gera, drėgmė susigėrė greitai, dėmė smarkiai išplito, tačiau vandens absorbcijos dinamika, palyginus prieš ir po sublimacinio marginimo, taikant skirtingo užpildymo dizainus, reikšmingai nepasikeitė. Šiai grupei priklauso 1M, 7M mežginiai, 11A, 13A, 14A audiniai. Nors audiniai nepasižymėjo geru laidumu orui dėl glaudžios struktūros, vandens absorbcijos savybės daugumai audinių nepakito arba po sublimacijos pagerėjo. Skystis buvo absorbuojamas ant šių audinių nuo pradinio momento, kai skysčio lašas buvo uždėtas ant audinių paviršiaus. Taškinis plotas per visą stebėjimo laikotarpį (180 s) nuolat didėjo, o skysčio pasklidimo paviršiuje dinamika visais atvejais buvo panaši – tiek prieš sublimaciją, tiek ir po sublimacijos trimis skirtingais užpildymo dizainais. Palyginus audinius su mežginiais, iš gautų rezultatų matome, kad audiniai (nors ir poliesteriniai, be natūralių celiuliozinių pluoštų sudėtyje) geriau sugėrė vandenį. Todėl galima teigti, kad vandens absorbcijos savybėms didelės reikšmės turėjo medžiagos struktūra. Vandeniui buvo lengviau plisti audinio metmenimis ir ataudais nei į kilpas išlankstytais siūlais (gijiniais ir verpalais) mežginyje.



23 pav. Medžiagų, kurių vandens absorbcijos savybės po apdailos nepakito, pavyzdžiai: a) – 1M bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 1M bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 1M bandinys pirmąją sekundę 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 1M bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais

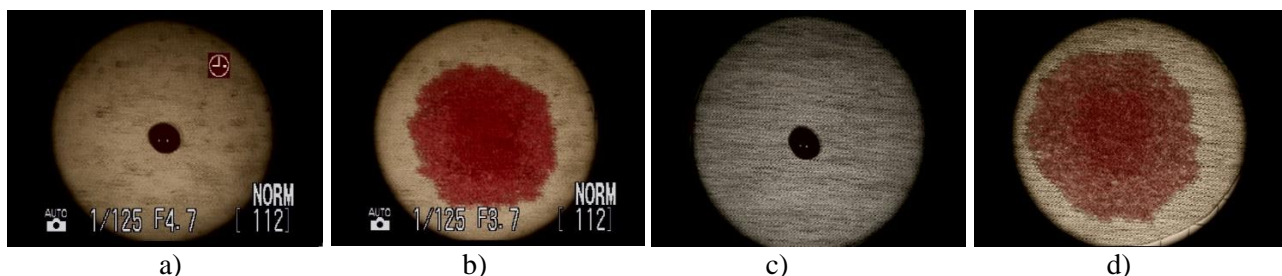
Trečioji grupė medžiagų (žr. 24 pav.) pasižymėjo blogesnėmis absorbcijos savybėmis arba visai nebesugėrė vandens po sublimacijos. Šiai grupei priklauso mežginiai 2M, 5M, 6M, audinys 12A. 12A bandinys po sublimacijos vandens visai nesugėrė bei ankstesniuose tyrimuose pasižymėjo visišku nelaidumu orui, todėl tikėtina, kad sublimacijos metu didelis karštis ir slėgis sužadino paviršinių apdailos sluoksnį, kuris įsigėrė į medžiagos vidų ir galutinai užkimšo akutes bei užkirto kelią vandens

sklidimui medžiagos paviršiuje. Taip pat šiai grupei priklauso grynpluoščiai poliesteriniai mežginiai 5M ir 6M. Šių medžiagų struktūrą sudaro verpalai. Kaip anksčiau pastebėta, gijiniai audiniai gerai absorbavo drėgmę. Nors poliesteris yra laikomas hidrofobiniu pluoštu, matome, kad parinkus tinkamą pynimą ir siūlo sandarą galima išgauti pakankamai gerą vandens absorbcijos dinamiką.



