



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Tvaraus skaitmeninio marginimo įtaka megztų medžiagų struktūrinėms ir fizikinėms savybėms**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Ugnė Bukauskaitė**  
Projekto autorė

**Lekt. Ginta Laureckienė**  
Vadovė

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Tvaraus skaitmeninio marginimo įtaka megztų medžiagų struktūrinėms ir fizikinėms savybėms**

Baigiamasis magistro projektas  
Tekstilės ir aprangos technologija (6211FX007)

---

**Ugnė Bukauskaitė**

Projekto autorė

**Lekt. Ginta Laureckienė**

Vadovė

**Prof. Daiva Mikučionienė**

Recenzentė

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ugnė Bukauskaitė

## **Tvaraus skaitmeninio marginimo įtaka megztų medžiagų struktūrinėms ir fizikinėms savybėms**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Ugnė Bukauskaitė

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



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

Studijų programa:  
*6211FX007 Tekstilės ir aprangos technologija*

## **MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Studentui (-ei)

**Ugnei Bukauskaitei**

*(Vardas, Pavardė)*

### **1. Baigiamojo Projekto tema –**

Tvaraus skaitmeninio marginimo įtaka megztų medžiagų struktūrinėms ir fizikinėms savybėms

*(Lietuvių kalba)*

Influence of Sustainable Digital Printing on Structural and Physical Properties of Knitted Fabrics

*(Anglų kalba)*

### **2. Darbo tikslas ir uždaviniai –**

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

Uždaviniai:

1. Atlikti su darbo tematika susijusios literatūros analizę.
2. Nustatyti tiriamųjų megztų medžiagų sandaros rodiklius.
3. Nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką megztų medžiagų sandaros rodikliams.
4. Nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką megztų medžiagų laidumui orui.
5. Nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką megztų medžiagų sorbcinėms savybėms.
6. Palyginti nemargintų ir skaitmeniniu būdu margintų megztų medžiagų fizikinių savybių tyrimo rezultatus.

Studentas

Ugnė Bukauskaitė

2022-03-31

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Baigiamojo  
projekto vadovas

Ginta Laureckienė

2022-03-31

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Bukauskaitė, Ugnė. Tvaraus skaitmeninio marginimo įtaka megztų medžiagų struktūrinėms ir fizikinėms savybėms. Magistro baigiamasis projektas / vadovė lekt. Ginta Laureckienė; 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: mezginiai, laidumas orui, vandens absorbcija, skaitmeninis marginimas.

Kaunas, 2022. 71 p.

## Santrauka

Tekstilės gaminiams svarbios jų komforto savybės, nulemiančios dėvinčiojo sukuriama mikroklimatą, kuriam įtakos turi laidumas orui, vandens absorbcija ir drėgmės judėjimas per tekstilės gaminius. Tekstilės medžiagų skaitmeninis marginimas yra ekologiškas marginimo metodas, kurio taikymas leidžia sumažinti aplinkos taršą, praplėsti tekstilės medžiagų marginimo dizaino galimybes.

Šio darbo tikslas buvo ištirti ir nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką tekstilės medžiagų struktūrinėms ir fizikinėms savybėms. Projekte analizuota 10 skirtingos pluoštinės sudėties ir pynimų skersinių megztinių medžiagų prieš ir po skaitmeninio marginimo proceso. Tyrinėtos medžiagos iš medvilninių verpalų, medvilninių ir viskozės verpalų derinių su modalo verpalais, elastano gijiniais siūlais, metalizuotais siūlais. Tyrime naudotos medžiagos megztos lygiuoju skersiniu, sluoksniuotiniu, sluoksniuotiniu pamušaliniu, pamušaliniais pynimais. Tiriamieji mezginiai gauti bendradarbiaujant su įmone „Textilis“.

Tyrimo metu nemargintoms ir margintoms medžiagoms išmatuoti medžiagų horizontalieji ir vertikalieji tankumai, kilpos ilgis, storis, paviršinis tankis. Nemargintoms ir margintoms medžiagoms nustatytos fizikinės savybės – laidumas orui, dinaminė ir statinė vandens absorbcija, džiūvimo greitis. Tyrimai parodė, kad medžiagų laidumui orui, dinaminei ir statinei absorbcijoms, džiūvimo greičiui įtakos turi mezginių pluoštinė sudėtis, kilpos ilgis, akytumas, storis. Nustatyta vandens lašo dėmės ploto pokyčio priklausomybė nuo laiko. Taip pat nustatyta, kad tekstilės skaitmeninis marginimas žymaus poveikio medžiagų laidumui orui neturi. Atlikus laidumo orui tyrimą nustatyta, kad tiek prieš, tiek po skaitmeninio marginimo, didžiausiu laidumu orui pasižymėjo iš medvilninių verpalų lygiuoju skersiniu pynimu megztas mežginys. Mažiausiu laidumu orui pasižymėjo sluoksniuotiniu pynimu iš medvilninių verpalų ir elastano gijinių siūlų derinio mežtas mežginys. Dinaminės absorbcijos tyrimo metu nustatyta, kad intensyviausiai vandenį transportuoja pamušaliniais pynimais, iš medvilninių verpalų, modalo verpalų, elastano gijinių siūlų ir metalizuotų gijinių siūlų derinių mežti mežginiai. Neintensyviausia dinamine absorbcija pasižymėjo mežginys, numegztas lygiuoju skersiniu pynimu iš medvilninių verpalų. Atlikus statinės absorbcijos tyrimą, nustatyta, kad didžiausia statine vandens absorbcija pasižymėjo pamušaliniais pynimais mežti mežginiai, kurių mežgimui naudoti medvilninių verpalų, modalo verpalų, elastano gijinių siūlų ir metalizuotų gijinių siūlų deriniai. Mažiausia statine absorbcija pasižymėjo mežginiai iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų derinių. Atlikus džiūvimo greičio tyrimą, nustatyta, kad tiek iš nemargintų, tiek iš margintų mezginių intensyviausiai drėgmę garino iš medvilninių verpalų, modalo verpalų, elastano gijinių siūlų ir metalizuotų gijinių siūlų derinių pamušaliniais pynimais mežti mežginiai.

Bukauskaitė, Ugnė. Influence of Sustainable Digital Printing on Structural and Physical Properties of Knitted Fabrics. Master's Final Degree Project / supervisor lect. Ginta Laureckienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: knitted structures, air permeability, water absorption, digital printing.

Kaunas, 2022. 71 p.

### **Summary**

For textile products, such as garments, the comfort properties are important, for they influence the microclimate they create between the garment and the skin of the wearer, which is influenced by the air permeability, water absorption and moisture transportation through the product. Digital textile printing is an ecological textile printing method, the usage of which allows the reduction of environmental pollution and new opportunities for textile printing designs.

The purpose of this master's thesis is to research and determine the influence of digital textile printing on the structural parameters and physical properties of textile fabrics.

In this project, 10 fabrics of different fiber compositions and knitting patterns were analyzed prior and after applying the digital printing process. Fabrics were made from pure cotton, cotton and viscose fiber yarn in combinations with modal fiber yarn and elastane, metallic threads. The analyzed fabrics were knitted using the single jersey, plated (single jersey based), plated laid-in, laid-in patterns, using a circular weft knitting machine. The analyzed fabrics were provided by knitted and woven fabric production and digital printing company "Textilis".

During this research, the loop pitch, row height and loop length were calculated for unprinted fabrics. For unprinted and printed fabrics, the horizontal and vertical densities, thickness, area density were measured. The physical properties – air permeability, dynamic and static water absorption, drying rate – of the unprinted and printed fabrics were determined.

The conducted research shows that for unprinted and printed fabrics, the highest air permeability values were obtained from the fabric knitted from pure cotton yarn, using the single jersey pattern, the lowest air permeability values were obtained from fabrics knitted from a combination of cotton yarn and elastane threads, using the plated (single jersey based) pattern. Results of the dynamic absorption test show that the highest water absorbency values were obtained from fabrics knitted using the laid-in patterns, from combinations of cotton, modal yarns, elastane and metallic threads. The lowest dynamic absorption was observed in fabrics knitted from combinations of viscose yarn and elastane threads. The results of the static absorption test show that the highest absorption values were obtained from fabrics knitted using the laid-in patterns, using combinations of cotton, modal yarns, elastane and metallic threads. The lowest static absorption values were obtained from fabrics knitted from viscose yarn and elastane thread combinations. Results of the drying rate test show for both unprinted and printed fabrics, the highest drying rate values were observed in fabrics knitted using the laid-in patterns, from combinations of cotton, viscose yarns, elastane and metallic threads.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Santrumpų sąrašas .....</b>	<b>11</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>13</b>
1.1. Natūralios kilmės ir dirbtiniai celiulioziniai pluoštai .....	13
1.2. Megztinių medžiagų gamyba .....	16
1.3. Trumpa tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo istorija .....	18
1.4. Skaitmeninio tekstilės medžiagų marginimo procesas.....	19
1.5. Tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo dažai ir apdailos.....	22
1.6. Tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo pranašumai .....	24
1.7. Tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo tvarumas .....	27
<b>2. Tekstilės medžiagų fizikinės savybės .....</b>	<b>28</b>
2.1. Tekstilės medžiagų vandens absorbcija.....	28
2.2. Tekstilės medžiagų laidumas orui .....	30
<b>3. Tyrimo objektas.....</b>	<b>35</b>
<b>4. Metodinė dalis .....</b>	<b>38</b>
4.1. Mezginių sandaros rodiklių nustatymas .....	38
4.2. Mezginių fizikinių savybių nustatymas.....	39
4.3. Mezginių vandens absorbcijos tyrimo metodika.....	40
4.4. Duomenų statistinių rodiklių skaičiavimo metodika .....	42
<b>5. Tyrimų rezultatai.....</b>	<b>44</b>
5.1. Mezginių sandaros rodiklių nustatymas .....	44
5.2. Mezginių sandaros rodiklių pokyčiai po skaitmeninio marginimo .....	44
5.3. Mezginių fizikinių savybių nustatymas.....	47
5.4. Mezginių vandens absorbcijos nustatymas.....	51
<b>Išvados .....</b>	<b>64</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>64</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>72</b>
1 priedas. Tyrimų rezultatų publikavimas .....	72

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Tiriamųjų mezginių duomenys.....	35
<b>2 lentelė.</b> Pagrindinių tiriamųjų mezginių sandaros rodiklių vertės.....	44
<b>3 lentelė.</b> Mezginių kilpos ilgis ir horizontalusis bei vertikalusis tankumai prieš ir po skaitmeninio marginimo.....	45
<b>4 lentelė.</b> Mezginių storis prieš ir po skaitmeninio marginimo.....	47
<b>5 lentelė.</b> Nemargintų mezginių laidumo orui tyrimo rezultatai .....	48
<b>6 lentelė.</b> Margintų mezginių laidumo orui tyrimo rezultatai .....	48
<b>8 lentelė.</b> Lygiojo skersinio ir sluoksniuotinių pynimų nemargintų mezginių dėmės ploto pokyčio tyrimo empirinės lygtys ir apibrėžties koeficientai .....	52
<b>9 lentelė.</b> Sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniiais pynimai numegztų nemargintų mezginių dėmės ploto pokyčio tyrimo empirinės lygtys ir apibrėžties koeficientai .....	54
<b>11 lentelė.</b> Statinės vandens absorbcijos tyrimo rezultatai.....	58
<b>12 lentelė.</b> Mezginių masės kitimas džiūstant.....	61

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Medvilnės pluošto plaukelio skerspjūvio SEM nuotrauka [3] .....	13
<b>2 pav.</b> Lino pluošto plaukelio paviršiaus vaizdo SEM nuotrauka [5] .....	14
<b>3 pav.</b> Viskožės pluošto gijos SEM nuotrauka [7] .....	15
<b>4 pav.</b> Modalo pluošto plaukelių gijų (kairėje) ir skerspjūvio (dešinėje) SEM nuotrauka [8] .....	15
<b>5 pav.</b> Skersiniai mezginių pynimai [11] .....	16
<b>6 pav.</b> Metmeniniai mezginių pynimai [12] .....	17
<b>7 pav.</b> Lašo srautų palyginimas [14] .....	20
<b>8 pav.</b> Spausdintuvo galvutės su 64 angom vaizdas [14] .....	20
<b>9 pav.</b> Formavimo tik reikiamose vietose principinė schema [14] .....	21
<b>10 pav.</b> Pjezoelektrinės spausdintuvo galvutės veikimo principo schema [14] .....	21
<b>11 pav.</b> Principinė pjezoelektrinės tolydinio formavimo būdo spausdinimo galvutės veikimo schema [14] .....	22
<b>12 pav.</b> Medžiagos elgsena skaitmeninio marginimo metu: kairėje – be paruošiamosios apdailos, dešinėje – su paruošiamąja apdaila [14] .....	24
<b>13 pav.</b> Skaitmeninio marginimo galimybės [25] .....	25
<b>14 pav.</b> Marginta medvilninė medžiaga [24] .....	26
<b>15 pav.</b> Tradicinio tekstilės marginimo ir skaitmeninio tekstilės marginimo trukmės palyginimas [15] .....	26
<b>16 pav.</b> a – tirtų medžiagų laidumo orui priklausomybės nuo kilpos ilgio ir verpalų numerio grafikas, b – tirtų medžiagų priklausomybės nuo kilpos ilgio ir verpalų numerio grafikas [32] .....	29
<b>17 pav.</b> Tirtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos [33] .....	30
<b>18 pav.</b> E. Oner' o laidumo orui tyrimų rezultatai [35] .....	31
<b>19 pav.</b> Tiriamųjų mezginių siūlo klojimo schemas .....	36
<b>20 pav.</b> Lygiuoju skersiniu pynimu megzto mezginio <i>LS</i> dešinės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdas .....	36
<b>21 pav.</b> Sluoksniuotiniu (lygiojo skersinio bazėje) pynimu megztų mezginių dešinės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdai .....	37
<b>22 pav.</b> Pamušaliniiais pynimais megztų mezginių dešinės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdai .....	37
<b>23 pav.</b> Sluoksniuotiniu pamušaliniu pynimu megztų mezginių dešinės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdai .....	37
<b>24 pav.</b> Laidumo orui nustatymo prietaisas L14DR .....	40
<b>28 pav.</b> Mezginių tankumų $P_h$ ir $P_v$ pokytis po skaitmeninio marginimo .....	46
<b>29 pav.</b> Mezginių storio $b$ pokytis po skaitmeninio marginimo .....	47
<b>30 pav.</b> Mezginių pluoštinės sudėties įtaka laidumui orui .....	49
<b>31 pav.</b> Skaitmeninio marginimo ir pluoštinės sudėties įtaka tiriamųjų mezginių laidumui orui .....	50
<b>32 pav.</b> Lygiojo skersinio ir sluoksniuotiniiais pynimais nemargintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos diagrama .....	52
<b>33 pav.</b> Nemargintų lygiojo skersinio ir sluoksniuotiniiais pynimais megztų mezginių lašo dėmės nuotraukos .....	53
<b>34 pav.</b> Sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniiais pynimais megztų nemargintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos diagrama .....	54

<b>35 pav.</b> Nemargintų sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniais pynimais megztų mezginių lašo dėmės nuotraukos .....	55
<b>36 pav.</b> Margintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos rezultatai.....	56
<b>37 pav.</b> Margintų mezginių lašo dėmės nuotraukos.....	57
<b>38 pav.</b> Tiriamųjų mezginių statinė vandens absorbcija prieš marginimą .....	59
<b>39 pav.</b> Margintų ir nemargintų mezginių statinė vandens absorbcija.....	60
<b>40 pav.</b> Nemargintų mezginių drėgmės kitimo diagrama .....	62
<b>41 pav.</b> Margintų mezginių drėgmės kitimo diagrama .....	63

## Santrumpų sąrašas

### **Santrumpos:**

M – medvilnės pluoštas

PES – poliesterinis pluoštas

PAN – poliakrilnitrilinis pluoštas

VI – viskozės pluoštas

EL – elastomerinis siūlas

MO – modalo pluoštas

ME – metalizuotas gijinis siūlas

## Ivadas

Augantys vartotojų poreikiai, gerovė, rūpinimasis sveikata, klimato pokyčiais, kelia aukštesnius reikalavimus tekstilės medžiagų funkcionalumui, skatina naudoti naujas gamybos ir apdailos technologijas, gaminti naujos kartos medžiagas, išsiskiriančias savo savybėmis.

Tekstilės gaminių komfortabilumą lemia jų laidumas orui, vandens absorbcija, gebėjimas greitai džiūti. Šias savybes padeda užtikrinti natūralių ir / ar natūralios kilmės dirbtinių pluoštų parinkimas, taip pat ir akytų, tamprių, prie kūno formų prisitaikančių megztinių medžiagų naudojimas projektuojamam tekstilės gaminiui.

Literatūros šaltiniuose pastebėta, kad didžioji dauguma vandens absorbcijos tyrimų atlikta austiems gaminiams, o megztoms medžiagoms tirta mažai ir nėra išsamūs.

Tekstilės gaminio jutimiam komfortui taip pat svarbus jos marginimo procesas. Tekstilės medžiagų skaitmeninis marginimas – tai ekologiškas marginimo metodas, tekstilės marginimui pritaikytas nuo spaudos ant popieriaus. Šio metodo taikymas leidžia sumažinti tekstilės marginimui reikalingas elektros ir vandens sąnaudas, vandens taršą, taip sumažinant kenksmingą tekstilės marginimo poveikį aplinkai, kuris jaučiamas ir žmogui, kartu sumažinant ir neigiamus pašalinius poveikius žmogaus sveikatai, kurie atsiranda dėvint taršesniais marginimo metodais margintą aprangos gaminį.

Šiame tiriamajame darbe projektuojamos megztinės medžiagos, numegztos lygiuoju skersiniu, sluoksniuotiniu (lygiojo skersinio pynimo bazėje), sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniiais pynimais. Medžiagų mezgimui naudoti iš natūralių, natūralios kilmės dirbtinių pluoštų pagaminti verpalai: medvilniniai, viskozės, modalo, deriniuose su elastano, metalizuoto siūlo gijiniais siūlais.

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

Darbo uždaviniai:

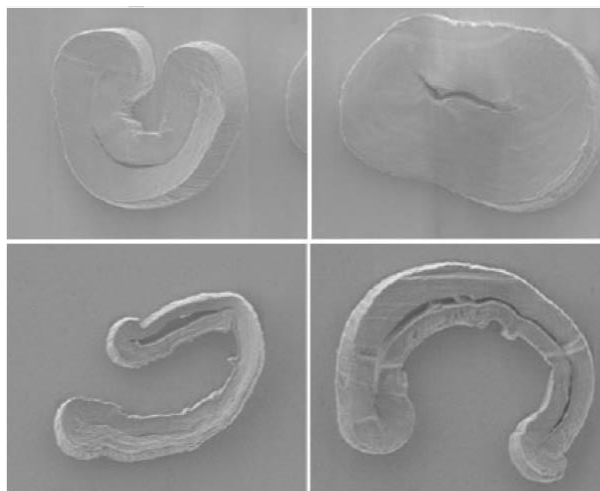
1. Atlikti su darbo tematika susijusios literatūros analizę.
2. Nustatyti tiriamųjų megztų medžiagų sandaros rodiklius.
3. Nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką megztų medžiagų sandaros rodikliams.
4. Nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką megztų medžiagų laidumui orui.
5. Nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką megztų medžiagų sorbcinėms savybėms.
6. Palyginti nemargintų ir skaitmeniniu būdu margintų megztų medžiagų fizikinių savybių tyrimo rezultatus.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Natūralios kilmės ir dirbtiniai celiulioziniai pluoštai

Žmonės natūralius pluoštus naudojo nuo priešistorinių laikų. Pluoštai dažnai klasifikuojami pagal jų cheminę struktūrą. Natūralūs pluoštai iš augalų yra celiulioziniai, o natūralūs pluoštai iš gyvūnų vilnos yra baltyminiai pluoštai. Natūralūs celiulioziniai pluoštai dar skirstomi į: sėklų pluoštus, pavyzdžiui, medvilnė, gaunama iš augalų sėklų, karnienos pluoštus, pavyzdžiui, linas, gaunamas iš augalo kamieno. Regeneruotų pluoštų gamybai galima naudoti įvairią žaliavą, kaip medvilnės pluošto plaukelius, kurie per trumpi verpalui sudaryti, medienos granules, kukurūzus, pieno baltymą, jūros dumblius. Šios medžiagos chemiškai apdirbamos taip, kad jas būtų galima ištirpinti ir performuoti į gijinius siūlus. Populiariausi regeneruoti pluoštai – viskozė, lajocelis, acetatas [1].