24 pav. Medžiagų, kurios neabsorbavo vandens po apdailos, pavyzdžiai: a) – 12A bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 12A bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 12A bandinys pirmąją sekundę 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 12A bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais

Stebėtina, jog kelių medžiagų vandens absorbcija po sublimacinio marginimo pagerėjo. 4M mežginio vandens sugertis pagerėjo – jis savo sudėtyje turi lino pluošto (kaip nurodyta literatūroje, natūralus pluoštai dėl savo amorfiniu sričių pasižymi gera vandens absorbcija [40]). Todėl suglaudėjusi mežginio struktūra ir reikšmingai sumažėjęs storis galėjo lemti lino pluošto suartėjimą, kuris geriau absorbavo drėgmę. 4M bandinio pavyzdys pateiktas 25 paveiksle. 8M bandinys savo sudėtyje taip pat turi natūralaus medvilnės pluošto, tačiau užfiksuoti, kaip pakito medžiagos absorbcijos dinamikos savybės nepavyko, nes vanduo labai sparčiai gėrėsi į medžiagos vidinius sluoksnius, jos paviršiuje nesudarydamas aiškios dėmės. Tačiau tai galima traktuoti kaip teigiamą medžiagos bruožą.



25 pav. Medžiagų, kurios geriau absorbavo vandenį po sublimacijos, pavyzdys: a) – 4M bandinys pirmąją sekundę prieš apdailą, b) – 4M bandinys 180 s prieš apdailą, c) – 4M bandinys pirmąją sekundę 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais, d) – 4M bandinys 180 s po sublimacijos, 100 % paviršiaus ploto padengimas dažais

Taip pat 2 kartus pagerėjo 15A audinio dinaminė vandens absorbcija. Ši medžiaga taip pat parodė geresnius laidumo orui rezultatus po sublimacijos, todėl tikėtina, kad pakitusi struktūra ir padidėjęs akytumas pasitarnavo ir vandens transportavimo savybėms.

Lyginant struktūrinių rodiklių daromą įtaką pastebėta, kad tų pačių pynimų, bet skirtingų paviršinių tankių medžiagų (1M su 2M, 7M ir 8M, 11A su 14A) vandens absorbcijos dinamika skiriasi. Kuo didesnis paviršinis tankis, tuo medžiaga linkusi prasčiau sugerti vandenį. Tai patvirtina ir kitų mokslininkų atlikti tyrimai [35, 37]. Reiškia, kad esant glaudesnei medžiagos struktūrai, vanduo sunkiau skverbiasi ir plinta medžiagos paviršiumi.

Palyginus vienodų pynimų medžiagas, negalima teigti, kad pynimas yra pagrindinis rodiklis, lemiantis vandens absorbcijos dinamiką, nes lyginant keturis lygiojo skersinio pynimo bandinius (3M, 4M, 5M, 6M) pastebėta, kad jie visi parodė skirtingus rezultatus. Vienų sugerties rodiklis pagerėjo, kitų pablogėjo.

Kaip ir ankstesniuose tyrimuose, taip ir šiame pastebėta, jog dažų kiekis esminės įtakos medžiagų savybėms neturi. Tačiau šis tyrimas parodė, kad medžiagos komforto savybės po sublimacijos ne tik blogėja, bet ir atsiranda išimčių, kuomet bandinių vandens absorbcijos savybės pagerėja. Teigiama medžiagos savybė, lemianti dėvėjimo komfortą, yra arba labai greitas lašo įsigėrimas, arba dėmės ploto labai spartus didėjimas.

3.4. Sublimacinio marginimo įtakos polinkiui pumpuruotis tyrimas

Medžiagos polinkis pumpuruotis yra labai svarbi vartotojui savybė, nulemianti gaminio estetinę išvaizdą dėvint, šio gaminio dėvėjimo ilgaamžiškumą. Siekiant išsiaiškinti, kaip kinta medžiagos vartojamosios ir estetinės savybės po sublimacinio marginimo, atliktas atsparumo pumpuravimuisi tyrimas. Šio tyrimo rezultatai pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Pumpuravimosi tyrimo rezultatai