Medvilnės pluoštas – tai plaukeliai ant sėklų, kurie išimami iš sėklų dėžutės, kuri prasiveria kai pilnai susiformuoja, nužydėjusių ir nukritusių žiedų vietoje. Iš vienos dėžutės galima išgauti daugiau nei 250000 pluošto plaukelių. Medvilnės pluošto plaukeliai būna įvairaus ilgio, nuo trumpų, siekiančių aštuntadalį colio, kurie tolesniam procesui yra per trumpi, iki plonų, pustrčio colio ilgio siekiančių plaukelių. Trumpi plaukeliai, vadinami trumpuoju pluoštu, naudojami šiurkštiems tekstilės gaminiams, pvz., maišams gaminti. Vidutinio ilgio ir ilgi plaukeliai naudojami aukštos kokybės gaminiams gaminti. Medvilnės pluoštui natūraliai būdingos spalvos: beveik balta, kreminė, pilka. Aukštesnės kokybės, ilgų plaukelių medvilnės pluoštas baltesnis, nei trumpas pluoštas, bet norint išgauti tikrą baltą medvilnę ar dažyti grynomis spalvomis – pluoštą būtina balinti. Medvilnės pluoštas yra plokščios, kaspiną primenančios struktūros, kurią lengva atskirti žiūrint pro mikroskopą (žr. 1 pav.) [2].

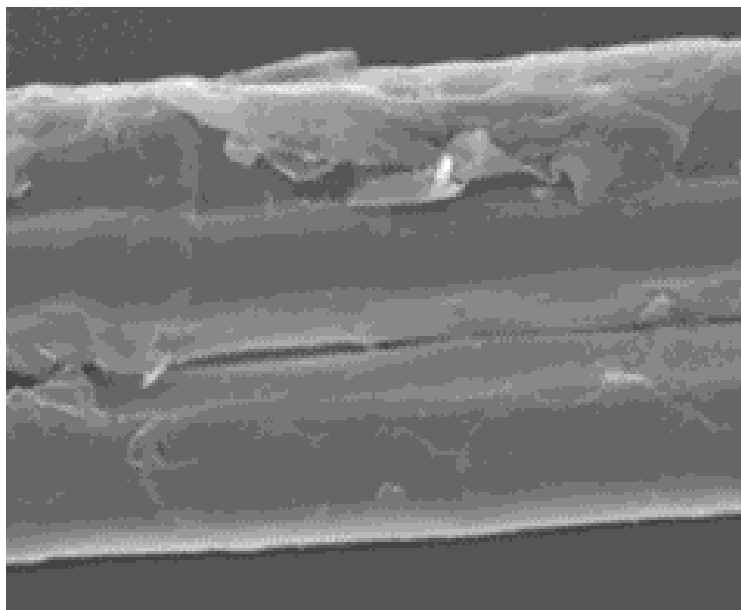


**1 pav.** Medvilnės pluošto plaukelio skerspjūvio SEM nuotrauka [3]

Kadangi medvilnė yra celiuliozinis pluoštas, tai ji pasižymi panašiomis komforto savybėmis ir išvaizda į kitus celiuliozinius pluoštus – lino bei regeneruotos celiuliozės. Minėtiems celiulioziniams pluoštams būdinga didelė absorbcija, žema šilumos izoliacija, gebėjimas vėsinti aukštos aplinkos temperatūrose. Medvilnę lengva dezinfekuoti, ji sugeria drėgmę, nekaupia statinio krūvio, retai dirgina odą ar sukelia alergijas, todėl ji tinkama medicininės paskirties gaminiams. Medvilniniai gaminiai nedžiūsta taip greitai, kaip lininiai ir šilkiniai. Medvilnės pluoštas labiau tinka vėsinančiai aprangai, kai karšta arba rengimuisi sluoksniais. Medvilnė linkusi pūkuotis, raukšlėtis, yra neatspari trinčiams, stipriai išbalinti medvilniniai gaminiai yra silpnesni ir ne

tokie ilgaamžiai, kaip nebalinti. Medvilniniai gaminiai yra degūs, juos gali pažeisti pelėsis, prakaitas, balikliai. Dažniausiai medvilnės pluoštas naudojamas mišiniuose su kitais pluoštais. Grynas, nemišytas su kitais pluoštais, medvilnės pluoštas naudojamas apatinio sluoksnio aprangos gaminiams, skirtiems dėvėti arti odos, taip pat ir sporto, aktyvaus laisvalaikio aprangai. Interjero tekstilėje medvilnė naudojama ir gryna, ir mišiniuose. Gaminami tokie gaminiai: patalynė, rankšluosčiai, antklodės, užuolaidos, apmušalai, užvalkalai, kilimai ir kt. [2].

Linai – celiuliozinis, karnienos pluoštas, gaunamas iš augalo kamieno, todėl jo išvaizda (žr. 2 pav.), komforto ir eksploatacinės savybės panašios į medvilnės ir regeneruotos celiuliozės pluoštų [4].

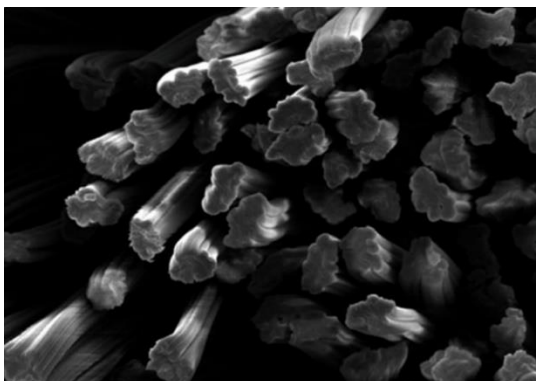


**2 pav.** Lino pluošto plaukelio paviršiaus vaizdo SEM nuotrauka [5]

Lino pluošto gaminiams būdingos savybės: didelė skysčių absorbcija, žemas šilumos izoliavimas, kūno vėsinimas aukštoje aplinkos temperatūroje. Linas pasižymi gebėjimu transportuoti drėgmę toliau nuo odos paviršiaus ir greičiau išdžiūti. Gaminiai iš lino pluošto nesipūkuoja, todėl tinka virtuvinėms šluostėms. Pluoštas yra dvigubai stipresnis už medvilnę, bet labai linkęs raukšlėtis. Raukšlėjimąsi mažina ilgesni, plonesni pluošto plaukeliai, tamprių siūlų įkomponavimas. Dažnai celiulioziniam pluoštam taikomos raukšlėjimąsi mažinančios apdailos. Nedažytam lino pluoštui būdingos spalvos – gelsva, pilka. Balta, ryškių atspalvių spalvos gaunamos pluoštą balinant. Smarkiai balinti pluoštai būna silpnai, greičiau susidėvi, nei nebalinti, dažyti be balinimo operacijos ar silpnai balinti. Liną dažyti sunku, nes pluoštas sunkiai priima dažus, spalva greitai blunka. Todėl lininiai gaminiai dažniausiai yra įprastos gelsvos, rusvos, pilkos spalvos. Lino pluoštas pasižymi dideliu šiluminiu atsparumu, šlapios būsenos yra stipresnis nei sausos, dėl to lengviau apdirbimas. Nors lino pluoštas yra celiuliozinis, jo struktūra yra didesnio kristališkumo, todėl šiam pluoštui būdingas didesnis trapumas [5], lyginant su kitais celiulioziniais pluoštais, pavyzdžiui, trintis lenkimo vietose gali nutraukti / sulaužyti pluošto plaukelius. Lininė tekstilė degi, ją gali pažeisti pelėsi, prakaitas, balinimas, cukrinis žvyninukas [4].

Viskozė – regeneruotos celiuliozės pluoštas, gaunamas chemiškai apdorojus natūralias medžiagas. Dažniausiai tam naudojamas medvilnės pluoštas, kuris yra per trumpas verpimui, medienos granulės, plaušas. Kiekvieno regeneruotos celiuliozės pluošto gamybos procesas kiek skiriasi, bet viskozės gamybai naudojama medienos granulės arba per trumpas medvilnės pluoštas. Šios

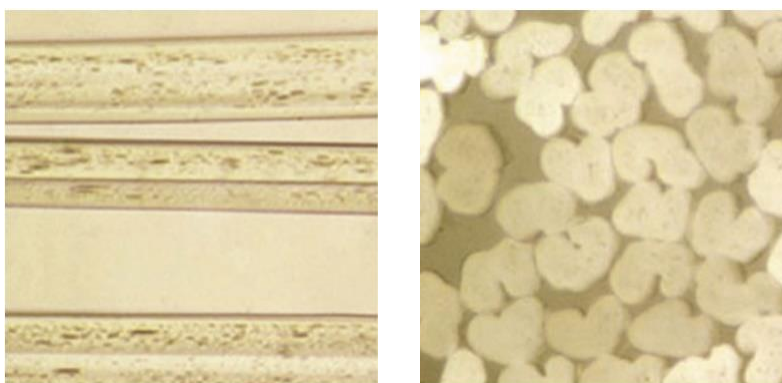
medžiagos apdirbamos įvairiomis cheminėmis medžiagomis, parinktomis pagal numatomą galutinį produktą. Medžiagos ištirpinamos iki celiuliozinio tirpalo, kuris leidžiamas pro ekstruderį, kurio skylutės imituoja šilkverpių angas, per kurias jie išleidžia šilką, ir išdžiūvęs tampa celiuliozinio pluošto gijomis (žr. 3 pav.) [6].



**3 pav.** Viskožės pluošto gijos SEM nuotrauka [7]

Viskozė pasižymi didele absorbcija, mažu šilumos sulaikymu, minkštu, odos neerzinančiu paviršiumi. Todėl šio pluošto gaminiai yra malonūs dėvėti prie odos šiltomis oro sąlygomis. Šį pluoštą galima formuoti taip, kad išorėje imituotų medvilnės, vilnos, šilko, lino pluoštus. Viskožė dažniausiai gaminama kaip trumpas tekstūruotas, nelygus pluoštas, kurio paviršius atspindi mažiau šviesos. Viskožės pluoštą lengva dažyti, tačiau spalva blunka, lengvai nudyta nuo pluošto paviršiaus. Su retomis išimtimis, viskozė labai neatspari ir neilgaamžė. Viskožė geriau dėvisi kai naudojamas sausas valymas, o ne buitinis skalbimas, nes šlapias pluoštas yra silpnas. Viskožė drabužių gamyboje dažnai naudojama gryna arba mišiniuose su kitais pluoštais. Populiariausi viskoziniai gaminiai – palaidinės, suknelės, kostiumai, sportiniai marškinėliai, darbo apranga, kelnės, įvairūs aksesuarai. Interjero gaminiuose viskozė dažniausiai naudojama mišiniuose su kitais pluoštais, pavyzdžiui, gaminant apmušalus, užuolaidas, užvalkalus, staltieses ir kt. Dėl didelio sugeriamumo tam tikros viskozės pluošto modifikacijos naudojamos megztiems gaminiams, apatiniam trikotažui, taip pat neaustiniams gaminiams, pavyzdžiui, šluostėms, higienos produktams, kosmetikos valymui skirtiems diskeliams, vienkartinėms sauskelnėms ir kt. Didelio stiprumo viskozės pluošto modifikacijos naudojamos padangų kordams gaminti [6].

Modalas – regeneruotos celiuliozės pluoštas, kurio gamybai naudojama buko medienos masė. Modalo pluošto plaukelių gijų ir skerspjūvio vaizdai pateikti 4 paveiksle [8].



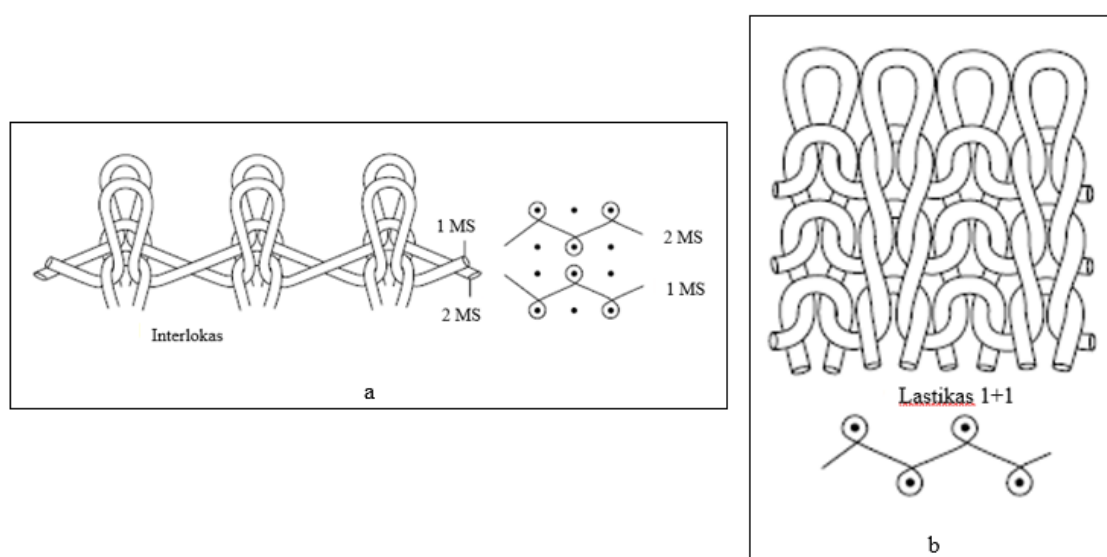
**4 pav.** Modalo pluošto plaukelių gijų (kairėje) ir skerspjūvio (dešinėje) SEM nuotrauka [8]

Kitaip nei kitiems regeneruotos celiuliozės pluoštams, pavyzdžiui, viskozei, kurią galima gaminti iš įvairių skirtingų medienos rūšių masės, modalo gamybai tinkama medienos masė išgaunama tik iš buko medienos. Pats pluošto gamybos procesas panašus į viskozės pluošto. Lyginant su viskoze, modalui būdingas didesnis stiprumas tiek sausoje, tiek šlapioje būsenoje, mažesnė ištįsa. Modalo pluoštas ypatingai panašus į šilką savo paviršiaus blizgumu, glotnumu. Jo paviršius švelnesnis, nei merserizuotos medvilnės. Modalo pluoštas naudojamas aprangos ir interjero tekstilės gaminiams, mišiniuose su medvilne, vilna, sintetiniais pluoštais, pavyzdžiui, elastanu. Aprangos gaminiuose medvilnės pluoštą galima pakeisti modalu. Taip pat iš šio pluošto galima gaminti sportui ir laisvalaikiui skirtą aprangą, apatinį trikotažą, kojines, patalynę, užuolaidų audinius, rankšluosčius, baldų apmušalus. Techninėje tekstilėje modalas naudojamas padangų kordų gamyboje, kuris yra armuojančiame kompozitinių medžiagų sluoksnyje [8].

## 1.2. Megztinių medžiagų gamyba

Megztinės medžiagos pasižymi tūsumu visomis kryptimis. Mezginių tūsumą dar labiau sustiprina parinktas mezginio pynimas, pavyzdžiui, lastikinio pynimo megztinė medžiaga pasižymi didesniu tūsumu eilučių kryptimi, nei stulpelių. Lyginant su austinėmis medžiagomis, iš megztinės medžiagos pagaminti aprangos gaminiai yra labiau prigludantys prie dėvinčiojo kūno. Verta paminėti, kad megztinės medžiagos atsparesnės raukšlių susidarymui, pasižymi didesniu tamprumu [10] ir komfortu dėvint, nei austinės medžiagos. Šios savybės lemia didesnę megztinių medžiagų populiarumą priglundančių, arti kūno dėvimų aprangos gaminių gamyboje [9].

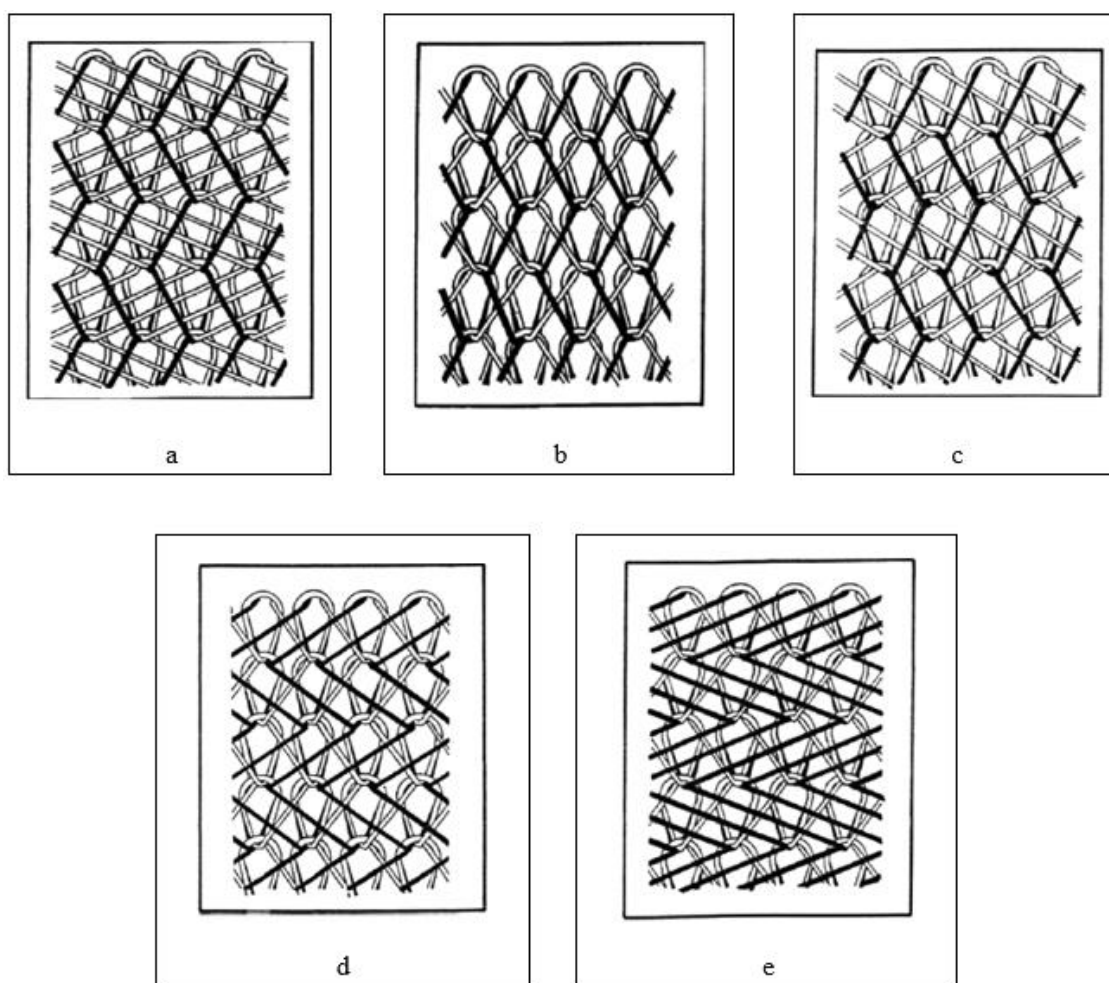
Megztinės medžiagos gali būti skersinės arba metmeninės [9]. Skersinės megztinės medžiagos mezgamos iš siūlo sudarant kilpas medžiagos plotyje, t. y., iš vieno siūlo sudarant vienos mezginio eilutės kilpas [11]. Skersinės mezgimo mašinos būna plokščiosios ir apskritosios, vienos ir dviejų adatinių. Jomis numegztos medžiagos tinkamos aprangos gaminių gamybai. Populiariausi mezginių pynimai – interlokinis, lastikinis, pamušalinis, sluoksniuotinis. Interlokinio pynimo (žr. 5 pav. a) medžiagos, kurios mezgamos dviejų adatinių mezgimo mašinomis, tinkamos apatinio aprangos sluoksnio gaminiams, o lastikinio pynimo (žr. 5 pav. b) medžiagos – tamprėms, lauko aprangai, gaminių rankogaliams bei apykaklėms ir kt. [10].



5 pav. Skersiniai mezginių pynimai: a – interlokinis, b – lastikinis 1+1 [11]

Skersinėmis apskritosiomis mezgimo mašinomis galima megzti iš plonų verpalų – tai leidžia, naudojant aukštos klasės mezgimo mašinas, kurios gali numegzti ypač plonas ir lengvas medžiagas. Plokščiosios skersinės mezgimo mašinos pasižymi plačiomis rašto sudarymo galimybėmis, taip pat megztos medžiagos lygumu, mezgimo proceso tikslumu, tačiau, lyginant su skersinėmis apskritosiomis mezgimo mašinomis, jų našumas mažesnis, nors jų adatinių plotis gali būti iki 2,5 metrų [9].

Metmeninės megztinės medžiagos mezgamos iš siūlų sudarant kilpas medžiagos ilgyje, t. y., iš vieno siūlo sudarant vieno mezginio stulpelio kilpas [11]. Pagal poreikį metmeninėmis mašinomis megzta medžiaga, galima numegzti tiek tamprias, tiek stabilias, megzti gaminiai gali būti plokščios medžiagos pavidalo, erdviniai, apvalūs. Mezgamos medžiagos plotis – iki 6 metrų, mezgant tinklinės struktūros medžiagas – iki kelių kartų didesnis. Vieni iš populiariausių metmeninių pynimų – trikotinis-šarmė, trikotinis-trikotinis, trikotinis-gelumbinis, gelumbinis-trikotinis, šarmė-trikotinis (žr. 6 pav.) [12].



**6 pav.** Metmeniniai mezginių pynimai: a – trikotinis-šarmė, b – trikotinis-trikotinis, c – trikotinis-gelumbinis, d – gelumbinis-trikotinis, e – šarmė-trikotinis [12]

Metmeninių mezginių asortimento pagrindą sudaro apatinių drabužių puošybai skirti nėriniai, užuolaidos, taip pat ir funkcinės tekstilės gamybai naudojamos medžiagos – daugiausia mezginiai, erdvinės struktūros gaminiai čiužiniams, batų įdėklams, šalmams, šilumą izoliuojančiai dangai ir kt. [9].

### 1.3. Trumpa tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo istorija

Skaitmeninio marginimo technologija sukurta ir plėtota orientuojantis į popieriaus bei kitų lygių paviršių marginimą. Technologijoms tobulėjant, atsirado galimybė jas pritaikyti kitų paviršių marginimui.

Pirmą kartą skaitmeninio marginimo procesas tekstilės gaminių marginimui taikytas 7-ajame dešimtmetyje – kompanija *Miliken* patentavo spausdintuvą, kuris impulsinio oro srauto pagalba ant medžiagos paviršiaus užnešdavo dažų lašelius. Naudojantis šia technologija, buvo numarginti pirmieji tekstilės gaminiai – kilimai, 1975 m. *Miliken* pradėjo masinę skaitmenine spauda margintų kilimų gamybą [13]. Šios pirmosios skaitmeninio marginimo mašinos tekstilei buvo tiesiogiai pritaikytos naudojant skaitmeninės spaudos marginimą ant popieriaus. Pagrindinis jų skirtumas nuo tuomečių skirtų spaudai ant popieriaus – naudojami dažai. Dažams reikėjo naujų cheminių sudėčių, tinkamų būtent skaitmeniniam marginimui ant tekstilės [14].

Pirmoji skaitmeninio marginimo mašina, skirta tekstilės medžiagų marginimui, pristatyta 1991 metais. Gamintojo *Stork* mašina „TruColor“ sukurta modifikuojant *Hertz* tolydinio srauto principą. Marginimui buvo panaudoti ypatingai gryni gamintojo *Zeneca* dažai. Marginimo dizainas projektuotas su CAD programine įranga, medžiagos marginimui nereikėjo jokių šablonų, naudoti aktyviniai dažai leido margintus bandinius garinti, skalbti [15].

1995 metais spaudai ant popieriaus skirtų spausdintuvų gamintojas *ENCAD*, po atliktų rinkos tyrimų, nustatė, kad tekstilės pramonė yra tinkama niša jų gaminamiems plataus formato spaudai ant popieriaus skirtiems spausdintuvams. Bandytas reikšmingos sėkmės nepasiekė dėl ribotos spalvų gamos ir dažų nepatvarumo, tačiau šio gamintojo spausdintuvai buvo pradėti naudoti bandomųjų medžiagų marginimui. Prie pramoninės paskirties skaitmeninio tekstilės medžiagų marginimo įrenginio technologinio sprendimo paieškų prisijungė ir kiti spaudai ant popieriaus skirtų spausdintuvų gamintojai. Tai buvo sunku, nes tuometinė spausdintuvų galvučių technologija netiko pramoniniam naudojimui, tad reikėjo iš esmės naujos spausdintuvo galvučių technologijos, aplink kurią būtų projektuojamas likęs įrenginys. Rinkos susidomėjimas buvo mažas, nes technologija buvo nauja, dar neįrodžiusi savo ilgaamžiškumo ir aktualumo. Spartesnę technologijos vystymąsi taip pat stabdė tuomet spaudai naudoti dažai – jie buvo skirti spaudai ant popieriaus, todėl buvo nepakankamai patvarūs marginimui ant medžiagos. Problemų kėlė ir pačios marginamos medžiagos savybės – lyginant su popieriumi, tekstilės medžiagos yra labai tamprios, jų struktūra akyta [15].

Tuo tarpu tekstilės pramonė neskubėjo išbandyti naujos, dar plačiai nepaplitusios technologijos. Neryžtingumą galima pateisinti – tuometis skaitmeninis tekstilės medžiagų marginimas buvo lėtas procesas, su mažesne galima spalvų gama – tik CMYK spalvos – ir medžiagoms reikėjo specialių paruošiamųjų apdailų, kad būtų pakankama marginio kokybė. Taip pat buvo apribotos medžiagos, ant kurių buvo galima marginti – procesui tiko tik specialiai įsigytos medžiagos, nebuvo galimybės marginti ant savo pagamintos tekstilės, taip pat netiko tampiųjų mezginių ir / ar funkcinės tekstilės marginimui. Nepatraukliai atrodė ir technologijos ribojamas partijos dydis – vienos marginamos partijos ilgis turėjo apsiriboti 9 – 14 metrų ilgiu. Proveržį pasiekė tuo metu mažai žinoma Japonijos kompanija *Mimaki*. Kompanija sukūrė ir 1999 metais ITMA parodoje pristatė savo gamybos TX-1600 modelio tekstilės skaitmeninio marginimo įrenginį, galintį spausdinti 7 spalvomis, pasiekiantį 720 dpi raišką ir po numarginimo įriečiantį medžiagą į naują veleną. Išvardinti punktai garantavo

naujajam įrenginiui sėkmę tekstilės pramonėje. Šio gamintojo antros kartos TX2 modelio skaitmeninio tekstilės medžiagų marginimo įrenginiai galėjo marginti 5 kartus greičiau, nei pirmos kartos modelis, ir naudoti 2 skirtingus dažų kompleksus. Tačiau variantas buvo netobulas – *Mimaki* įrenginyje naudojama spausdintuvo galvutė galėjo naudoti tik mažo klampumo dažus, todėl įrenginiai buvo netinkami marginimui pigmentiniais dažais. Taip pat netiko didelėms partijoms marginti, nes pasirinkta spausdintuvo galvutė greitai susidėvėjo [15].

Laikui bėgant, buvo sukurti nauji skaitmeniniam tekstilės medžiagų marginimui skirti dažai – praplatėjo spalvų gama, atsirado net fluorescencinių – sporto aprangos asortimento marginime paklausių – spalvų dažų. Skaitmeninis tekstilės medžiagų marginimas įgavo ekologiško marginimo būdo reputaciją – proceso metu naudojamas minimalus kiekis vandens ir elektros [13]. Remiantis 2014 metų duomenimis, 51 proc. šiuo marginimo būdu margintų gaminių yra marginti pigmentiniais dažais, kurie yra laikomi ekologiškiausiais [14].

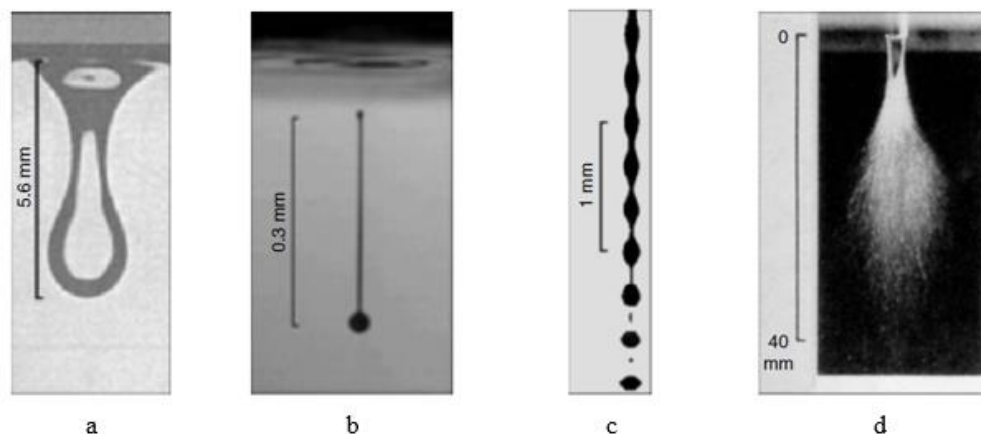
#### **1.4. Skaitmeninio tekstilės medžiagų marginimo procesas**

Tekstilės skaitmeninio marginimo procesas iš principo primena lašantį čiauptą – vanduo laša ant plokščio paviršiaus. Jei čiaupto vieta ir judėjimas yra valdomi – vandens lašai gali sudrėkinti medžiagą valdomu būdu, t. y., ne chaotiškai. Didinant kontrolę, pavyzdžiui, valdant ar lašas nulašės, ar ne, šis pavyzdys dar tiksliau atspindi skaitmeninio tekstilės medžiagų marginimo esmę. Skaitmeninis tekstilės medžiagų marginimas paremtas slėgio veikiamo dažo lašelių srauto formavimu. Skaitmeninio tekstilės medžiagų marginimo metu skystų dažų mikrolašai srautu purškiami ant tekstilės medžiagos paviršiaus tiksliai nustatytoje vietoje, taip sukuriant piešinį. Funkcinis proceso principas toks, kad piešinys, sukurtas naudojant programinę įrangą ir / ar gautas skenuojant nuotrauką ar piešinį, perkeliamas ant medžiagos paviršiaus, naudojant tekstilės skaitmeninio marginimo mašiną. Proceso metu dažai purškiami iš spausdintuvo galvutėse esančių angų, purškimas vyksta tiesiai ant tekstilės medžiagos paviršiaus, procesui nereikalingi šablonai. Svarbiausi spausdintuvo komponentai yra spausdinimo galvutė ir angos, kurių kiekvienai spalvai naudojama po keletą. Angos yra po 10–100 mikrometrų skersmens, jas naudojant pasiekama 720 dpi spausdinimo raiška. Per sekundę lašinama nuo tūkstančio iki milijono dažų lašelių. Pagrindiniai tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo sistemos elementai [14, 17–20]:

1. Viena arba daugiau spausdintuvo galvučių, sukuriančių srautus mikroskopinių dažų lašelių ir nukreipiančių juos į reikiamą vietą medžiagos paviršiuje.
2. Įrenginys, kuris tiekia medžiagą po spausdintuvo galvutėmis, turi užtikrinti jos sklaidų tiekimą, net ir trapioms ar nestabilių matmenų medžiagoms, pvz., mežginiams, plonam šilkui. Jei yra poreikis, tai mašina turi galėti medžiagą pakaitinti ir išdžiovinti ar stabilizuoti prieš įriečiant ją į ruloną. Įrietimo metu turi būti palaikomas vienodas medžiagos įtempis.
3. Apdailos po tekstilės medžiagos marginimo: termofiksacija, garinimas, plovimas. Procesai panašūs į naudojamus po tradicinio marginimo, bet jie turi būti pritaikomi daug mažesnėms numargintoms partijoms ar net pavieniams egzemplioriams.
4. Programinė įranga, skirta marginimo įrenginiui valdyti, skaitmeniniam piešiniui apdoroti ir paversti į elektrinius signalus / impulsus, kurie valdo spausdintuvo galvutę.
5. Skaitmeninio marginimo dažai, sudaryti pigmentų ir / ar kitų dažiklių pagrindu, kurie turi būti itin smulkiai malti ir griežčiau filtruoti, nei reikalaujama iš tradicinių marginimo būdų. Skaitmeninio marginimo dažai turi būti gaminami itin tikslaus klampumo, pasižymėti pastoviu paviršiaus įtempium, tam tikru elektriniu laidumu, reaguoti į temperatūrą ir ilgaamžiškumą, kad nepradėtų augti pelėsis.

6. Marginama medžiaga, kuriai reikia paruošiamųjų apdailų ar specialaus paruošimo, kad būtų gautas kokybiškas dažinys. Paruošimo procesai turi būti suderinami su numatomomis apdailomis po marginimo ir su planuojama gaminių paskirtimi.

Skaitmeninio marginimo metu dažų lašai daug mažesni, nei pavyzdyje minėto vandens iš čiaupo. Didinant dažų srauto greitį, lašų formavimo sistema keičiasi iš lašinimo tik reikiamose vietose (*Drop-on-Demand Ink Jet (DOD)*) į tolydinį (*Continuous Ink Jet (CIJ)*), dar didinant – vyksta dažų srauto atomizacija, rodanti, kad dažų srauto greitis toks didelis, kad pavienių lašų suvaldyti nebeįmanoma. Srauto greičio įtaką lašų formavimui iliustruojantys paveikslėliai pateikti 7 paveiksle [14].



**7 pav.** Lašo srautų palyginimas: a – lašančio čiaupo, b – tik reikiamose vietose (*DOD*), c – tolydinis (*CIJ*), d – atomizacija [14]

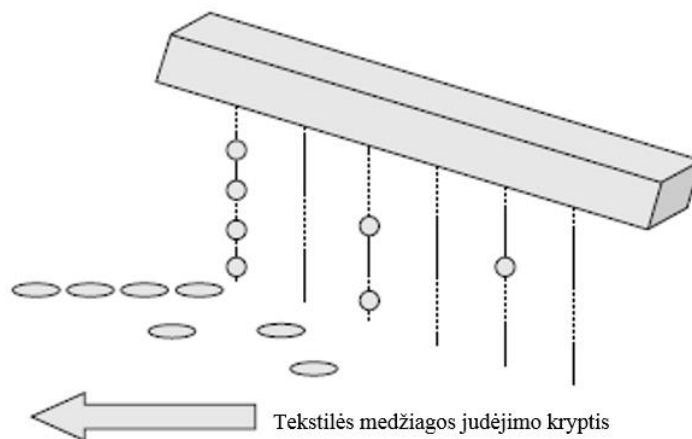
Pagrindinės tekstilės skaitmeninio marginimo sistemos yra tolydinio formavimo (*CIJ*) ir formavimo tik reikiamose vietose (*DOD*), pastarasis skirstomas į pjezoelektrinę ir terminę (*TIJ*). Pagrindinis šių grupių skirtumas – tolydinio (*CIJ*) formavimo būdu medžiagos paviršių pasiekia tik dalis suformuotų lašelių, likę surenkami ir panaudojami iš naujo. Reikiamose vietose (*DOD*) – lašeliai formuojami tik tada, kai jų reikia. Kiekviena formavimo sistema turi tik jai naudojamas specialias spausdintuvų galvutes. Kaip atrodo viena spausdintuvo galvutė, turinti 64 angas, parodyta 8 paveiksle [14, 19, 21].



**8 pav.** Spausdintuvo galvutės su 64 angom vaizdas [14]

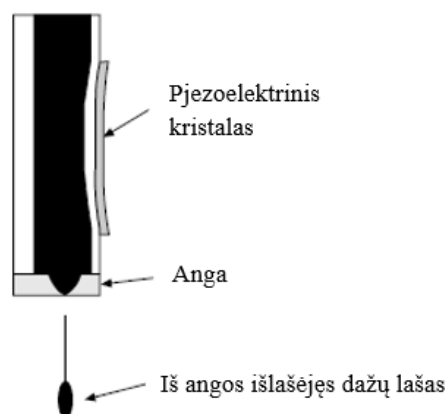
Formavimo reikiamose vietose (*DOD*) sistemoje, dažų lašeliai sudaromi ir lašinami tik tose audinio vietose, kur jų reikia. Lašelių sudarymui reikalingas elektrinio lauko arba šiluminis poveikis, dėl kurio reikiamose vietose pradėtų lašėti dažai. Dažų poreikį nurodo su marginimo įrenginiu sujungta

programinė įranga. Principinė formavimo tik reikiamose vietose (*DOD*) sistemos schema pateikta 9 paveiksle [14, 17].



**9 pav.** Formavimo tik reikiamose vietose principinė schema [14]

Formavimo tik reikiamose vietose (*DOD*) būdui naudojamos terminės arba pjezoelektrinės spausdintuvų galvutės. Terminėse galvutėse lašų formavimas vyksta dėl šiluminio impulso – galvutėje pakaitinamas mažas kiekis dažų, iš jų susidaro burbulas, kuris sprogtas. Šilumos impulsas vyksta 2–10 mikrosekundžių, impulso metu arčiausiai šildytuvo esantys dažai staigiai įkaista ir išgaruoja, taip sudarant burbulą. Burbulo dydžio kitimas sukelia slėgio pokytį pačiuose dažuose, dėl kurio dalis dažų išvarva pro angą. Šiluminiam impulsui pasibaigus, burbulas nuslūgsta, dažai atitraukiami nuo angos ir nustoja pro ją lašėti. Terminės spausdintuvų galvutės nebrangios, naudoja vandens pagrindo dažus ir sudaro mažo skersmens lašelius. Pjezoelektrinių spausdintuvo galvučių veikimas pagrįstas pjezoelektrinių medžiagų deformavimu – šios medžiagos deformuojasi veikiamos elektrinio lauko. Pjezoelektrinių spausdintuvų galvučių dažų talpa iš dalies sukonstruota iš pjezoelektrinės medžiagos, todėl talpos tūris pasikeičia jį veikiant elektriniu lauku. Elektrinis laukas sukuriamas periodiškai, kas kelias mikrosekundes. Sumažėjus talpos tūriui, per angą išspaudžiamas lašas dažų. Išjungus elektrinį lauką, talpa sugrįžta į pradinį savo tūrį, pro angą nustoja lašėti dažai (žr. 10 pav.) [14, 20].

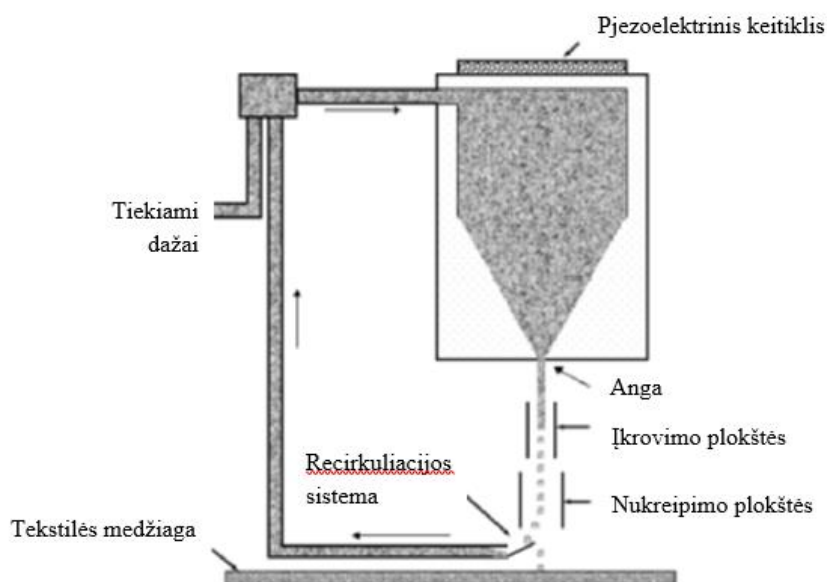


**10 pav.** Pjezoelektrinės spausdintuvo galvutės veikimo principo schema [14]

Pjezoelektrinės spausdintuvų galvutės gali naudoti bet kokius dažus ir labiausiai tinka dideliems marginamos medžiagos kiekiams. Terminių ir pjezoelektrinių spausdintuvų galvučių minusas – jomis galima sudaryti tik labai mažus lašelius, todėl reikia labai didelio skaičiaus angų, kad būtų

pasiektas patenkinamas spausdinio rezultatas [20]. Rečiau naudojamos elektrostatinės spausdintuvų galvutės. Šios galvutės naudoja mažą slėgį, kad kiekvienoje angoje suformuotų lašo meniską. Lašo išstūmimui naudojama elektrostatinė jėga. Procesas vyksta greičiau, nei kitais minėtais būdais, tačiau spausdinio raiška žemesnė, technologijos pritaikomumas irgi mažesnis [14].