Bandinio kodas	Sublimuoto paviršiaus plotas			
	0 %	30 %	70 %	100 %
	Pumpuravimosi balas			
Mezginiai				
1M	3	3	3	3
2M	3	3	3	3
3M	3	3	3	3
4M	2	2	2	2
5M	3	4	3	4
6M	3	3	3	3
7M	2	2	2	2
8M	2	2	2	2
9M	3	3	3	3
10M	3	3	3	3
Audiniai				
11A	5	5	5	5
12A	5	5	5	5
13A	5	5	5	5
14A	5	5	5	5
15A	5	5	5	5

Nustatyta, kad blogiausiu atsparumu pumpuravimuisi pasižymėjo 4M, 7M, 8M bandiniai, kurių sudėtyje yra natūralaus lino arba medvilnės pluošto. Bandiniai, turintys sudėtyje dirbtinio lajocelio ar viskozės pluošto (1M, 2M, 3M ir 10M), pasižymėjo didesniu atsparumu pumpuravimuisi. Tačiau

negalima teigti, kad savybės priklauso tik nuo medžiagos pluoštinės sudėties, nes grynpluoštės poliesterinės medžiagos parodė skirtingus polinkio pumpuruotis rezultatus. Pavyzdžiui, 11A bandinys buvo įvertintas 5 balais, o 5M tik 3–4 balais. Taip yra todėl, kad pastaroji medžiaga yra numegzta iš poliesterinių verpalų, o 11A bandinys yra austas iš poliesterinių gijinių siūlų. Jo struktūra užtikrina ženkliai didesnę atsparumą pumpuravimuisi. Tuo tarpu poliesterinių verpalų medžiagos ypač linkusios pumpuruotis, kadangi, dėl didelio pluošto mechaninio stiprumo susivėlę pumpurėliai nenukrenta nuo medžiagos paviršiaus, o labai tvirtai ant jo laikosi. Todėl palaipsniui visas medžiagos ar gaminio paviršius pasidengia susivėlusiais pumpurėliais.

Lyginant medžiagų struktūrinių rodiklių daromą įtaką pumpuravimuisi pastebėta, kad tų pačių pynimų, bet skirtingą paviršinių tankių turinčių medžiagų (1M su 2M, 7M ir 8M, 11A su 14A) rezultatai nesiskyrė. Tai reiškia, kad paviršinis tankis neturi esminės įtakos medžiagos atsparumui pumpuruotis.

Išnagrinėjus rezultatus matome, kad sublimacinio marginimo procesas ar pasirinktas sublimacijos dizainas nedarė įtakos bandinių atsparumui pumpuruotis. Tai reiškia, kad proceso metu naudojami slėgio veikiami karšti kalandrai bei dažai nepaveikia pavienių plaukelių, kurie būtų linkę sukibti. Tai galima vertinti kaip proceso privalumą, nes numargindami gaminių galime būti tikri, kad nepablogės jo pirminės atsparumo trinčiai ir pumpuravimuisi savybės.