Tolydinis (*CIJ*) formavimo būdas lašelius sudaro ištisai, jų srautas pastovus [17], bet medžiagos paviršių pasiekia tik spausdiniui reikalingi lašeliai. Tai pasiekama suteikiant lašeliams skirtingus krūvius [20]. Pjezoelektrinio keitiklio pagalba spausdintuvo galvutės anga veikiama aukšto dažnio vibracijų (0,5-1.0 MHz). Srautui ištekėjus iš angos ir tekant pro įkrovimo plokštę, kur paveikiamas kelių tūkstančių voltų elektros srove, jis skaidosi į lašus, lašams suteikiamas krūvis, tarp lašų susidaro apie 50 mikronų atstumas. Tolesnis lašų judėjimas valdomas nukreipimo plokštėmis, elektrostatinė jėga veikiančiomis lašus ir valdančias jų lašėjimo kelią. Keičiant dažų srautą veikiančią elektros įtampą, kinta nukreiptų lašų nukeliamas atstumas [14, 19]. Principinė pjezoelektrinės tolydinio formavimo būdo spausdintuvo galvutės veikimo schema pateikta 11 paveiksle [14].



**11 pav.** Principinė pjezoelektrinės tolydinio formavimo būdo spausdinimo galvutės veikimo schema [14]

Tolydiniai spausdintuvai (*CIJ*) dar skirstomi į dvilypio (*binary*) ir daugialypio nukreipimo (*multi-deflection*). Dvilypio nukreipimo spausdintuvai yra brangūs ir nepritaikyti darbui su spalvomis. Daugialypio nukreipimo yra pigesni, gali sudaryti didesnius lašelius, tinkami naudoti kelių rūšių dažams, todėl yra tinkami tekstilės marginimui [20].

Tolydinio (*CIJ*) ir tik reikiamose vietose (*DOD*) formavimo sistemas bandoma sujungti kuriant impulsines spausdintuvų galvutes. Šios rūšies galvutės sukuria srautą, kuris greitai skaidosi į lašus. Pats srautas ne tolydinis, o impulsinis, sukuriamas tik tuomet, kai jo reikia pagal piešinį ir tuo panašus į marginimą tik reikiamose vietose (*DOD*). Tokiai technologijai nereikalingas krūvio suteikimas lašams, nereikalingas jų elektrostatinis nukreipimas [14].

### 1.5. Tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo dažai ir apdailos

Tekstilės skaitmeniniam marginimui naudojami tradiciniams marginimo būdams sukurti, bet skaitmeniniam marginimui pritaikyti dažai: aktyvieji, dispersiniai, rūgštiniai, pigmentiniai. Prieš

atliekant skaitmeninį marginimą, didžiajai daliai medžiagų reikalingos paruošiamosios apdailos. Receptūros apdailoms kuriamos individualiai, pritaikant pagal marginamą medžiagą ir galutinio gaminio paskirtį. Apdailos specifiką nulemia naudojami dažai [14].

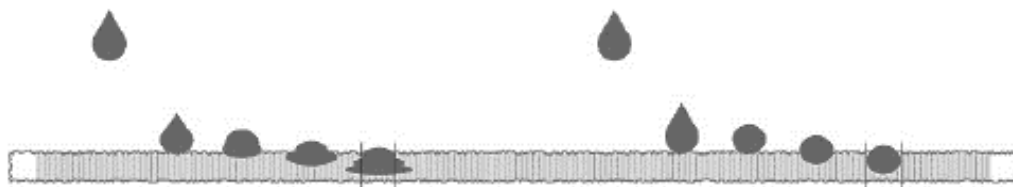
Aktyvieji dažai skaitmeninio marginimo metu naudojami medžiagoms iš celiuliozinių pluoštų marginti. Apdailos reikalingos tiek prieš, tiek po skaitmeninio marginimo proceso. Paruošiamosios apdailos metu, tekstilės medžiaga apdorojama šarmu, medvilninės medžiagos atveju – galima atlikti merseerizaciją. Po marginimo reikalinga dažų fiksacija karštu oro srautu arba garais, po fiksacijos būtinas plovimas aukštoje temperatūroje, kad būtų pašalinti neužsifiksavę dažų likučiai. Vandens pagrindo dažus reikia fiksuoti karštais garais, karšto oro srautu, išplauti ir išdžiovinti. Fiksacijai naudojamas garinimas po dažymo taip pat turi įtakos dažinio kokybei – mažiau dažiklio išplaunama. Marginant medžiagas, kurių sudėtyje yra poliesterinio pluošto, galima jos paviršių apdirbti specialia, t. y., hidrofilinį paviršių suteikiančia apdaila, kuri pagerintų poliesterio dažymą aktyviniais dažais. Marginant rūgštiniais dažais, taip pat reikalingos apdailos prieš ir po marginimo. Po marginimo būtina dažų fiksacija karštais garais ir medžiagos plovimas nefiksuotų dažų likučiams pašalinti. Dispersiniai dažai, kaip ir tradicinio marginimo metu, naudojami medžiagoms iš poliesterinio pluošto, kurioms dėl pluošto hidrofobiškumo netinka vandens pagrindo dažai. Skaitmeninio marginimo technologiją ir dispersinius dažus taip pat galima naudoti sublimacinio šablono gamybai. Rūgštiniai dažai, kaip ir tradicinio marginimo metu, naudojami medžiagoms iš baltyminio ir poliamidinio pluoštų [14, 18].

Pigmentiniai dažai tinkami medžiagoms iš visų pluoštų marginti, labai tinka marginimui ant medvilnės ir regeneruotos celiuliozės pluoštų. Marginant pigmentiniais dažais, paruošimo apdailos ir plovimas po marginimo nebūtinai, reikia tik karšto oro fiksacijos, tai sutrumpina gamybos laiką. Taip yra todėl, kad kai kuriais atvejais paruošimo apdailos medžiagas galima iš karto įmaišyti į dažus. Šie dažai yra draugiški aplinkai, todėl yra bene populiariausi tekstilės marginime. Kitaip nei kiti išvardinti dažai, pigmentiniai dažai gali marginti medžiagas balta, metalo spalva, marginio spalvos vienodai kokybiškos marginant visų pluoštų medžiagas, bet turi ir minusų – pigmentai netirpūs vandenyje, neturi jokio giminingumo su tekstilės pluoštu, todėl tekstilės medžiagos paviršiuje fiksuojami rišikliais, taip pat gali užkimšti spausdintuvo galvučių angas. Rišikliai ant medžiagos paviršiaus gali būti leidžiami iš jiems paskirtų spausdintuvo galvutės angų arba užnešami po marginimo. Dažniausiai šiam tikslui naudojamas akrilo ko-polimeras, kuris ant medžiagos paviršiaus suformuoja plėvelę. Plėvelė duoda marginiui reikalingą patvarumą, bet taip pat pakeičia numargintos medžiagos grifą – ji tampa šiurkštesnė, kietesnė. Marginimą pigmentais taikant skaitmeninei spaudai, kurios metu kuriant raštą ir derinant pigmentais padengtas ir nepadengtas medžiagos vietas, mažiau pastebimas neigiamas procesui reikalingų rišiklių poveikis. Skaitmeniniam marginimui taip pat gali būti naudojami aliejaus ir / ar fazę keičiančio pagrindo, nuo UV spinduliuotės poveikio kietėjantys dažai [13, 14, 15, 18, 22, 23].

Tam, kad tekstilės medžiagos skaitmeninis marginimas vyktų sėkmingai, naudojami dažai turi atitikti tam tikrus reikalavimus. Dažų klampumas turi būti toks, kad jų tinkamas kiekis pritekėtų į spausdinimo galvučių angas, kitaip lašų sudarymui pakenks angose likęs oras, taip pat toks, kad dažai savaime neištekėtų pro angą. Klampumas veikia pačio lašo greitį – didesnis klampumas lėtina lašų lašinimo greitį. Taip pat svarbu sugebėti suformuoti reikiamo dydžio lašus, nes kitaip prastėja spausdinimo kokybė. Jei lašas krenta per lėtai, tai aplinkoje judantis oro srautas gali nukreipti jį nuo reikiamos vietos ant medžiagos. Marginant pigmentiniais dažais ypač svarbus dažų grynumas ir dalelių juose dydis. Dalelės turi neužkimšti spausdintuvo angų, todėl išfiltruojamos didesnės nei 0,2

mikrono. Dažų paviršiaus įtempis turi būti toks, kad dažas sudrėkintų tiekimo kapiliarus, pratekėtų pro angą ir suformuotų tinkamos formos lašą. Dažų elektrinis laidumas – savybė svarbi tolydinio (CIJ) marginimo spausdintuvo galvutėms, dėl jų naudojamo elektrostatinio lašų nukreipimo. Dažas turi gebėti kaupti krūvį, kitaip nebus įmanoma atrinkti reikiamų ir nukreipti nereikalingų lašų. Dažų gebėjimas putoti – dažuose turi susidaryti kuo mažiau burbuliukų, kurie apsunkintų lašų formavimą. Pasirinkti dažai turi būti priderinti prie medžiagos, kuriai parinktos ir suteiktos paruošiamosios apdailos. Ant medžiagos paviršiaus užneštas tirštiklis turi neleisti dažų lašeliams išsilieti. Dažai turi būti patvarūs, atlaikyti baigiamąsias apdailas. Eksploatuojant turi būti atsparūs trinčiams, sausam valymui, skalbimui, šviesai, turi nepakeisti medžiagos grifo [14, 18, 23].

Pagrindinė paruošiamosios apdailos paskirtis – stabdyti dažų migraciją gilyn į medžiagą, kai jie patenka ant medžiagos paviršiaus. Skaitmeninio marginimo atveju, reikalingas medžiagos paruošimas marginimui, jos paviršių padengiant tirštikliu, kuris pagerintų dažų absorbciją ir neleistų jiems įsigerti į kitą pusę. Kitaip žemo klampumo dažai, patekę ant medžiagos paviršiaus, išsilies, per ją persigers. 12 paveiksle pateikta situacijos iliustracija – kairėje pusėje medžiaga be paruošimo apdailos, dažai persigeria, išsilieja. Dešinėje – su paruošimo apdaila, dažai įsigeria į medžiagos paviršių neišsiliedami [14].

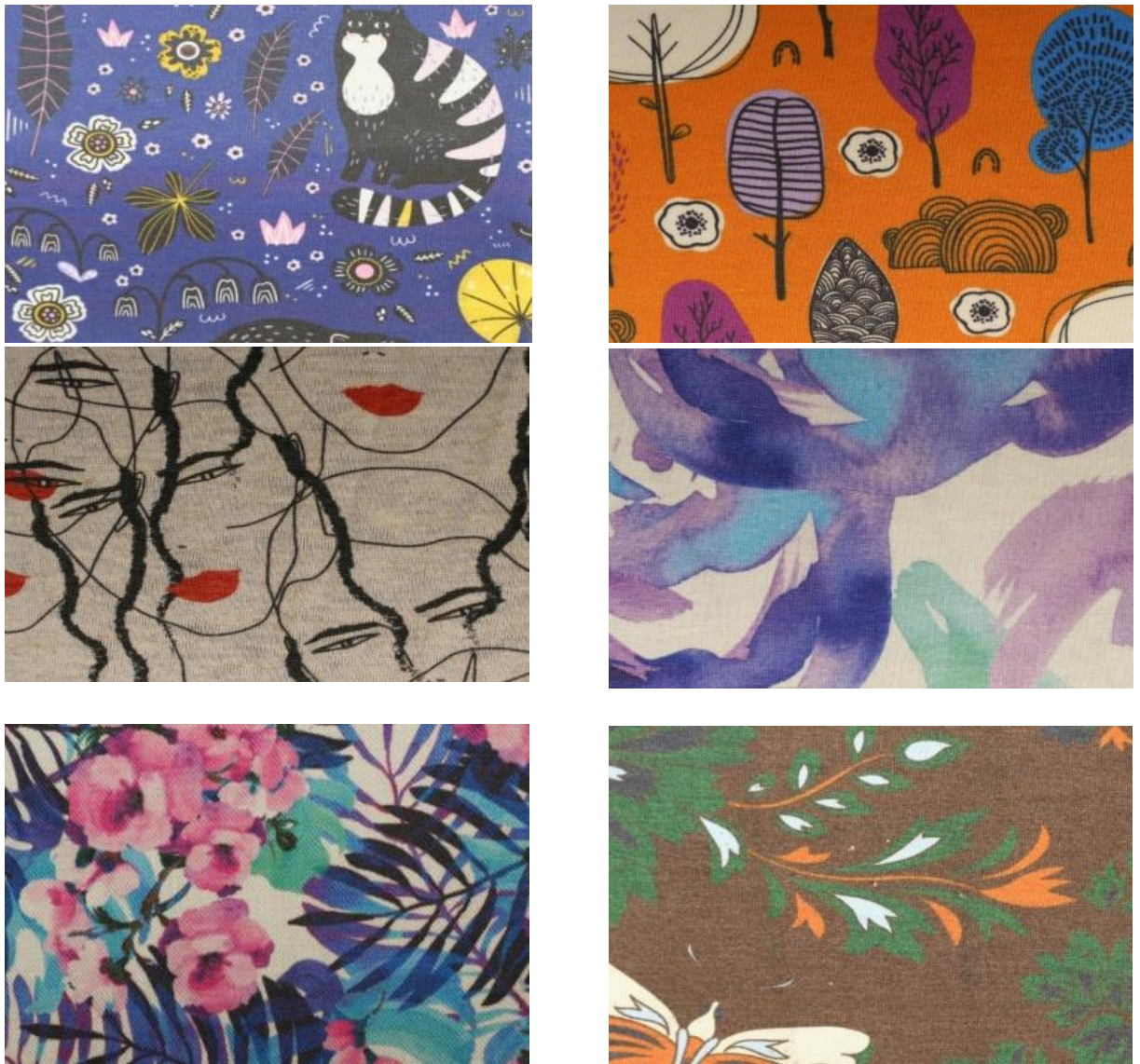


**12 pav.** Medžiagos elgsena skaitmeninio marginimo metu: kairėje – be paruošiamosios apdailos, dešinėje – su paruošiamąja apdaila [14]

Nestabilių matmenų medžiagoms – pavyzdžiui, mezginiams, ypač ploniems audiniams – reikalingas standinantis rišiklis, padedantis sklandžiai tiekti medžiagą po spausdintuvo galvutėmis. Kitos naudingos paruošimo apdailos – balinimas ir svilinimas. Svilinimo metu nuo medžiagos paviršiaus pašalinami tiksliai dažų užlašinimui trukdantys ir nepageidaujamą spalvų susiliejimą galintys sukelti pūkai. Kartais pastebimas neigiamas paruošimo apdailos poveikis – medžiaga gali sukietėti, todėl ją gali tekti nušveisti. Kartais neigiamų poveikių gali ir nebūti, arba jie gali būti laikomi teigiamais – pavyzdžiui, poliesterinio pluošto medžiagoms gali pagerėti drapiravimasis [14, 18].

### **1.6. Tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo pranašumai**

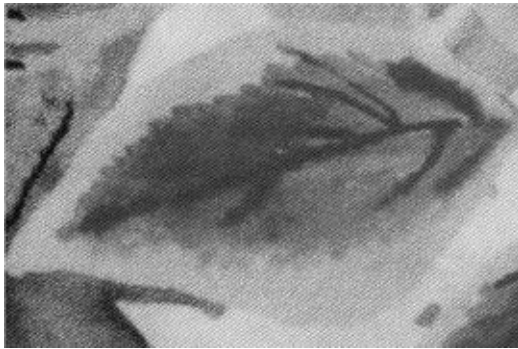
Didėjantį susidomėjimą skaitmeniniu tekstilės marginimu lemia jo pranašumai. Taikant tekstilės skaitmeninį marginimą, galimas neribotas piešinio spalvų kiekis ir rašto raporto dydis, įmanomas panoraminių piešinių kūrimas, spalvų gradavimas (žr. 13 pav.) [18], kas leidžia projektuoti didesnio sudėtingumo raštus. Skaitmeninio marginimo metu galima išgauti ryškesnes spalvas, išlaikyti spalvų pustonius [17, 24], įmanomas aukštas dizaino personalizavimo lygis – rašto ir spalvos pakeitimus galima atlikti iškart, dizainas kuriamas, esant reikalui, redaguojamas ir vertinamas kompiuterio ekrane, kuriant piešinių nereikalingi šablonai [18]. Visa tai prisideda prie trumpesnių prastovų ir prie proceso pigumo, dėl ko skaitmeninis marginimas ypač tinkamas mažoms partijoms, vienetiniams gaminiams marginti [15].



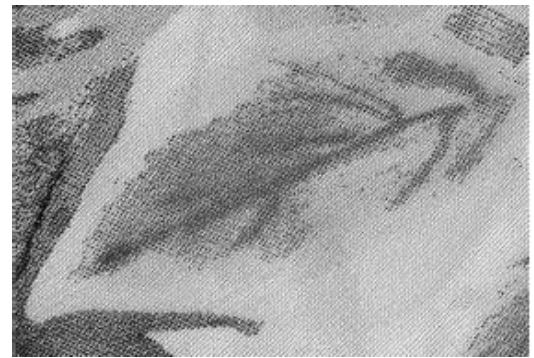
**13 pav.** Skaitmeninio marginimo galimybės [25]

Kiti verti paminėjimo skaitmeninio marginimo pranašumai: marginimas vyksta įrenginiui nesiliečiant prie medžiagos, minimalus pasiruošimo procesui laikas, galimybė marginti ir aprangos gaminius, mažesnis produkcijos sandėlio užimtumas, mažesnės dažų ir energijos sąnaudos [18], mažesnės dažų ir medžiagos atliekos, galimybė marginti mažomis partijomis, metodo tinkamumas daugumai tekstilės medžiagų, galimybė naudoti įvairios sudėties dažus [17, 24].

Lyginant su marginimu šilkografijos metodu, galima matyti, kad skaitmeninio marginimo metodas yra pranašesnis dėl galutinės marginamo rašto kokybės – net neryškaus, švelnaus dizaino raštas yra aiškiai matomas, tuo tarpu toks pat darytas taikant šilkografijos metodą yra neryškus, kai kurios smulkios detalės visai nematomos (žr. 14 pav.) [24].



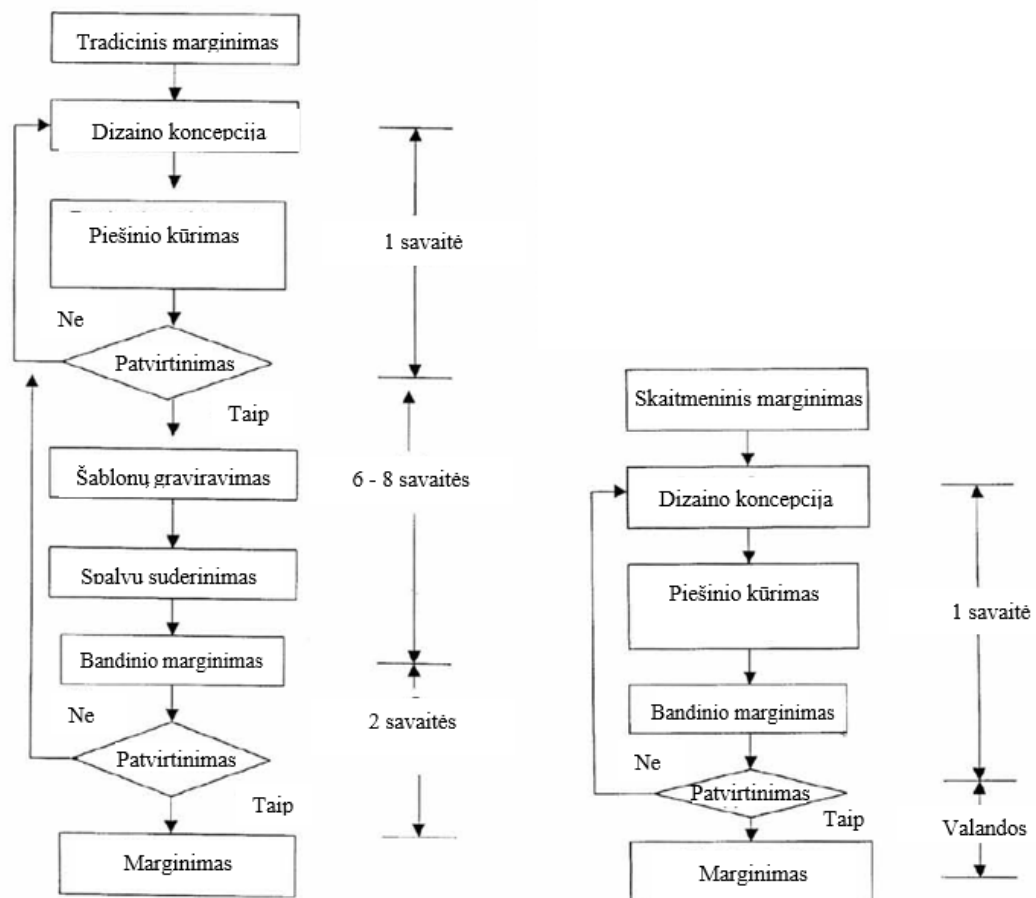
a



b

**14 pav.** Marginta medvilninė medžiaga: a – skaitmeninio marginimo metodu , b – šilkografijos metodu [24]

Skaitmeninis tekstilės medžiagų marginimas turi ir techninių privalumų. Taikant šį metodą, skaitmenizuojamas sukurtų marginimo raštų saugojimas – suprojektuoti raštai saugomi skaitmeninėje laikmenoje, nereikalingas pavyzdinių, fiziškai vietą sandėliuose užimančių, ant popieriaus nupieštų egzempliorių saugojimas [17, 18, 24]. Marginimas šilkografijos būdu, lyginant su skaitmeniniu marginimu, užima daug laiko – vien įrenginio paruošimui darbui reikalinga valanda, įrenginio valymui – 2 valandos. Tai daro šilkografiją nepatrauklią mažų partijų marginimui – dėl dažnai keičiamo / redaguojamo piešinio labai išauga įrenginio prastovos. Naujo piešinio kūrimas taip pat užima daugiau laiko, nei kuriant skaitmeniniu marginimu (žr. 15 pav.) [13, 15].