Išvados

1. Nustatyta, kad sublimacinis marginimas lėmė medžiagų struktūrinių rodiklių pokyčius:
 - 1.1. Visų tirtų medžiagų storis dėl poveikio karštu kalandru po sublimacinio marginimo sumažėjo 2,7 – 29 %.
 - 1.2. Medžiagų horizontalusis tankumas po sublimacinio marginimo kito 0,1 – 6,3 %, išskyrus medžiagas 7M ir 8M, kurių horizontalusis tankumas padidėjo, atitinkamai, 15,1 ir 20 %.
 - 1.3. Medžiagų vertikalusis tankumas po sublimacinio marginimo kito 1 – 10 %, išskyrus medžiagas 6M ir 8M, kurių vertikalusis tankumas sumažėjo 17,9 – 19,7 %.
2. Nustatyta, kad mezginiai pasižymi ~4 – 15 kartų didesniu laidumu orui nei audiniai, o audinių skysčio dėmės plitimo dinamika ~9 kartus didesnė nei mezginių.
3. Megztinių medžiagų laidumas orui dėl sumažėjusio akytumo po sublimacinio marginimo sumažėjo 13 – 45 %. Didžiausias laidumo orui pokytis po sublimacijos nustatytas mezginiams 6M (44,9 %) ir 8M (37,9 %), nes šios medžiagos pasižymėjo ir didžiausiais tankumų pokyčiais po marginimo.
4. Audinių laidumas orui po sublimacinio marginimo kito skirtingai. Iš didžiausio ilginio tankio PES siūlų (20 tex) nuausto audinio 14A laidumas orui sumažėjo 35,9 %, nes audinio akytumas dėl karšto kalandro poveikio reikšmingai sumažėjo. Satininio pynimo audinio su elastomeriniu siūlu 13A laidumas orui nepakito, nes jo storio ir tankumo pokytis taip pat buvo minimalus. Iš mažiausio ilginio tankio PES siūlų (8 tex) nuausto audinio 15A laidumas orui padidėjo 23,8 %, nes padidėjo medžiagos akytumas.
5. Nustatyta, kad sublimacinis marginimas tirtų medžiagų vandens absorbcijos dinamikai darė skirtingą įtaką:
 - 5.1. 1M, 3M, 7M, 9M, 10M, 11A, 13A, 14A medžiagų vandens absorbcijos dinamika nepakito.
 - 5.2. 2M, 5M, 6M, 12A medžiagų vandens absorbcijos dinamika pablogėjo dėl matmenų pokyčių slegiant medžiagą karštu kalandru marginimo proceso metu.
 - 5.3. 4M ir 15A medžiagų vandens absorbcijos dinamika pagerėjo 1,3 – 2 kartus dėl natūralaus pluošto siūlų plaukelių suglaudėjimo.
6. Nustatyta, kad medžiagos pumpuravimuisi įtakos turi medžiagos pluoštinė sudėtis, pynimas, paviršinis tankis ir siūlų struktūra. Tačiau sublimacinis marginimas medžiagų polinkiui pumpuruotis įtakos neturi.
7. Nustatyta, kad tirtų medžiagų sandaros ir savybių pokyčiams po sublimacinio marginimo pasirinktas marginimo dizainas jokios įtakos neturi.

Literatūros sąrašas

1. CHANDRAKANT R. H., JADHAV A. J. ir PINJARI D. V. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management*. 2016, t.182, pp. 351–366.
2. ULLHAS N. Sustainable Chemistry: A Solution to the Textile Industry in a Developing World. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2018, t. 9, pp. 13–17. ISBN 2452-2236
3. KANT R. Textile Dyeing Industry an Environmental Hazard. *Natural Science*. 2012, t. 4. pp. 22–26.
4. DOBILAITĖ V., JUCIENĖ M. ir SACEVIČIENĖ V. Study of Textile Waste Generation and Treatment in Lithuania. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2017, t. 25, nr. 6 (126), pp. 8–13.
5. „Textale“ organizacija, [žiūrėta 2019.11.26]. Internetinė prieiga: <https://textale.lt/apie-mus/>
6. ZAMANI B. Carbon Footprint and Energy use of Textile Recycling Techniques. Case Study: Sweden. *Master of Science Thesis*. Departament of Chemical and Biological Engineering Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden. 2011.
7. ANGELIS-DIMAKIS A., ALEXANDRATOU A. ir BALZARINI A. Value Chain Upgrading in a Textile Dyeing Industry. *Journal of Cleaner Production*. 2016, t. 138, nr. 8, pp. 237–247. ISBN 0959-6526.
8. LEGERSKÁ J., PAVOL L., MATEJ D. ir URICOVA S. Influence of various Tones of Colors on Measuring Porosity of Knitted Fabrics Printed by Sublimation. *University Review*. 2012, t. 6, nr. 2, pp. 47–51 ISSN 1337-6047.
9. Sublimacijos procesas, [žiūrėta 2020.01.23]. Internetinė prieiga: http://sihl.com/wp-content/uploads/2016_02_04_Specialist_printing_Sublimation_transfer.pdf.
10. KLIMAVIČIŪTĖ R. ir V. G. *Taikomosios Dažų Chemijos Pagrindai*. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2008.
11. „Mimaki JV150-160“ spausdintuvas, [žiūrėta 2020.03.12]. Internetinė prieiga: <https://mimaki.com/product/inkjet/i-roll/jv150-series/feature.html>.
12. MIKUŽ M., ŠOSTAR-TURK S. ir FORTE-TAVČER P. Printing and Design in the Processes of Textile Inkjet Printing. *Tekstilec*. 2008, t. 51, nr. 1-3, pp. 7–29.
13. PAVOL L., ANTONIN H., MATEJ D. ir SUBHASH C. M. The Effect of Sublimation Print on Thermal Conductivity of Layered Sports Textiles. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2015, t. 119. pp. 891–897.
14. MING-CHU H., ir JUNG-SEN L. Study on Design of Temperature - Dependence of Sublimation Transfer Roller. *International Conference on Precision Machinery and Manufacturing Technology*. 2018, t. 185, nr. 00036. [žiūrėta 2020.03.25]. Internetinė prieiga: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818500036>.
15. SARICAM C. ir ERDUMLU N. Evaluation of Regenerated Bamboo, Polyester and Cotton Knitted Fabrics for Summer Clothing. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2018, t. 26, nr. (4)130 pp. 82–89.
16. ZIMNIEWSKA M., MICHALAK M., KRUCIŃSKA I. ir WIĘCEK B. Electrostatical and Thermal Properties of the Surface of Clothing made from Flax and Polyester Fibres. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2003, t. 2, nr. 41, pp. 55–57.

17. WARDININGSIH W. ir TROYNIKOVA O. Energy Absorption and Thermal Comfort of Segmented Pad for Hip Protective Garment. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2019, t. 31, nr. 4. pp. 564–577.
18. KIM H. A. ir KIM S. J. Physical Properties and Wear Comfort of Bio-Fiber-Embedded Yarns and their Knitted Fabrics According to Yarn Structures. *Autex Research Journal*, 2019, t. 19, nr. 3. pp. 279–287.
19. LI J., FENG J., ZHANG H. ir ZHANG J. Wear Properties of Hemp, Ramie and Linen Fabrics After Liquid Ammonia/Crosslinking Treatment. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2010, t. 18, nr. 5 (82). pp. 81–85.
20. ABDUL R. A., SIWEI S., JUNAID K., YINGJIE C. ir LINA L. Investigation of Comfort Properties of Knitted Denim. *Materials Science and Engineering*. 2017, t. 275. [žiūrėta 2020.03.04]. Internetinė prieiga: doi: 10.1088/1757-899X/275/1/012029.
21. CHANDRASEKARAN R., PERIYASAMY S. ir SHABARIDHARAN K. Statistical Analysis of the Pilling Behaviour of Polyester/Cotton and Polyester/Viscose Blended Woven Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2018, t. 26, nr. 3 (129), pp. 66–70.
22. Tencel pluoštas, [žiūrėta 2020.03.21]. Internetinė prieiga: <https://www.tencel.com/b2b/product/tencel-lyocell-filament>.
23. ZIMNIEWSKA M., LAURENTOWSKA M., BOGACZ E., KRYSIAK J., DOMASZEWSKA K. ir ZIMNIEWSKA O. Influence of Sportswear made from Polyester and Man-made Cellulosic Fibres on the Energy Cost of Physical Effort. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2010, t. 18, nr. 3 (80). pp. 94–99.
24. ABDUL B., WASIF L., MUNIR A., ABDUR R., KASHIF I., HAFIZ S. M., ABDUL J. ir SAJJAD A. B. Comparison of Mechanical and Thermal Comfort Properties of Tencel Blended with Regenerated Fibers and Cotton Woven Fabrics. *AUTEX Research Journal*. 2019, t. 19, nr. 1. pp. 80–85.
25. BASIT A., LATIF W., ASHRAF M., REHMAN A., IQBAL K., MQSOOD S.F., JABBAR A. ir BAIG S.A. Comparison of Mechanical and Thermal Comfort Properties of Tencel Blended with Regenerated Fibers and Cotton Woven Fabrics. *Autex Research Journal*. 2019, t. 19, nr. 1. pp. 80–85.
26. ABRAMAVIČIUTĖ J., MIKUČIONIENĖ D. ir ČIUKAS R. Structure Properties of Knits from Natural Yarns and their Combination with Elastane and Polyamide Threads. *Materials Science – Medziagotyra*. 2011, t. 17, nr. 1. pp. 43–46.
27. ABRO Z.A., CHEN N., YIFAN Z., CHENG-YU H., ABASSI A.M.R., SIMAIR A.A., AHMED R. ir HUSSAIN A. Investigation on Thermal Comfort Characteristics of Regenerated Bamboo and Cotton Woven Structured Fabrics. *Autex Research Journal*. 2018, vol. 18(4). pp. 323–329.
28. IMAN F. ir ALAMDAR A. Y. Assessment of the Relationship between Air Permeability of Woven Fabrics and its Mechanical Properties. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2010, t. 18, nr. 6(83). pp. 68–71.
29. NERGIZ E. ir YASEMIN K. Effects of Knit Structure on the Dimensional and Physical Properties of Winter Outerwear Knitted Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2018, t. 16, nr. 2(67), pp. 69–74.