**15 pav.** Tradicinio tekstilės marginimo ir skaitmeninio tekstilės marginimo trukmės palyginimas [15]

Tekstilės medžiagų skaitmeninis marginimas pranašesnis savo tinkamumu mažoms partijoms marginti, kadangi vis daugiau užsakymų pateikiama vienetiniams gaminiams marginti [15, 26].

### **1.7. Tekstilės medžiagų skaitmeninio marginimo tvarumas**

Taikant tradicinius marginimo būdus, ant medžiagos užnešamų dažų kiekis nematuojamas, jo užnešama tiek, kiek reikia nudažymui, nepaisant galimo akivaizdaus pertekliaus. Pavyzdžiui, naudojant aktyvinius dažus – dažų fiksacija siekia apie 65–70 %, iš kurių 30 % tampa atliekomis, nes ant marginamos medžiagos paviršiaus neužtenka vietų, prie kurių galėtų prisijungti dažai. Nefiksuoti dažai plovimo metu pašalinami, taip prisidedant prie aplinkos taršos. Po marginimo likę dažų likučiai tiesiog išmetami. Tai išaugina ne tik proceso sukeltą taršą, bet ir jo kainą. Marginimui reikalingų šablonų graviravimas ir plovimas taip pat reikšmingai prisideda prie aplinkos taršos [14, 20].

Tekstilės pramonėje naudojami dažikliai ypač teršia vandenį. Dėl pakitusios vandens spalvos ir atsiradusio kvapo ji akivaizdžiai matoma. Užterštame vandenyje būna sunkiųjų metalų – gyvsidabrio, vario, arseno, švino, kadmio, nikelio, kobalto, chromo, kurie naudojami dažiklių gamyboje. Vandenyje taip pat būna kenksmingų cheminių medžiagų – sieros, formaldehidinių dažiklių fiksatorių, nitratų, acto rūgšties, minkštiklių, naftolio, putojimą sukeliančių medžiagų. Šios medžiagos padaro vandenį ypatingai toksišku, jis tampa kenksmingas aplinkiniam dirvožemiui – vandenyje esantys teršalai užkemša dirvožemio poras, taip mažindami derlingumą [27].

Didelės vandens taršos ir jos sukeltų problemų galima išvengti tekstilės medžiagoms taikant skaitmeninį marginimą. Skaitmeninis tekstilės marginimas – bene tvariausias tekstilės marginimo būdas. Marginant šiuo būdu gerokai sumažėja vandens ir elektros energijos sąnaudos – vandens sąnaudos gali sumažėti 30 % ir daugiau, elektros – iki 50–95 % įprastai sunaudojamo kiekio. Dėl procesui būdingos griežtos ant medžiagos paviršiaus patenkančių dažų kontrolės, skaitmeninis marginimas beveik neturi dažų atliekų – naudojami dažai visi patenka ant medžiagos paviršiaus be nuostolių, dažų fiksacija viršija 90 %. Tai lemia 70 % siekiantį dažų sutaupymą, lyginant su tradiciniais marginimo būdais [13, 14, 18, 20, 24].

## 2. Tekstilės medžiagų fizikinės savybės

Tekstilės / aprangos gaminiams svarbi savybė išgarinti nuo kūno dėvinčiojo judėjimo metu susidariusį prakaitą, transportuoti susidariusią drėgmę į išorinį aprangos gaminio sluoksnį. Tiriant tekstilės gaminių vandens absorbcines savybes, dažnai kartu nustatomas ir jų laidumas orui, kuris lemia tarp tekstilės / aprangos gaminių ir dėvinčiojo kūno susidarantį mikroklimatą.

### 2.1. Tekstilės medžiagų vandens absorbcija

D. Mikučionienė ir A. Bivainytė tyrė dvisluoksnių mezginių dinaminę vandens absorbciją. Tirti mezginiai, numegzti apskrita skersine 22E klasės mezgimo mašina, sluoksniuotiniu, *pikė*, lastiko bazės kombinuotaisiais pynimais, mezginių dengiantiesiems siūlams naudoti medvilnės, bambuko pluošto verpalai, pagrindo siūlams – polipropileno, poliamido, poliesterio, *CoolMax* gijiniai siūlai. Mezginių dinaminė absorbcija tirta taikant lašo metodą. Tyrimas atliktas standartinėmis atmosferos sąlygomis pagal ISO 139:2002 standartą. Atlikus tyrimą nustatyta, kad vandens lašo sklidimo plotas ir sklidimo greitis priklauso nuo mezginių medžiagos struktūros, eilučių ir stulpelių tankumo, pluoštinės sudėties. Tirti kombinuotaisiais pynimais megzti bandiniai pasižymėjo geriausia vandens absorbcija ir transportavimu. Tą nulėmė bandinių struktūra – kombinuotųjų pynimų struktūroje esančios lastikinės tąsos sudarė į kapiliarus panašias struktūras medžiagos stulpelių kryptimi, kurios padėjo transportuoti vandenį. Lyginant pagal tirtų medžiagų pluoštinę sudėtį, prastesne absorbcija pasižymėjo bandiniai iš medvilninių verpalų ir polipropileno gijinių siūlų, pačia prasčiausia – didesnio kilpų tankumo bandiniai iš medvilninių verpalų ir polipropileno gijinių siūlų [28].

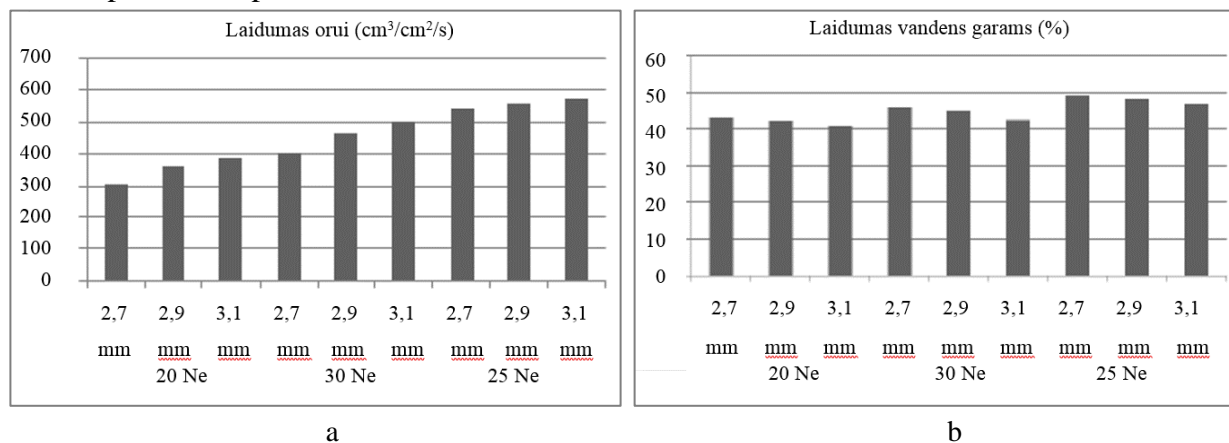
Y. Jhanji, D. Gupta, V. K. Kothar'is tyrė kilpos ilgio ir gijinio siūlo storio įtaką mezginių medžiagos termofiziologinėms savybėms, tarp kurių ir laidumas vandens garams, vandens absorbcija, šlampumas, džiūvimas. Tyrime naudotos lygiuotu sluoksniuotiniu pynimu megztos medžiagos, kurių dengiantiesiems siūlams naudoti medvilniniai verpalai, o pagrindo siūlams – poliesteriniai gijiniai siūlai. Tyrimo rezultatai parodė, kad megztinių medžiagų laidumą vandens garams lemia gijinių siūlų kilmė, storis, gijų skaičius gijiniame siūle, medžiagos akytumas. Nustatyta, kad didinant kilpos ilgį, didėjo medžiagos laidumas vandens garams, nes tai padidino medžiagos akytumą. Naudojant plonesnius gijinius siūlus, laidumas vandens garams mažėjo. Plonėjant gijiniams siūlams, didėja pavienių pluošto gijų skaičius gijinio siūlo skerspjūvyje, tai padidina medžiagos storį ir paviršinį tankį ir tai lemia laidumo vandens garams mažėjimą. Nustatyta, kad mezginių vandens absorbcija priklauso nuo medžiagos tankumo, gijinių siūlų storio ir pavienių gijų skaičiaus gijiniuose siūluose. Didėjant kilpos ilgiui, vandens absorbcija mažėjo. Tai siejama su sumažėjusiu medžiagos tankumu – tankesnės, sunkesnės medžiagos sugeria didesnį kiekį vandens, nei retesnės. Mažėjant naudotų gijinių siūlų skersmeniui, sugerto vandens kiekis didėjo. Tai siejama su didesniu pavienių pluošto gijų skaičiumi gijinio siūlo skerspjūvyje, kuris padidina medžiagos tankumą. Nustatyta, kad mezginių šlampumas mažėjo didėjant kilpos ilgiui. Didėjant kilpos ilgiui, retėja medžiagos struktūra. Retesnės struktūros medžiagose vandens pratekėjimui reikalingos kapiliarinės struktūros išsidėsto atsitiktinai, nenuosekliai, tai trukdo tolygiam vandens transportavimui medžiagoje. Plonėjant naudotiems gijiniams siūlams, mezginių šlampumas didėjo – siūlo skerspjūvyje esantis didesnis kiekis plonų pavienių pluošto gijų sudaro didelį skaičių mažo skersmens kapiliarų, kurie sukelia didesnį kapiliarinį slėgį, nei mažas skaičius didesnių kapiliarų. Nustatyta, kad megztų medžiagų džiūvimas susijęs su jų kilpų tankumu – didesnio kilpų tankumo medžiagos džiūsta ilgiau. Medžiagų džiūvimo laikas priklauso nuo sugerto vandens kiekio –

retesnės struktūros medžiagos džiūsta greičiau, nes sugeria mažesnę kiekį vandens. Iš plonesnių gijinių siūlų megztos medžiagos pasižymėjo lėtesniu džiūvimu, nes jos sugerdavo daugiau vandens, yra tankesnės [29].

Y. Jhanji ir bendraautoriai taip pat tyrė megztų medžiagų siūlų ilginio tankio ir pluoštinės sudėties įtaką medžiagų absorbcijai, gebėjimui transportuoti vandenį ir džiūvimui. Tyrime naudotos lygiuoju sluoksniuotiniu pynimu megztos medžiagos, kurioms megzti naudoti medvilniniai verpalai (dengiantysis siūlas), poliesterio, polipropileno, poliamido gijiniai siūlai (pagrindo siūlas). Tyrimo metu nustatyta, kad vandens absorbcija didėja, didėjant dengiančiųjų siūlų ilginiam tankiui. Tą lėmė didėjant medvilninių verpalų ilginiam tankiui, didėjantis medžiagos storis. Taip pat nustatyta, kad retesnės, laisvesnės struktūros, bet iš didelio ilginio tankio siūlų megztos medžiagos taip pat gali pasižymėti gera vandens absorbcija – vanduo bus sulaikomas tarpuose tarp siūlų [30].

C. Prakash'as ir G. Ramakrishnan'as tyrė pluoštinės sudėties, pluoštų santykinio kiekio mišinyje, kilpos ilgio ir verpalų ilginio tankio įtaką megztinių medžiagų šiluminio komforto savybėms, tarp kurių – laidumas orui ir vandens garams. Tyrime naudotos 100 % medvilnės, 100 % bambuko pluošto ir 50 / 50 % medvilnės / bambuko pluošto lygiuoju skersiniu pynimu megztos medžiagos. Medžiagos megztos trimis skirtingais kilpos ilgiais. Tyrimo rezultatai parodė, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo 100 % bambuko pluošto medžiagos. Tai siejama su mažesniu bambuko pluošto verpalų skersmeniu, lyginant su kitoms tirtoms medžiagoms naudotų medvilninių verpalų skersmeniu. Tyrimo metu nustatyta, kad didesnis bambuko pluošto kiekis medžiagoje lemia didesnę jos laidumą vandens garams, tai siejama su mažesniu medžiagos storiumi ir paviršiniu tankiu. Didesnio kilpos ilgio medžiagos pasižymėjo mažesniu laidumu vandens garams. Tą lėmė tarp siūlų susidarę oro tarpai, trukdantys vandens garų judėjimui. Storesnės medžiagos, megztos iš didesnio ilginio tankio verpalų, pasižymėjo didesniu laidumu vandens garams, tai siejama su didesniu ertmių skaičiumi siūlo skerspjūvyje [31].

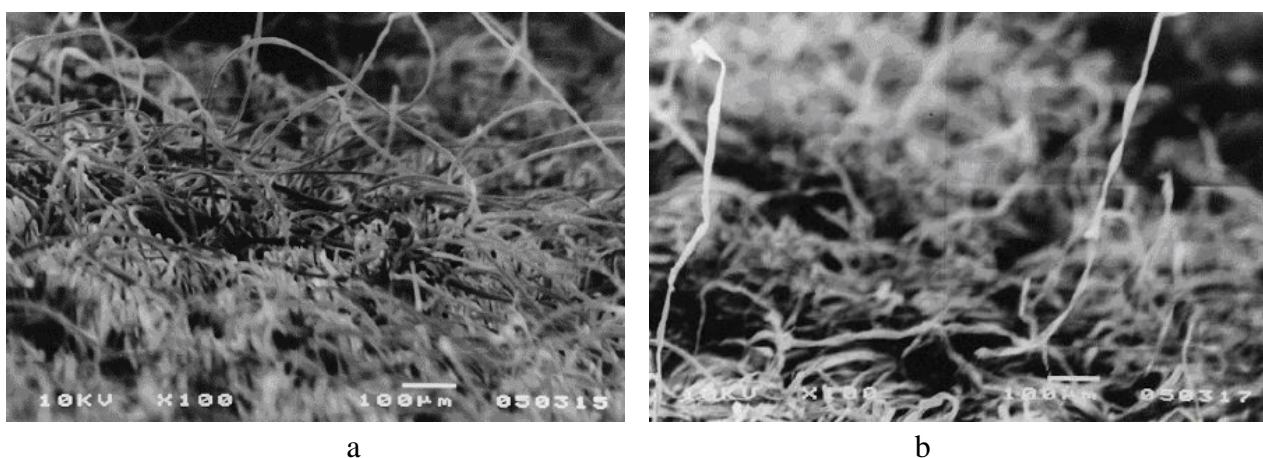
C. Prakash'as, ir bendraautoriai tyrė iš bambuko pluošto lygiuoju skersiniu pynimu megztų medžiagų kilpos ilgio ir verpalų ilginio tankio įtaką jų šiluminėms savybėms – laidumui orui ir vandens garams. Nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginiai, kurių verpalų numeris 30 Ne, kilpos ilgis didžiausias, o storis mažiausias. Tai siejama su retų, akytų medžiagų gebėjimu geriau praleisti oro srautą. Taip pat nustatyta, kad plonesni mezginiai visais atvejais pasižymėjo didesniu laidumu orui, nepriklausomai nuo kilpos ilgio ir verpalų ilginio tankio. Tyrimo rezultatai pateikti 16 paveiksle [32].



**16 pav.** a – tirtų medžiagų laidumo orui priklausomybės nuo kilpos ilgio ir verpalų numerio grafikas, b – tirtų medžiagų priklausomybės nuo kilpos ilgio ir verpalų numerio grafikas [32]

Tiriant laidumą vandens garams, reikšminga kilpos ilgio įtaka nenustatyta. Tyrimo rezultatai parodė, kad tirtų medžiagų laidumas vandens garams priklauso nuo medžiagos mikroporėtumo – mežginiai, megzti iš didesnio ilginio tankio verpalų, pasižymėjo didesniu laidumu vandens garams [32].

G. Ramakrishnan'as, D. Bhaarathi'a, S. Mukhopadhyay'is savo tyrime lygino lygiuoju skersiniu pynimu iš viskozės mikropluošto megztų medžiagų fizikines, mechanines ir komforto savybes su megztų iš įprasto viskozės pluošto. Tyrimo medžiagos numegztos apskritąja 24E klasės mezgimo mašina. Tirtos tokios medžiagų savybės: šlampumas, dinaminė vandens absorbcija. Tyrimo rezultatai parodė, kad geresniu šlampumu pasižymėjo medžiagos megztos iš viskozės mikropluošto. Tam įtakos turėjo naudoto mikropluošto medžiagoje susidarę smulkesni kapiliarai, kurie geriau transportuoja vandenį, nei stambesni. Nustatyta, kad geresne dinamine vandens absorbcija pasižymėjo medžiagos megztos iš viskozės mikropluošto. Tą lėmė didesnis šių medžiagų paviršiaus tankis, kurį patvirtina tyrimo metu darytos bandinių paviršiaus SEM nuotraukos [33].



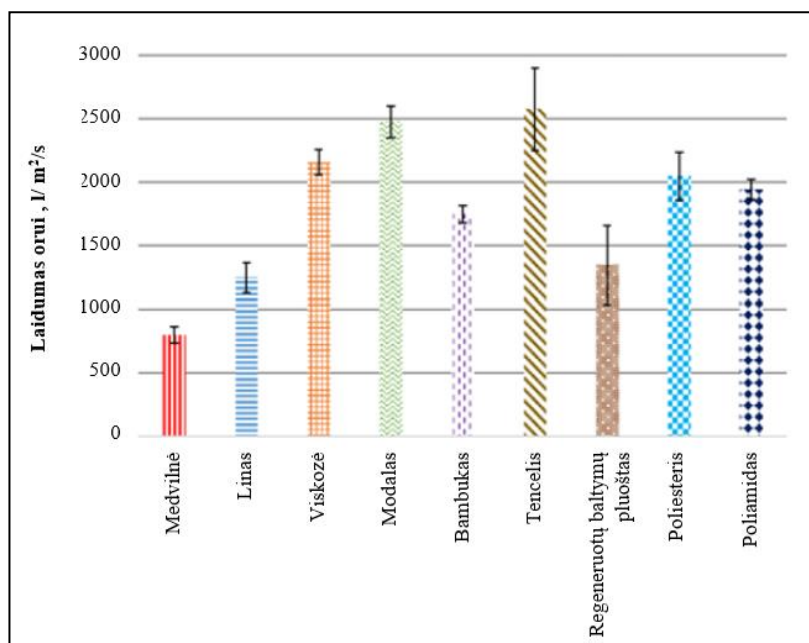
**17 pav.** Tirtų bandinių paviršiaus SEM nuotraukos: a – bandinio iš įprasto viskozės pluošto, b – bandinio iš viskozės mikropluošto [33]

## 2.2. Tekstilės medžiagų laidumas orui

Z. Czaplicki'is, A. Prażyńska, Z. Mikołajczyk'as tyrė megztų medžiagų šiluminį komfortą lemiančias savybes, įskaitant laidumą orui. Tyrime naudota 20 mežginių, kurie pagal pynimus buvo suskirstyti į 5 grupes po 4 mežginius. Mežginių mezgimui naudota gamintojo „Stoll“ CMS 530 HP modelio 5E klasės plokščioji fanginė mezgimo mašina, naudoti medvilniniai, avių vilnos, alpakų vilnos, PAN verpalai. Atlikus tyrimą nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mežginiai iš avių vilnos ir medvilninių verpalų, šių mežginių verpalų ilginiai tankiai buvo mažiausi. Mežginiai iš alpakų vilnos verpalų pasižymėjo mažesniu laidumu orui, nei mežginiai iš avių vilnos ir medvilninių verpalų. Tai siejama su už vilnos verpalų didesniu alpakų vilnos verpalų ilginiu tankiu. Mežginiai iš PAN verpalų pasižymėjo mažiausiu laidumu orui. Ši tendencija pasireiškė visose tirtose mežginių grupėse. Mežginių iš PAN verpalų ilginis tankis buvo didesnis, nei verpalų iš medvilnės ir vilnos pluoštų. Mežginių grupė, megzta interlokiniu pynimu, pasižymėjo mažiausiu laidumu orui, lyginant su kitomis tirtomis mežginių grupėmis, tai gali būti siejama su didesniu šio pynimo tankumu, lyginant su kitais analizuotais pynimais [34].