30. MIKUČIONIENĖ D., MILAŠIŪTĖ L., BALTUŠNIKAITĖ J. ir MILAŠIUS R. Influence of Plain Knits Structure on Flammability and Air Permeability. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2012, t. 20, nr. 5(94). pp. 66–69.
31. BIVAINYTĖ, A. ir MIKUČIONIENĖ, D. Influence of Shrinkage on Air and Water Vapour Permeability of Double-Layered Weft Knitted Fabrics. *Materials Science (Medziagotyra)*. 2012, t. 18, nr. 3. pp. 271–274. ISSN 1392-1320.
32. ÇORUH E. Optimization of Comfort Properties of Single Jersey Knitted Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2015, t. 23, nr. 4(112). pp. 14–24.
33. MAHESWARAN R., SRINIVASAN V. ir MURALIKRISHNAN A. Prediction and Experimental Investigation of Knitted Fabric Thickness and its Influence on Single Jersey Fabric Properties. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2020, t. 28, nr. 3(141). pp. 38–43.
34. HATICE K. K. ir BABAARSLAN O. Effects of Filament Linear Density on the Comfort Related Properties of Polyester Knitted Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2016, t. 24, nr. 1(115). pp. 89–94.
35. BOGUSŁAWSKA-BĄCZEK M. ir HES L. Effective Water Vapour Permeability of Wet Wool Fabric and Blended Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2013, t. 21, nr. 1(97). pp. 67–71.
36. ATHIRAH M., SUZAINI A. G ir MUHAMAD F. Y. Knitted Fabric Parameters in Relation to Comfort Properties. *American Journal of Materials Science*. 2016, t. 6 nr. 6. pp. 147–151.
37. OĞLAKCIOĞLU N. ir MARMURALI A. Thermal Comfort Properties of some Knitted Structures. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2007, t. 15, nr. 5–6 (64–65), pp. 94–96.
38. MANSOOR, T., HES, L., BAJZIK, V. ir NOMAN, M.T. Novel Method on Thermal Resistance Prediction and Thermo-Physiological Comfort of Socks in a Wet State. *Textile Research Journal*. 2020. [žiūrėta 2020.04.01]. Internetinė prieiga: doi: 10.1177/0040517520902540.
39. SKENDERI Z., SALOPEK Č. I. ir SRDJAK M. Water Vapour Resistance of Knitted Fabrics Under Different Environmental Conditions. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2009, t. 17, nr. 2(73). pp. 72–75.
40. HAMD AOUI M., BAFFOUN A., KHOULOU D B. C. ir HAMD AOUI F. Experimental Study and Mathematical Model to Follow the Drying Phenomenon of Knitted Textile Fabric. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2013, t. 8, nr. 3. pp. 70–76.
41. ARAFA A. B., Performance of Knitted Fabrics Finished With Different Silicone Softeners. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2018, t. 13, nr. 1. pp. 47–59.
42. RUHUL A. ir RAFIQU L. R. Analysis of Pilling Performance of Different Fabric Structures with Respect to Yarn Count and Pick Density. *Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles. Leatherwork*. 2015. [žiūrėta 2020.02.11]. Internetinė prieiga: https://www.researchgate.net/publication/308885067_Analysis_of_pilling_performance_of_different_fabric_structures_with_respect_to_yarn_count_and_pick_density.
43. SHILPI A, ABDULLAH A. F. ir MAZEDUL I. Effect of Stitch Length on Different Properties of Plain Single Jersey Fabric. *International Journal of Modern Engineering Research*. 2017, t. 7, nr. 3. pp. 71–75 ISSN 2249-6645.
44. THIAGO F., MINELY C., TAVARES R., VINICIUS M., GROSSCHOPF G. ir SILVA M.. Influence of Structure and Composition in the Mechanical Properties of Textile Polymeric Fabrics.