E. Oner'as tyrė megztinių medžiagų mechanines ir šilumines savybes, taip pat ir laidumą orui. Tyrime naudotos 9 lygiuoju skersiniu pynimu megztos medžiagos iš grynpluoščių verpalų:

medvilninių, lininių, viskozės, modalo, bambuko viskozės, tencelio, regeneruotų baltymų pluošto, poliesterinių, poliamidinių. Mezginių laidumas orui tirtas pagal ASTM D737-04 standartą *Testest FX 3300* laidumo orui nustatymo įrenginiu, naudojant 100 Pa oro slėgį, 20 cm<sup>2</sup> bandymo plotą, kiekvienai medžiagai tyrimas atliktas 10 kartų. Tyrimo rezultatai pateikti 18 paveiksle [35].



18 pav. E. Oner' o laidumo orui tyrimų rezultatai [35]

Tyrimo metu nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginiai iš tencelio, modalo, viskozės pluoštų. Tai siejama su medžiagų storium ir paviršiniu tankiu – mezginiai iš tencelio, modalo, viskozės pluoštų buvo mažiausio paviršinio tankio ir ploniausi. Žemiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginiai iš medvilnės ir lino pluoštų, tai siejama su natūralių pluoštų verpalams būdingu didesniu paviršiaus pūkuotumu. Mezginyje iš regeneruotų baltymų pluošto pasižymėjo žemesniu laidumu orui, nei mezginiai iš regeneruotos celiuliozės pluoštų. Tą galėjo nulemti didesnis šio pluošto plaukelių paviršiaus plotas. Tirti mezginiai iš sintetinių pluoštų – poliesterio ir poliamido – pasižymėjo panašiomis laidumo orui vertėmis, tai siejama su glotniu šių pluoštų plaukelių paviršiumi [35].

E. Dirgar tyrė laidumą orui mezginių, numegztų iš įvairių regeneruotos celiuliozės pluoštų verpalų. Tirti mezginiai, numegzti lygiuoju skersiniu pynimu iš 100 % viskozės, 100 % modalo, 100 % lajocelio ir 100 % vario amoniakinio pluoštų. Nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginiai iš vario amoniakinio pluošto, tą lėmė mažas mezginio paviršinis tankis ir didelis medžiagos akytumas. Mezginyje iš viskozės pasižymėjo mažiausiu laidumu orui, tai siejama su mažesniu jo akytumu ir didžiausiu iš visų tyrime naudotų mezginių paviršiniu tankiu [36].

B. M. Kaplangiray ir bendraautoriai tyrė sporto aprangos gamyboje naudojamų medžiagų savybes, tarp kurių – laidumas orui. Tyrime naudoti mezginiai suskirstyti į 7 grupes pagal pluoštinę sudėtį. Tirti tinklinės struktūros, lygiojo skersinio pynimo mezginiai. Laidumas orui nustatytas pagal EN ISO 9237 standartą, naudojant *SDL Atlas* laidumo orui nustatymo įrenginį, 100 Pa oro slėgį ir 20 mm<sup>2</sup> bandymo plotą. Nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginyje iš tencelio pluošto, megztas lygiuoju skersiniu pynimu. Tokį rezultatą lėmė mezginio pluoštinė sudėtis – tencelio pluoštui natūraliai būdingas didelis laidumas orui. Antru didžiausiu laidumu orui

pasižymėjo tinklinės struktūros mežginys, kurio mežgimui naudotas poliesterio pluoštas. Tai siejama su itin dideliu šio mežginio akytumu. Mažiausiu laidumu orui pasižymėjo mežginiai iš poliesterio pluošto, mežti lygiuoju skersiniu pynimu, jų eilučių ir stulpelių tankumas buvo didžiausias iš visų tiriamųjų mežginių [37].

R. Mishra ir bendraautoriai atliko mežtų medžiagų sandaros elementų įtakos jų šiluminėms savybėms ir degumui tyrimą. Tarp analizuotų savybių buvo ir laidumas orui. Tyrime naudotos skersiniais pynimais mežtos medžiagos. Laidumas orui nustatytas pagal ASTM-D737 / ISO 9237 standartą, naudojant *SDL Atlas* laidumo orui nustatymo įrenginį. Tyrimo metu nustatyta, kad mežginio struktūroje daugėjant lankų, didėja jo laidumas orui. Mežginiai, savo struktūroje turintys lankų, yra laidesni orui, nei tik iš kilpų sudaryti mežginiai. Nustatyta, kad mežginiai, savo struktūroje turintys tąsų, yra laidžiausi orui iš visų tyrime naudotų medžiagų. Tai siejama su tąsų turinčių mežginių mažesniu paviršiaus tankiu ir jo nulemtu didesniu medžiagos akytumu [38].

A. M. Aldardery'is ir bendraautoriai tyrė mežgimo parametrų įtaką mežtų medžiagų fizikinėms ir mechaninėms savybėms. Tirtos medžiagos mežtos lygiuoju skersiniu, lastikiniu 1+1, interlokiniu pynimais. Mežginiai suskirstyti į grupes pagal pynimus, kiekvienoje grupėje po 4 grynos medvilnės bei medvilnės ir poliesterio pluoštų mišinio (50 % / 50 %) mežginius. Visų grupių mežginiai numegzti dviem skirtingais kilpos ilgiais. Mežginių laidumas orui nustatytas pagal ASTM D-737-04 standartą. Nustatyta, kad didesniu laidumu orui pasižymėjo mežginiai, kurie numegzti lygiuoju skersiniu pynimu. Tokius rezultatus lėmė didesnis mežginių, mežtų lastikiniu 1+1 ir interlokiniu 1+1 pynimais, tankumas, dėl kurio sumažėjo mežtinių medžiagų akytumas. Nustatyta, kad didesnis kilpų tankumas medžiagoje lemia mažesnę jos laidumą orui. Nustatyta, kad didėjant kilpos ilgiui mežginyje, didėja jo laidumas orui. Ši tendencija pasikartojė visose tirtose mežginių grupėse [39].

J. Kriščiūnaitė su bendraautoriais tyrė antimikrobinės apdailos ir skalbimo įtaką mežtų medžiagų laidumui orui. Tyrime naudotos lastikiniu pynimu mežtos medžiagos, grynavilniai, vilnos ir poliakrilnitrilinio pluoštų mišinio, medvilniniai, medvilnės ir poliakrilnitrilinio pluoštų mišinio, poliakrilnitrilinio pluošto verpalai. Visos tyrime naudotos medžiagos padengtos benzalkonio chlorido *Si Bactericidal Textile Finish* apdaila, po padengimo – skalbtos 50 skalbimo ciklų. Mežginių laidumas orui nustatytas pagal ISO 9237:1997 standartą, naudojant 5 cm<sup>2</sup> bandymo plotą, 100 Pa slėgių skirtumą. Laidumo orui nustatymas atliktas prieš ir po apdailos kiekvienam mežginiui po 10 kartų. Tyrimo metu nustatyta, kad antimikrobine apdaila neapdirbtų mežginių laidumas orui priklauso nuo kilpos ilgio, kilpų tankumo, verpalų ilginio tankio, verpalų paviršiaus pūkuotumo. Didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mežginys iš poliakrilnitrilinio pluošto. Tam įtakos turėjo didesnis mežginio kilpų ilgis, mažesnis naudotų verpalų ilginis tankis, mažiausias verpalų paviršiaus pūkuotumas. Mažiausiu laidumu orui pasižymėjo medvilniniai ir medvilnės ir PAN pluoštų mišinio mežginiai. Nustatyta, kad antimikrobinė apdaila mežginių iš vilnos, vilnos ir PAN pluoštų mišinio, PAN pluoštų laidumui orui reikšmingos įtakos neturėjo. Didesnis laidumo orui pokytis nustatytas tik medvilniniams, medvilnės ir PAN pluošto mišinio mežginiams. Nustatyta, kad laidumas orui po skalbimo sumažėjo mežginiams iš vilnos, medvilnės pluoštų. Kiek mažiau sumažėjo medvilnės ir vilnos pluoštų mišinių su PAN pluoštu. Tai siejama su vilnos ir medvilnės savybe susitraukti ir sutankėti šlapių apdailų (šio tyrimo atveju – skalbimo) metu. Mažiausiu laidumo orui sumažėjimu po skalbimo pasižymėjo mežginys iš PAN pluošto [40].

**Apibendrinimas.** Natūralios ir dirbtinės kilmės celiulioziniai, t. y., medvilnės, lino, viskozės, modalo pluoštai pasižymi panašiomis komforto savybėmis, išvaizda – didele absorbcija, žema šilumos izoliacija, gebėjimu vėsinti aukštos aplinkos temperatūrose. Taip pat turi ir tik jiems būdingų ypatybių. Medvilniniai gaminiai tinkami dezinfekuoti virinant, retai sukelia alergijas, šlapios būsenos stipresni, nei sausos. Lino pluoštas pasižymi geru drėgmės transportavimu nuo odos paviršiaus ir greitu džiūvimu, taip sukuriant sąlygas efektyviai vėsinti dėvintį. Viskozės pluoštas gana neilgaamžis ir neatsparus buitiniam skalbimui. Gamybos metu viskozę galima formuoti taip, kad savo išvaizda ji primintų medvilnę, vilną, šilką, liną, verstą odą, neprarandant pluoštams būdingų teigiamų savybių. Modalo pluošto gamybai tinkama tik bukų medienos masė, jis pasižymi ypatingai į šilką panašiu paviršiumi.

Megztinių medžiagų populiarumą aprangos gamyboje lemia jų savybės: tąsumas visomis kryptimis, atsparumas raukšlių susidarymui, komfortas dėvint. Pagal mezgimo būdą megztinės medžiagos, skirstomos į skersines ir metmenines. Skersinės medžiagos mezgamos iš vieno siūlo sudarant vienos mežginio eilutės kilpas, jų mežgimui gali būti naudojamos apskritosios ir plokščiosios, vienos ir dviejų adatinių mežgimo mašinos. Numegztos medžiagos tinkamos aprangos gaminių gamybai: tamprėms, lauko aprangai, rankogaliams, apykaklėms. Metmeninės medžiagos mezgamos iš vieno siūlo sudarant vieno mežginio stulpelio kilpas. Šiuo būdu numegztos medžiagos gali būti tiek tamprios, tiek stabilios, gali būti plokščios medžiagos pavidalo, erdvinės, apvalios, tinklinės struktūros. Metmeninių mežginių asortimentą sudaro nėriniai, užuolaidos, daugiaašiai mežginiai, batų įdėklai, čiužiniai ir kt.

Skaitmeninis tekstilės medžiagų marginimas yra tvari tekstilės marginimo technologija, atverianti daug naujų galimybių dizaineriams ir pramonei. Taikant procesą, patiriamos trumpesnės prastovos, marginimui nenaudojami šablonai – piešinio dizainas kuriamas kompiuterio ir programinės įrangos pagalba, tai leidžia pasiekti itin aukštą personalizavimo lygį ir neriboja dizaino projektavimo ir spalvų derinimo galimybių.

Išanalizavus kitų tyrėjų atliktus vandens absorbcijos, šlampumo ir laidumo vandens garams tyrimus, nustatyta, kad mežtos medžiagos, kurių struktūroje yra kapiliarus primenančių darinių, pasižymi geresne vandens absorbcija. Taip pat nustatyta, kad vandens absorbcija didėja, didėjant medžiagos storiui, mažėjant kilpos ilgiui ir kilpų tankumui. Nustatyta, kad didinant medžiagos storį, verpalų ilginį tankį, didėja medžiagos laidumas vandens garams. Reikšmingos kilpos ilgio įtakos medžiagos laidumui vandens garams nenustatyta, analizuotuose tyrimuose didėjant kilpos ilgiui, laidumas vandens garams tiek didėjo, tiek mažėjo. Medžiagos, pagamintos iš bambuko pluošto, pasižymi didesniu laidumu vandens garams. Nustatyta, kad didesnis kilpos ilgis lėmė prastesnį mežginių šlampumą. Geresniu šlampumu pasižymėjo medžiagos, mežtos iš viskozės mikropluošto. Nustatyta, kad didesnio kilpų tankumo medžiagos džiūsta ilgiau. Medžiagų džiūvimo laikas priklauso nuo sugerto vandens kiekio. Nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo 100 % bambuko pluošto medžiagos. Didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mežginiai, mežti iš ploniausių verpalų, kurių kilpos ilgis buvo didžiausias, storis – mažiausias. Plonesni mežginiai visais atvejais pasižymėjo didesniu laidumu orui, nepriklausomai nuo kilpos ilgio ir verpalų ilginio tankio. Išanalizavus kitų tyrėjų atliktus laidumo orui tyrimus, nustatyta, kad laidumas orui priklauso nuo mežginio pluoštinės sudėties ir mežginio sandaros elementų: kilpos ilgio, kilpų tankumo, verpalų ilginio tankio. Nustatyta, kad mežginiai iš regeneruotos celiuliozės pluoštų – viskozės, tencelio,

modalo – pasižymi didžiausiu laidumu orui, kiek mažesniu – mežginiai iš medvilnės, bambuko viskozės pluošto. Nustatyta, kad didesnis tasių kiekis mežginyje lemia didesnę mežginio laidumą orui. Nustatyta, kad didesnis kilpos ilgis mežginyje lemia didesnę mežginio laidumą orui, didesnis kilpų tankumas – laidumo orui sumažėjimą. Mežginiai, numegzti iš mažesnio ilginio tankio verpalų, pasižymi didesniu laidumu orui, nei mežginiai numegzti iš didesnio ilginio tankio verpalų.

### 3. Tyrimo objektas

Natūralūs ir natūralios kilmės pluoštai, tokie kaip medvilnė, viskozė, modalas, pasižymi geromis laidumo orui savybėmis, kurias dar labiau sustiprina akyta, kapiliarinę sistemą primenanti skersinių megztinių medžiagų struktūra. Iš šių pluoštų numegztos medžiagos taip pat pasižymi geru drėgmės sugeriamumu. Kaip žinoma, elastanas reikšmingai mažina medžiagų laidumą orui ir drėgmės sugeriamumą.

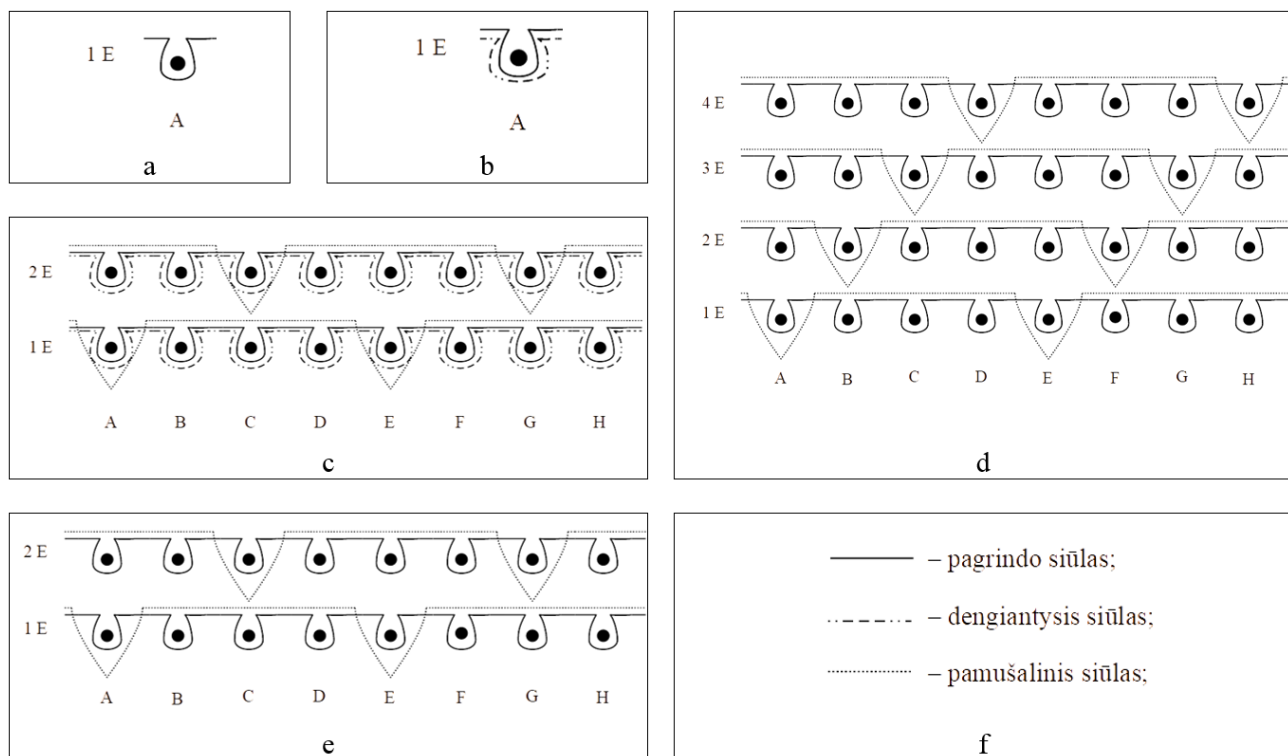
Tiriamieji mezginiai, gauti bendradarbiaujant su įmone „Textilis“, numegzti lygiuoju skersiniu, sluoksniuotiniu, sluoksniuotiniu pamušaliniu, pamušaliniais 1 ir 2 pynimais apskritąja didelio skersmens mezgimo mašina. Iš viso numegzta 10 skirtingų bandinių, kurių žymėjimas, pluoštinė sudėtis ir siūlų ilginis tankis pateikti 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Tiriamųjų mezginių duomenys

Eil. Nr.	Žymėjimas	Pynimas	Mezginio pluoštinė sudėtis	Siūlų ilginis tankis, tex	Siūlo padėtis mezginyje
1.	LS	Lygusis skersinis	100 % M	25,3	Pagrindo
2.	SL-1	Sluoksniuotinis (lyg. skersinio bazė)	95 % VI 5 % EL	16,3	Pagrindo
				4,0	Dengiantysis
3.	SL-2	Sluoksniuotinis (lyg. skersinio bazė)	94% VI 6% EL	23,6	Pagrindo
				4,0	Dengiantysis
4.	SL-PAM-1	Sluoksniuotinis pamušalinis (lyg. skersinio bazė)	92 % M 8 % EL	19,0	Pagrindo
				19,0	Pamušalo
				4,0	Dengiantysis
5.	SL-3	Sluoksniuotinis (lyg. skersinio bazė)	95 % VI 5 % EL	23,6	Pagrindo
				4,0	Dengiantysis
6.	SL-4	Sluoksniuotinis (lyg. skersinio bazė)	95 % M 5 % EL	20,0	Pagrindo
				4,0	Dengiantysis
7.	SL-PAM-2	Sluoksniuotinis pamušalinis (lyg. skersinio bazė)	70 % MO 25 % M 5 % EL	22,6	Pagrindo
				21,0	Pamušalinis
				4,0	Dengiantysis
8.	PAM-1	Pamušalinis 1	73 % M 27 % PES	42,6	Pagrindo
				26,6	Pamušalo
9.	PAM-2	Pamušalinis 2	95 % M 5 % PES	42,3	Pagrindo
				74,6	Pamušalo
10.	PAM-3	Pamušalinis 1	95 % M 5 % ME	72,0	Pagrindo
				250,0	Pamušalo

Mezginiams naudotos natūralios ir natūralios kilmės žaliavos – medvilnė (M), viskozė (VI), modalas (MO), taip pat ir elastano (EL), metalizuoto (ME) siūlo gijos, perdirbtas poliesteris (PES).

Tiriamųjų mezginių siūlo klojimo schemų raportai pateikti 19 paveiksle.



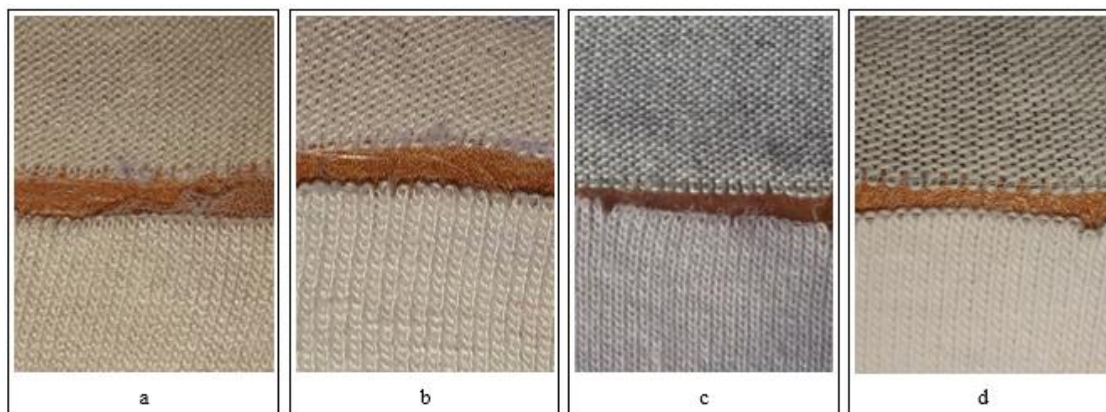
**19 pav.** Tiriamųjų mezginių siūlo klojimo schemas: a – lygiojo skersinio pynimo, b – sluoksniuotinio pynimo, c – sluoksniuotinio pamušalinio pynimo, d – pamušalinio pynimo 2, e – pamušalinio pynimo 1, f – siūlų žymėjimas schemose

Tiriamųjų mezginių paviršiaus vaizdai pateikti 20 – 23 paveiksluose. Lygiuoju skersiniu pynimu megzto mezginio paviršiaus vaizdas pateiktas 20 paveiksle, matomos mezginio dešininė ir kairinė pusės.



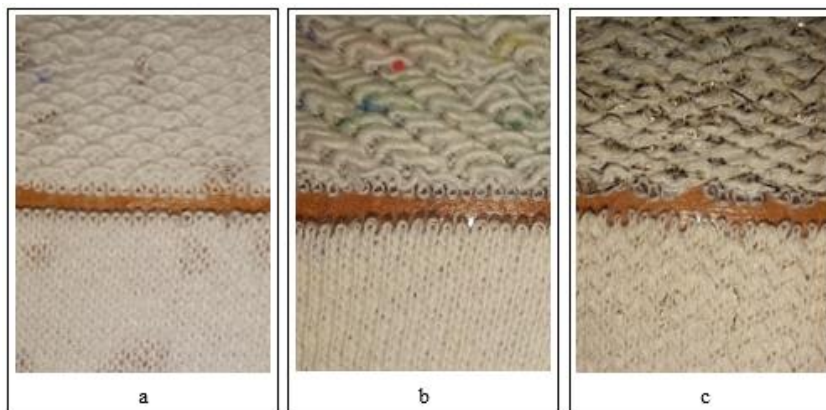
**20 pav.** Lygiuoju skersiniu pynimu megzto mezginio LS dešininės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdas

Sluoksniuotinais pynimais megztų mezginių dešininės ir kairinės pusių paviršiaus vaizdai pateikti 21 paveiksle, ardytuose kraštuose matomas dengiantysis elastano siūlas.



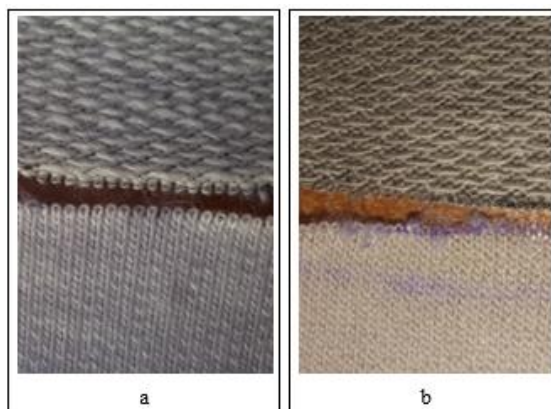
**21 pav.** Sluoksniuotiniu (lygiojo skersinio bazėje) pynimu megztų mezginių dešinės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdai: a – meginys *SL-1*, b – meginys *SL-2*, c – meginys *SL-3*, d – meginys *SL-4*

Pamušalniais pynimais megztų mezginių paviršiaus vaizdai pateikti 22 paveiksle. Mezginių kairinėse pusėse matomos pamušalinio siūlo tąsos. Mezginių *PAM-3* dešinėje pusėje matomi metalizuoto siūlo lankai, kairinėje – pamušalinės tąsos.



**22 pav.** Pamušalniais pynimais megztų mezginių dešinės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdai: a – meginys *PAM-1*, b – meginys *PAM-2*, c – meginys *PAM-3*

Sluoksniuotiniu pamušaliniu pynimu megztų mezginių paviršiaus vaizdai pateikti 23 paveiksle. Mezginių kairinėse pusėse matomos pamušalinio siūlo tąsos, ardytuose krašteliuose – dengiantysis elastano siūlas.



**23 pav.** Sluoksniuotiniu pamušaliniu pynimu megztų mezginių dešinės (apačioje) ir kairinės (viršuje) pusių paviršiaus vaizdai: a – meginys *SL-PAM-1*, b – meginys *SL-PAM-2*

## 4. Metodinė dalis

Skyriuje pateikiamos baigiamojo darbo rengimo metu atliktiems bandymams taikytos metodikos. Bandymai atlikti KTU Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto Medžiagų tyrimų laboratorijoje. Bandymai atlikti ir jiems reikalingi bandiniai paruošti laikantis LST EN 139:2005 standarte nurodytų standartinių kondicionavimo sąlygų – temperatūra ( $20 \pm 2$ ) °C ir santykinis drėgnis ( $65 \pm 4$ ) % [41].

### 4.1. Mezginių sandaros rodiklių nustatymas

#### Mezginio tankumo nustatymas

Megztos medžiagos tankumas – tai mezginio kilpų ilgį ir / ar kilpų skaičių apibūdinanti savybė, kuri kiekybiškai išreiškiama tankumo koeficientais  $P_h$  ir  $P_v$ . Bandinių tankumas nustatomas vadovaujantis LST EN 14971:2006 „Tekstilė. Megztinės medžiagos. Kilpų skaičiaus vienetiniame ilgyje ir plotyje nustatymas“ standartu [42].

Tankumo koeficientai gauti matuojant penkiose skirtingose mezginio paviršiaus vietose ir skaičiuojant sąlyginiame išmatuotame mezginio ilgyje ir plotyje esančias kilpas. Suskaičiuoti kilpų stulpeliai ir eilutės išreiškiami kilpų skaičiumi 1 centimetre, kilpų skaičiavimas atliekamas iki mezginio krašto esant ne mažesniai nei 20 centimetrų atstumui [42].

Kilpų stulpelių skaičius mezginio plotyje horizontalia kryptimi, išreiškiamas horizontaliuoju tankumo koeficientu  $P_h$ , kilpų eilučių skaičius mezginio ilgyje vertikalia kryptimi – vertikaliuoju tankumo koeficientu  $P_v$ . Matuojant šiuos tankumus, meginys turi būti be ydų, patiestas horizontalioje padėtyje jo neištempiant. Nustačius horizontalųjį ir vertikalųjį tankumų koeficientus, apskaičiuojami kilpos žingsnis  $A$  ir kilpos aukštis  $B$  pagal formules [42].

Kilpos žingsnis  $A$ , mm:

$$A = \frac{10}{P_h}, \quad (1)$$

čia  $P_h$  – horizontalusis mezginio tankumas,  $cm^{-1}$ ;

Kilpos aukštis  $B$ , mm:

$$B = \frac{10}{P_v}, \quad (2)$$

čia  $P_v$  – vertikalusis mezginio tankumas,  $cm^{-1}$ ;

#### Kilpos ilgio nustatymas

Tiriamųjų mezginių medžiagų kilpos ilgis nustatomas pagal LST EN 14970:2006 „Tekstilė. Megztinės medžiagos. Kilpos ilgio ir siūlo ilginio tankio skersiniame mezginyje nustatymas“ standartą [43].

Kilpos ilgis gali būti nustatomas eksperimentiniu būdu, kurio metu skersinis meginys ardomas, arba apskaičiuojamas teoriškai. Šiame darbe kilpos ilgis apskaičiuotas teoriškai, formules parenkant pagal bandinių pynimus. Lygiojo skersinio pynimo bandinio kilpos ilgio nustatymui naudota formulė [43]:

$$l = 1,57A + \pi d + 2B, \quad (3)$$

čia  $A$  – kilpos žingsnis, mm;

$d = (d_g + d_k)/2$  vidutinis siūlo skersmuo, mm;

$B$  – kilpos aukštis, mm.

Pamušalinių pynimų bandiniams kilpos ilgis nustatytas naudojant jų baziniui pynimui, t. y., lygiajam skersiniui pynimui, taikomą formulę (žr. 3 formulę).

Lygiojo skersinio pynimo bazės sluoksniuotinio pynimo bandinių kilpos, kurios sudarytos iš dengiančiojo ir pagrindo siūlų, ilgis nustatytas pagal formulę [43]:

$$l_{sl} = 1,57A + \pi d_s + 2B, \quad (4)$$

čia  $d_s = \sqrt{d^2 + d_d^2}$  – suminis vidutinis siūlo skersmuo, mm ( $d$  – pagrindo siūlo skersmuo,  $d_d$  – dengiančiojo siūlo skersmuo).

Sluoksniuotinio pamušalinio pynimo bandinių, kurių bazinis pynimas – lygusis skersinis, kilpos ilgiui nustatyti naudota (4) formulė.

### **Megztinės medžiagos paviršinio tankio nustatymas**

Tekstilės medžiagos masės ir paviršiaus ploto santykiu išreiškiamas jos paviršinis tankis  $M$ , įprasti matavimo vienetai – g/m<sup>2</sup>. Paviršinis tankis gali būti nustatomas eksperimentiniu būdu arba apskaičiuojamas teoriškai. Šiame darbe jis nustatytas eksperimentiniu būdu. Mezginio paviršinis tankis nustatytas pagal LST EN 12127:1999 „Tekstilė. Tekstilės medžiagos. Paviršinio tankio nustatymas naudojant mažus bandinius“ standartą [44]. Iš skirtingų megztinės medžiagos vietų iškerpami dešimt 10 cm<sup>2</sup> ± 1 % dydžio elementarūs bandiniai, kurie pasveriami elektroninėmis svarstyklėmis „KERN EW 150-3M“ (Vokietija), 0,001 gramo tikslumu. Apskaičiuotas gautų matavimų rezultatų aritmetinis vidurkis, kurio rezultatas apvalinamas 1 gramo tikslumu.

### **Mezginių storio nustatymo metodika**

Mezginių storis  $b$  nustatomas vadovaujantis LST EN ISO 5084:2000 „Tekstilė. Tekstilės medžiagų ir gaminių storio nustatymas“ standartu [45]. Mezginių storio nustatymo tyrimas atliktas naudojant gamintojo „Hans Schmidt & Co“ skaitmeninį storio matavimo prietaisą DPT 60 (Vokietija). Prietaiso matavimo tikslumas – 0,01 mm ± 0,020 mm, bandinio prispaudimo jėga – 1,0 kPa.

Atliekant storio matavimą, mežginys ištiesiamas tarp dviejų matavimo prietaiso plokštelių ir prispaudžiamas pastovia jėga. Matavimo prietaiso ekrane rodomas mezginio storis milimetrais. Megztos medžiagos storio matavimas atliekamas dešimtyje skirtingų bandinio vietų, iš šių rezultatų apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis.

## **4.2. Mezginių fizikinių savybių nustatymas**

### **Megztų medžiagų laidumo orui tyrimo metodika**

Laidumo orui tyrimas atliktas pagal LST EN ISO 9237:1997 standartą, aprašantį, daugumai orui laidžių medžiagų taikomą, plokščių tekstilės medžiagų laidumo orui matavimo būdą. Bandymo

metu, esant nustatytam slėgių skirtumui, matuojamas per nustatytą medžiagos plotą prasiskverbiančio oro srauto debitas [46]. Laidumo orui tyrimai atlikti naudojant įrenginį *L14DR* (Karl Schroder KG, Vokietija) (žr. 25 pav.).



**24 pav.** Laidumo orui nustatymo prietaisas L14DR

Žiedo formos bandinio laikikliai turi 5 cm<sup>2</sup>, 20 cm<sup>2</sup>, 50 cm<sup>2</sup> ar 100 cm<sup>2</sup> kiaurymę. Slėgio matuoklis, sujungtas su bandymo galvute, turintis 50 Pa, 100 Pa, 200 Pa ar 500 Pa matavimo skalę slėgių skirtumui nustatyti ne mažiau kaip 2 % matavimo tikslumu. Žiedo formos bandinio laikiklyje įtvirtinamas įtemptas bandinys. Įjungiamas oro siurbimo ventiliatorius, pamažu didinamas oro išsiurbimas, kol pasiekiamas anksčiau minėtas slėgių skirtumas ir stabilios sąlygos [46].

Tyrimas atliktas naudojant 20 cm<sup>2</sup> kiaurymės žiedo formos bandinio laikiklį, oro srauto debitas matuotas esant 100 Pa slėgių skirtumui. Kiekvienam bandiniui atlikta po 10 matavimų, iš kurių rezultatų apskaičiuotas aritmetinis vidurkis.

Laidumas orui  $R$ , dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·s) apskaičiuojamas pagal formulę [46]:

$$R = \frac{\bar{q}_v}{A} \cdot 167; \quad (5)$$

čia  $\bar{q}_v$  – oro srauto debito aritmetinis vidurkis, dm<sup>3</sup>/min (l/min);

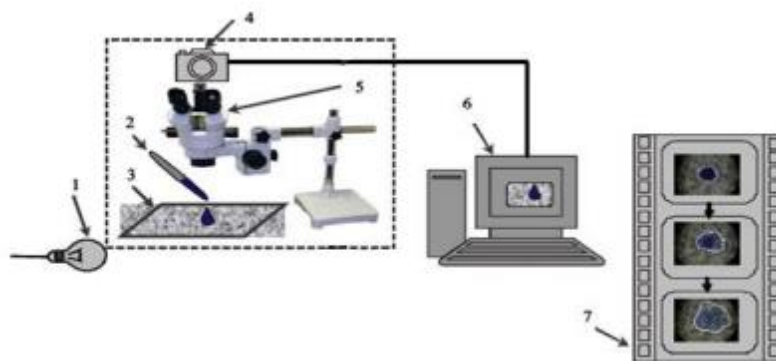
$A$  – bandomasis plotas, cm<sup>2</sup>;

167 – perskaičiavimo iš dm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>min arba l/cm<sup>2</sup>min į dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·s) koeficientas.

### 4.3. Mezginių vandens absorbcijos tyrimo metodika

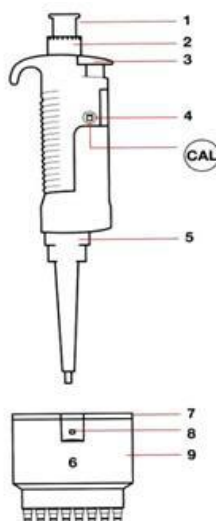
#### Mezginių dinaminės vandens absorbcijos tyrimo metodika

Megztinių medžiagų dinaminės absorbcijos tyrimas atliktas lašinant distiliuoto vandens lašą ant dešininės medžiagos paviršiaus pusės ir stebint bei fiksuojant medžiagos elgseną laikui bėgant. Bandymo atlikimo principinė schema pateikta 26 paveiksle [47].



**25 pav.** Vandens absorbcijos tyrimo principinė schema: 1 – šviesos šaltinis, 2 – pipetė, 3 – bandinys, 4 – skaitmeninė kamera, 5 – stereo-mikroskopas, 6 – kompiuteris, 7 – filmuoto vaizdo kadrai [47]

Vandens lašas užlašintas iš 1 cm aukščio ant išlyginto, standartinėse kondicionavimo sąlygose [41] atsigulėjusio, tolygiai patiesto bandinio paviršiaus. Geresniam skysčio elgsenos stebėjimui – distiliuotas vanduo buvo nuspalvintas. Lašinti naudota ISO 8655-2 [48] standarte nurodyta kalibruota pipetė, lašintas vandens kiekis – 1  $\mu$ l. Pipetės principinė schema pateikta 27 paveiksle.



**26 pav.** Bandymui naudotos pipetės principinė 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 [48]

Matuotas bandinio paviršiuje susidariusios skysčio dėmės plotas laikui bėgant, fiksuojant nuotraukas ties 0 (lašo užlašinimo momentas), 5, 10, 20, 40, 60, 120 s. Distiliuoto vandens lašo elgsena ir susidaranti dėmė filmuota naudojant *Coolpix 4500* skaitmeninę fotokamerą. Gautas vaizdo įrašas sukadruotas pasirinktais laiko intervalais – 0 (lašo užlašinimo momentas), 5, 10, 20, 40, 60, 120 s. Nuotraukose užfiksuotos dėmės plotas išmatuotas naudojant *Metric 7.0* programinę įrangą.

### Mezginių statinės vandens absorbcijos tyrimo metodika

Mezginių statinės absorbcijos nustatymo tyrimas atliktas pagal „BV S1008’ Bureau Veritas Consumer Products Service“ tyrimų metodiką [49]. Mezginiai kondicionuoti standartinėse kondicionavimo sąlygose [41], iš jų iškirpta po tris 100×100 mm dydžio bandinius, fiksuojama sausų bandinių masė. Toliau bandiniai 1 minutę mirkyti distiliuotame vandenyje. Pasibaigus mirkymo laikotarpiui, bandiniai 3 minutėms pakabinti perteklinio vandens šalinimui ir dar kartą

pasveriami. Bandinių sugeriamas vandens kiekis apskaičiuotas kaip procentinis skirtumas tarp bandinių sausos masės ir masės po įmirkymo. Statinė vandens adsorbcija  $S_w$  apskaičiuota pagal formulę [49]:

$$S_w = \frac{m_w - m_d}{m_d} \cdot 100, \%; \quad (6)$$

čia,  $S_w$  – statinė vandens absorbcija, %;

$m_w$  – šlapių bandinių masė, g;

$m_d$  – sausų bandinių masė, g.

#### **Mezginų džiūvimo greičio nustatymas**

Mezginų džiūvimo greitis nustatytas dar kartą sveriant bandinius po statinės absorbcijos tyrimo. Bandiniai sverti praėjus 20, 40, 60, 80, 100 ir 120 minučių. Gauti rezultatai pateikti grafiškai.

#### **4.4. Duomenų statistinių rodiklių skaičiavimo metodika**

Gauti rezultatai apdorojami, gautos vertės tikslinamos skaičiuojant jų statistines reikšmes. Konkrečiam rezultatų įvertinimui apskaičiuotos šios statistinės charakteristikos [50]:

##### **Aritmetinis matavimų rezultatų vidurkis:**

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (7)$$

čia  $\bar{X}$  - rezultatų aritmetinis vidurkis,

$x_i$  –  $i$ -ojo bandymo rezultatai;

$n$  – bandymų skaičius.

##### **Vidutinė kvadratinė nuokrypa:**

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}; \quad (8)$$

čia  $S$  – vidutinis kvadratinis nuokrypis;

$\bar{X}$  - rezultatų aritmetinis vidurkis;

$n$  – bandymų skaičius;

$x_i$  –  $i$ -ojo bandymo rezultatas.

##### **Variacijos koeficientas:**

$$v = \frac{S}{\bar{x}}; \quad (9)$$

čia  $V$  – variacijos koeficientas;

$S$  – vidutinis kvadratinis nuokrypis;

$\bar{X}$  - rezultatų aritmetinis vidurkis.

**Matavimo rezultatų absoliutinė atsitiktinė paklaida:**

$$\Delta_a = \frac{t_a \cdot S}{\sqrt{n}}; \quad (10)$$

čia  $t_a$  - Stjudento koeficientas, priklausantis nuo pasirinktosios pasiklovimo tikimybės  $\alpha$  ir bandymų skaičiaus  $n$ ;

$S$  - vidutinis kvadratinis nuokrypis;

$n$  – bandymų skaičius.

**Matavimo rezultatų santykinė pasikliautinė paklaida:**

$$\delta_a = \frac{\Delta_a}{\bar{x}} \cdot 100, \%; \quad (11)$$

čia  $\delta_a$  – santykinė pasikliautinė paklaida;

$\Delta$  – atsitiktinė absoliutinė paklaida;

$\bar{X}$  - rezultatų aritmetinis vidurkis.