- Polymers and Polymer Composites*. 2019. [žiūrėta 2020.02.24]. Internetinė prieiga: <https://doi.org/10.1177/0967391118823075>.
45. MIKUČIONIENĖ D., ČEPUKONĖ L. ir MILAŠIENĖ D. Investigation on Mechanical Andthermal Properties of Knits Frompeat Fibers and their Combinationwith Other Natural Fibers. *Textile Research Journal*. 2018, t. 88(14). pp. 1660–1670.
 46. COLDEA A. M. ir VLAD D. Study regarding the Physical-Mechanical Properties of Knits for Garments – Pilling Performance. *MATEC Web of Conferences*. 2017, vol. 121, no. 01002. [žiūrėta 2020.01.28]. Internetinė prieiga: doi: 10.1051/matecconf/201712101002.
 47. DALBAŞI E. S. ir ÖZÇELİK K. G. A Research about the Effect of the Antipilling Treatments on Different Structured Cotton Knitted Fabrics. *TEKSTİL Ve KONFEKSİYON*. 2015, vol. 25 nr. 1, pp. 54–60.
 48. AKHTAR K.S., AHMAD S., AFZAL A., ANAM W., ALI Z. ir HUSSAIN T. Influence and Comparison of Emerging Techniques of Yarn Manufacturing on Physical–mechanical Properties of Polyester-/Cotton-Blended Yarns and their Woven Fabrics. *The Journal of the Textile Institute*. 2019, t. 111, nr. 4. pp. 555–564.
 49. KUMAR V. ir SAMPATH V. R. Investigation on the Physical and Dimensional Properties of Single Jersey Fabrics made from Cotton Sheath - Elastomeric Core Spun. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2013, t. 21, nr. 3(99), pp. 73–75.
 50. NASRIN HAQ U. ir KHAN M. M. R. Investigation of the Bulk, Surface and Transfer Properties of Chlorine Bleached Denim Apparel at Different Condition. *European Scientific Journal*. 2015, t. 11, nr. 12. pp. 213–227. ISSN 1857-7881.
 51. RELJIĆ M., STEPANOVIĆ J., LAZIĆ B., ĆIRKOVIĆ N. ir CEROVIĆ N. The Change of Water Vapour Resistance of Materials used for the Clothing Production during Exploitation. *Advanced Technologies*. 2016, t. 5 nr. 2, pp. 73–78.
 52. KYATUHEIRE S., WEI L. ir MWASIAGI I. J. Investigation of Moisture Transportation Properties of Knitted Fabrics made from Viscose Vortex Spun Yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2014, t. 9, nr. 3. pp. 1–7.
 53. TVARIJONAVIČIENĖ B., MIKUČIONIENĖ D. ir ČIUKAS R. Influence of Knitting Process Conditions and Washing on Tensile Characteristics of Knitted Ribbon Yarns. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2005, t. 13, nr. 14, pp. 74–77.
 54. ERYURUK S. H.. The Effects of Elastane and Finishing Properties on Wicking, Drying and Water Vapour Permeability Properties of Denim Fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2020, t. 32, nr. 2, pp. 208–217.
 55. GABR B. G., SALEM A. A. ir HASSAN Y. E. Thermo-Physiological Comfort of Printed CoolMax Fabrics. *Textile Processing: State of the Art & Future Developments*. 2009, t. 6, pp. 302–308.
 56. TOUHIDUZZAMAN M., RASHID K. ir SYDUZZAMAN M. Effects of Raising and Sueding on the Physical and Mechanical Properties of Dyed Knitted Fabric. *Journal of Textile Science & Engineering*. 2015, t. 6, nr. 1, pp. 1–5. ISSN 2165-8064.
 57. SKERNAUSKYTĖ, G. ir VENYTĖ, I. Research on the Quality of the Technological Parameters of Sublimation on Textile Products. *Industrial Engineering 2019: International Young Scientists Conference: Notification Material*. 2019, pp. 181–186. ISSN 2538-6727.

58. GLOMBIKOVA V. ir KOMARKOVA P. Study on the Impact of Dye – Sublimation Printing on the Effectiveness of Underwear. *Tekstilec*. 2014, t. 57 (2). pp. 133-138.
59. Sublimacinis popierius, [žiūrėta 2020.02.28]. Internetinė prieiga: <https://www.sappi.com/transjet-boost>.
60. Dispersiniai dažai, [žiūrėta 2020.02.28]. Internetinė prieiga: <https://mimaki.com/supply/sds/>.
61. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 139:2006]. Tekstilė. Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka (ISO 139:2005) : Europos standartas EN ISO 139:2005 turi Lietuvos standarto statusą = Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.
62. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 14971:2006]. Tekstilė. Megztinės medžiagos. Kilpų skaičiaus vienetiniame ilgyje ir plotyje nustatymas : Europos standartas EN 14971:2006 turi Lietuvos standarto LST EN 14971:2006 statusą = Textiles - Knitted fabrics - Determination of number of stitches per unit length and unit area. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
63. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN12127:1999]. Tekstilė. Tekstilės medžiagos. Paviršinio tankio nustatymas naudojant mažus bandinius. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1999.
64. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 5084:1996] Tekstilė. Tekstilės medžiagų ir gaminių storio nustatymas (ISO 5084:1996). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2000.
65. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 9237:1997]. Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui. Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas, 1997
66. BIVAINYTĖ, A. ir MIKUČIONIENĖ, D. Investigation on the Dynamic Water Absorption of Double-Layered Weft Knitted Fabrics *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2011, t. 19, nr. 6 (89), pp. 64–70. ISSN-12303666.
67. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 8655-2:2002]. Stūmokliniai tūrio matavimo prietaisai. 2 dalis. Stūmoklinės pipetės (ISO 8655-2:2002/Cor.1:2008). Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas, 2009.
68. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 12945-2:2000]. Tekstilė. Tekstilės medžiagų polinkio pūkuotis ir pumpuruotis nustatymas. 2 dalis. Modifikuotas Martindale'o metodas (ISO 12945-2:2000). Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas, 2001.
69. MILAŠIUS R. *Tekstilės Eksperimento Teorija Ir Praktika. Mokomoji Knyga*. Kaunas: Technologija, 2011.
70. MIKUČIONIENĖ, D. ir ARBATAITIS, E. Comparative Analysis of the Influence of Bamboo and Other Cellulose Fibres on Selected Structural Parameters and Physical Properties of Knitted Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2013, t. 21, nr. 3, pp. 76–80.
71. UYANIK, S. ir KUBRA, H.K. Strength, Fatigue and Bagging Properties of Plated Plain Knitted Fabrics Containing Different Rates of Elastane. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2019, t. 31, nr. 6, pp. 741–754.

Priedai

1 priedas. Jaunųjų mokslininkų darbų paroda-konkursas „Technorama 2019“

Magistrantūros metu sudalyvauta 2019 m. gegužės 9 d. vykusiame Jaunųjų mokslininkų darbų parodoje-konkurse „Technorama 2019“. Pristatyto darbo tema „Aplinkai draugiškas būdas perkelti paveikslą ant tekstilinių medžiagų“.



2 priedas. Pramonės inžinerijos jaunųjų mokslininkų konferencija 2019

Tyrimo rezultatai pristatyti 2019 m. gegužės 17 d. vykusiame „Pramonės inžinerijos Jaunųjų mokslininkų konferencijoje 2019“. Tyrimo tema „Influence of sublimation on comfort and end-use properties of textile materials“.