## 5. Tyrimų rezultatai

### 5.1. Mezginių sandaros rodiklių nustatymas

Siekiant nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką tiriamųjų mezginių struktūros ir fizikinėms savybėms, tyrimui buvo pagaminta 10 mezginių variantų iš natūralių, dirbtinių ir sintetinių verpalų bei siūlų derinių. Pagal 4.1 poskyryje aprašytas metodikas nustatyti mezginių sandaros rodikliai pateikti 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Pagrindinių tiriamųjų mezginių sandaros rodiklių vertės

Eil. Nr.	Žymėjimas	Kilpų žingsnis $A$ , mm	Kilpų aukštis $B$ , mm	Horizontalusis tankumas $P_h$ , $\text{cm}^{-1}$	Vertikalusis tankumas $P_v$ , $\text{cm}^{-1}$	Kilpos ilgis $l$ , mm	Paviršinis tankis $M$ , $\text{g/m}^2$	Storis $b$ , mm
1.	LS	0,77	0,59	13	17	3,01	140,1	0,58
2.	SL-1	0,63	0,42	16	24	2,70	170,7	0,60
3.	SL-2	0,77	0,37	13	27	2,90	266,6	0,64
4.	SL-PAM-1	0,70	0,50	14	20	3,01	336,0	1,01
5.	SL-3	0,71	0,50	14	20	3,07	217,5	0,61
6.	SL-4	0,71	0,45	14	22	2,95	201,8	0,66
7.	SL-PAM-2	0,71	0,50	14	20	3,06	232,0	0,75
8.	PAM-1	0,91	0,77	11	13	3,78	254,3	1,28
9.	PAM-2	1,11	0,77	9	13	4,09	330,1	1,85
10.	PAM-3	1,67	1,25	6	8	6,18	362,0	1,98

Taip pat buvo apskaičiuotos matavimų rezultatų statistinės charakteristikos. 2 lentelėje pateiktų pagrindinių megztų medžiagų sandaros rodiklių variacijos koeficientas neviršijo penkių procentų.

### 5.2. Mezginių sandaros rodiklių pokyčiai po skaitmeninio marginimo

Skyriuje pateikiami tirtų mezginių kilpos ilgio, horizontaliojo  $P_h$  ir vertikaliojo  $P_v$  tankumų ir storio pokyčiai po skaitmeninio marginimo.

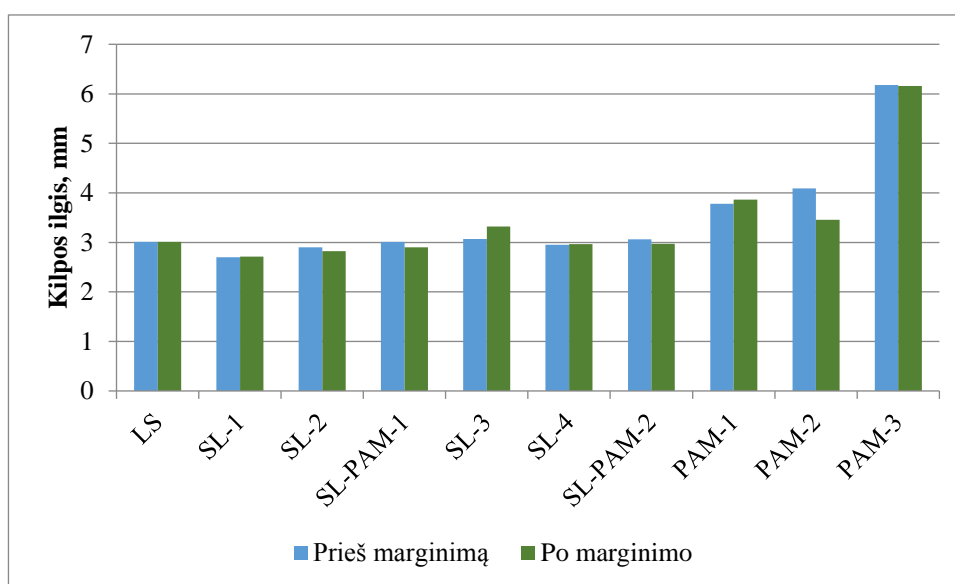
Iš literatūros šaltinių žinoma, kad megztų medžiagų sandaros rodikliams, tokiems kaip horizontaliajam ir vertikaliajam tankumams, kilpos ilgiui, paviršiniam tankiui, storiui, įtakos turi mezginių pluoštinė sudėtis, ilginis tankis ir apdaila. Horizontalusis ir vertikalusis tankumai susiję su mezginio kilpos žingsnio ir kilpos aukščio rodikliais, nuo kurių priklauso kilpos forma ir ilgis.

Tiriamųjų megztų medžiagų pagrindinių sandaros rodiklių vertės po skaitmeninio marginimo pateiktos 3 lentelėje. Gauti rezultatai buvo palyginti tarpusavyje, kad būtų galima nustatyti skaitmeninio marginimo įtaką mezginių sandaros rodikliams.

**3 lentelė.** Mezginių kilpos ilgis ir horizontalusis bei vertikalusis tankumai prieš ir po skaitmeninio marginimo.

Eil. Nr.	Žymėjimas	Prieš marginimą			Po marginimo		
		Kilpos ilgis, mm	$P_h$ , cm <sup>-1</sup>	$P_v$ , cm <sup>-1</sup>	Kilpos ilgis, mm	$P_h$ , cm <sup>-1</sup>	$P_v$ , cm <sup>-1</sup>
1.	LS	3,01	13	17	3,01	15	15
2.	SL-1	2,70	16	24	2,71	19	20
3.	SL-2	2,90	13	27	2,82	17	21
4.	SL-PAM-1	3,01	14,2	20	2,90	14	23
5.	SL-3	3,07	14	20	3,32	14	16
6.	SL-4	2,95	14	22	2,96	15	20
7.	SL-PAM-2	3,06	14	20	2,97	16	19
8.	PAM-1	3,78	11	13	3,86	12	11,5
9.	PAM-2	4,09	9	13	3,45	12	15
10.	PAM-3	6,18	6	8	6,16	7	7

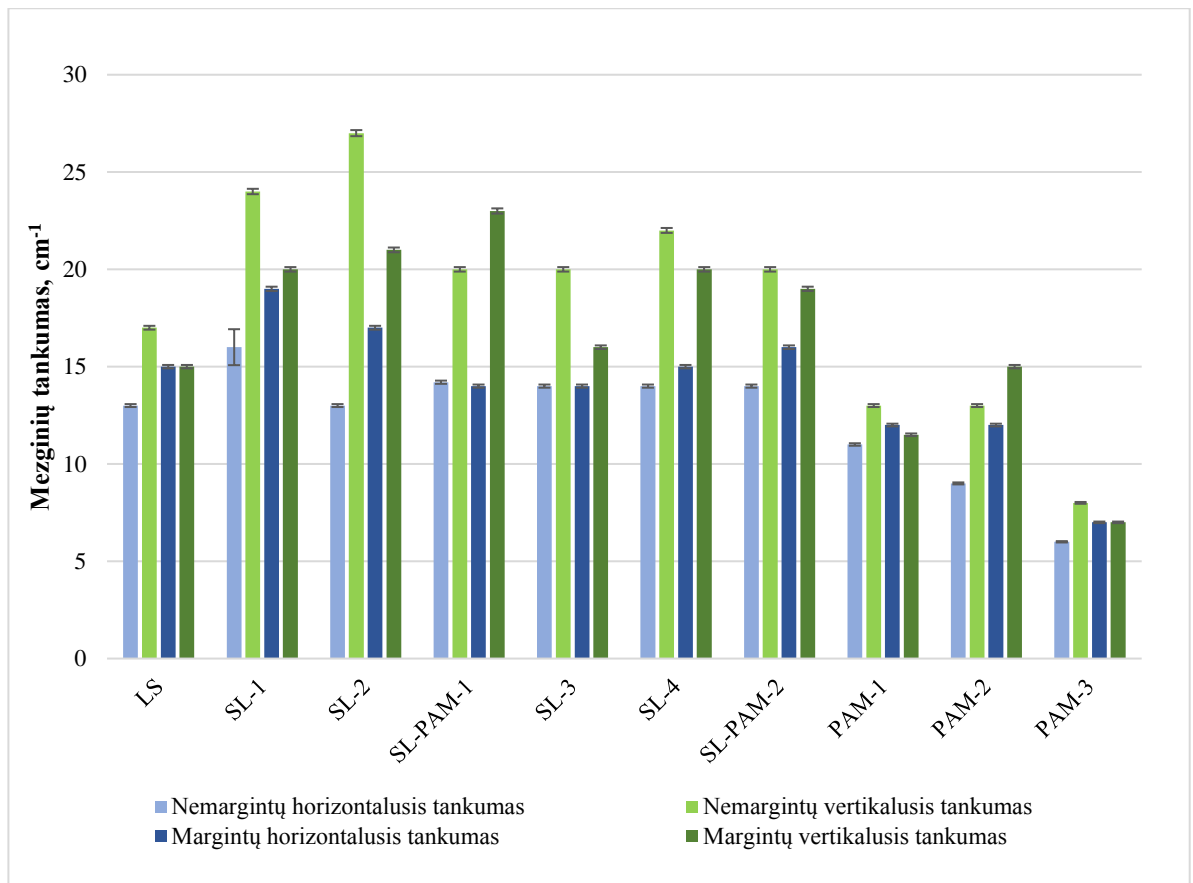
Kadangi kilpos ilgis yra pagrindinis mezginių sandaros rodiklis, tai buvo lyginamas tiriamųjų mezginių kilpos ilgio pokytis po skaitmeninio marginimo proceso. Mezginių kilpos ilgiai prieš marginimą ir po skaitmeninio marginimo pateikti 27 paveiksle.



**27 pav.** Nemargintų ir margintų mezginių kilpos ilgio verčių palyginimas

Iš pateiktų rezultatų matyti, kad skaitmeninis marginimas ženkliai įtakos mezginių kilpos ilgiui neturėjo.

Mezginių horizontaliojo  $P_h$  ir vertikaliojo  $P_v$  tankumų pokyčio po skaitmeninio marginimo diagrama pateikta 28 paveiksle.



**28 pav.** Mezgiinių tankumų  $P_h$  ir  $P_v$  pokytis po skaitmeninio marginimo

Analizuojant mezgiinių tankumų pakitimus matyti, kad visų mezgiinių, išskyrus *SL-PAM-1*, *SL-3*, horizontalusis tankumas  $P_h$  po skaitmeninio marginimo padidėjo 13–24 %, mezginio *SL-PAM-1* horizontalusis tankumas sumažėjo 1,4 %, o *SL-3* – nepakito. Visų mezgiinių vertikalusis tankumas  $P_v$ , išskyrus *SL-PAM-1*, *PAM-2*, po skaitmeninio marginimo sumažėjo 5–29 %. Mezgiinių *SL-PAM-1* ir *PAM-2* vertikalusis tankumas padidėjo 13 %.

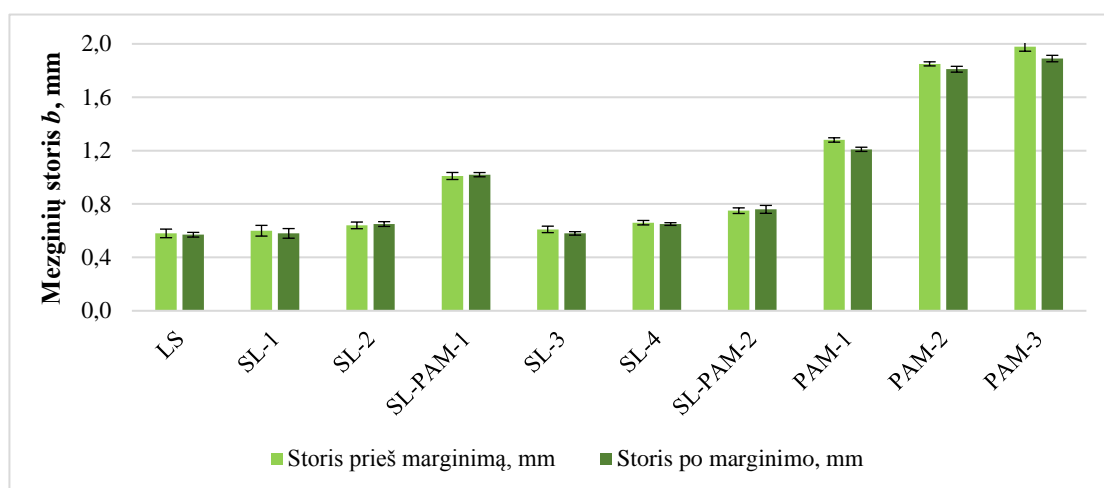
Tiriamųjų mezgiinių tankumų ir storio pokytis galėjo atsirasti dėl dažų fiksacijai naudoto karštų garų srauto. Pigmentiniais dažais skaitmeninio marginimo būdu margintoms medžiagoms nebūtinos paruošimo apdailos [51, 52] ir medžiagos plovimas po marginimo proceso, bet dažams būtina fiksacija, kuri suteikiama karštų garų srautu [53]. Fiksacijos karštais garais metu, pluoštas brinksta [54], kinta jo plaukelių matmenys, mechaninės, fizikinės savybės, plaukelių konfigūracija siūlo paviršiuje, didėja verpalų skerspjūvis [55, 56]. Fiksacijos metu medžiaga patiria santrauką, dėl to padidėja jos tankumas. Tiriamųjų mezgiinių horizontalusis ir vertikalusis tankumai kito nevienodai, tai galėjo nutikti dėl to, kad mezginio eilučių kryptimi buvo daugiau „laisvos“, galinčios trauktis medžiagos ir / ar stulpelių kryptimi medžiaga jau buvo tanki, todėl ta kryptimi santrauka buvo mažesnė arba nevyko visai. Tai pastebėta ir kitų tyrėjų gautuose rezultatuose [57], medžiagos tankumų kitimas po termofiksacijos karštais garais nustatytas ir kitų tyrėjų darbuose [58], tyrime naudotų viskozės verpalų brinkimas koreliuoja su kitų tyrėjų darbų rezultatais [59].

Tiriamųjų mezgiinių storio pokytis po skaitmeninio marginimo pateiktas 4 lentelėje ir 29 paveiksle.

**4 lentelė.** Mezginių storis prieš ir po skaitmeninio marginimo

Eil. Nr.	Žymėjimas	Storis <i>b</i> prieš marginimą, mm	Storis <i>b</i> po marginimo, mm
1.	LS	0,58	0,57
2.	SL-1	0,60	0,58
3.	SL-2	0,64	0,65
4.	SL-PAM-1	1,01	1,02
5.	SL-3	0,61	0,58
6.	SL-4	0,66	0,65
7.	SL-PAM-2	0,75	0,76
8.	PAM-1	1,28	1,21
9.	PAM-2	1,85	1,81
10.	PAM-3	1,98	1,89

Analizuojant mezginių storio pokyčius po skaitmeninio marginimo proceso, matyti, kad mezginių *SL-2*, *SL-PAM-1*, *SL-PAM-2* storis 1,5 % padidėjo, o mezginių *LS*, *SL-1*, *SL-3*, *SL-4*, *PAM-1*, *PAM-2*, *PAM-3* sumažėjo 1–1,7 %.



**29 pav.** Mezginių storio *b* pokytis po skaitmeninio marginimo

Medžiagų storio didėjimą taip pat gali paaiškinti pats dažymo procesas. Tiriamieji mezginiai buvo marginti vientisa juoda spalva. Medžiagos storis didėja, didėjant užneštų dažų sluoksnių kiekiui, nes ant medžiagos paviršiaus nusėda daugiau dažų lašų. Mezginių storį taip pat lemia užneštų dažų spalva – tamsėjant užnešamai spalvai, medžiagos storis didėja, pavyzdžiui, marginant juoda spalva, medžiaga storėja labiau, nei marginant šviesesne spalva [60].

### 5.3. Mezginių fizikinių savybių nustatymas

#### Laidumo orui nustatymas

Laidumas orui svarbus tekstilės / aprangos gaminiams, dėl savo įtakos prie dėvinčiojo kūno susidaranti mikro klimatui. Laidumo orui koeficientas *R* nustatytas pagal 4.2 skyriuje pateiktą metodiką tiek nemarginiems, tiek margintiems mezginiams. Nemarginėtų mezginių oro srauto debito aritmetinis vidurkis, laidumo orui koeficientas ir apskaičiuotas variacijos koeficientas pateikti 5 lentelėje.

**5 lentelė.** Nemargintų mezginių laidumo orui tyrimo rezultatai

Eil. Nr.	Žymėjimas	Oro srauto debito aritmetinis vidurkis	Laidumas orui $R$ , $\text{dm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$	Variacijos koeficientas $V$ , %
1.	LS	185	1544,75	2,70
2.	SL-1	138	1152,3	2,90
3.	SL-2	31,4	262,19	2,11
4.	SL-PAM-1	7,94	66,299	3,20
5.	SL-3	53,1	443,385	2,59
6.	SL-4	27,4	228,79	2,42
7.	SL-PAM-2	115	960,25	4,35
8.	PAM-1	91	759,85	3,30
9.	PAM-2	62,3	520,205	1,77
10.	PAM-3	142	1185,7	4,23

Margintų mezginių laidumo orui tyrimo rezultatai pateikti 6 lentelėje

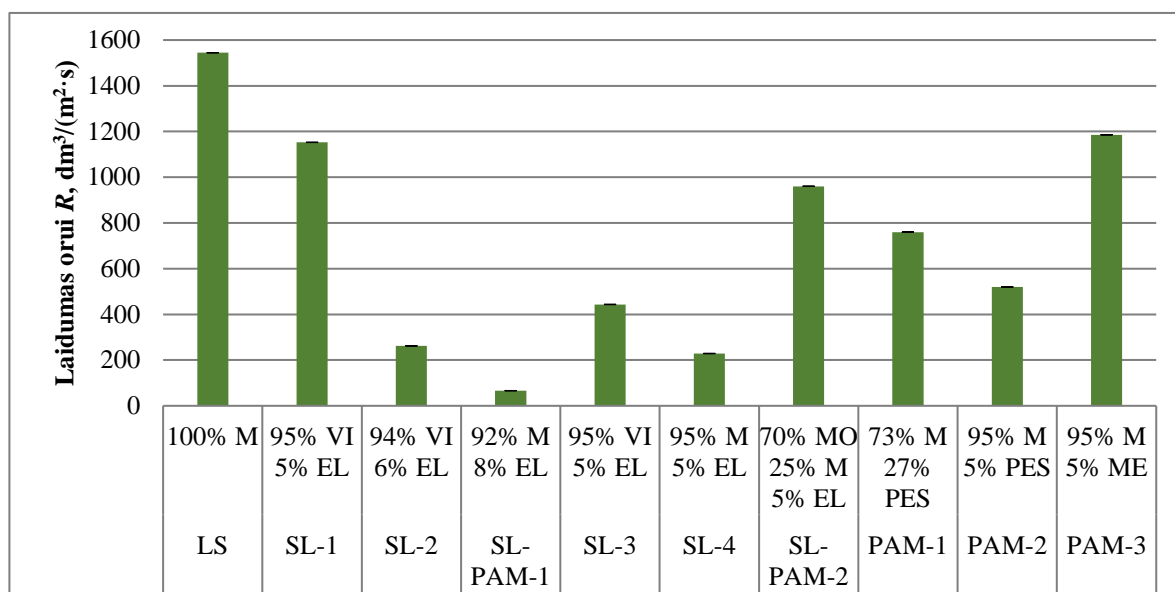
**6 lentelė.** Margintų mezginių laidumo orui tyrimo rezultatai

Eil. Nr.	Žymėjimas	Oro srauto debito aritmetinis vidurkis	Laidumas orui $R$ , $\text{dm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$	Variacijos koeficientas $V$ , %
1.	LS	155	1294,25	3,23
2.	SL-1	156	1302,60	3,14
3.	SL-2	40,1	334,84	1,34
4.	SL-PAM-1	9,2	76,82	4,35
5.	SL-3	89	743,15	3,37
6.	SL-4	31,5	263,03	4,08
7.	SL-PAM-2	139	1160,65	2,16
8.	PAM-1	97	809,95	4,72
9.	PAM-2	79	659,65	3,80
10.	PAM-3	147	1227,45	3,12

Mezginių pluoštinės sudėties įtakos laidumui orui diagrama pateikta 30 paveiksle.

Tyrimo rezultatai parodė, kad didžiausiu laidumu orui, tiek prieš, tiek po skaitmeninio marginimo, pasižymėjo mezginy *LS* iš 100 % medvilninių verpalų, megztas lygiuoju skersiniu pynimu, ploniausias iš visų tirtų mezginių. Kiek mažesniu laidumu orui pasižymėjo mezginy *PAM-3*, megztas pamušaliniu 1 pynimu, iš medvilninių verpalų ir metalizuotų siūlų gijų. Mezginy *PAM-3* yra storiausias iš visų tiriamųjų mezginių, bet yra ypač akytos struktūros – jo horizontalusis ir vertikalusis tankumai yra mažiausi, kilpos ilgis didžiausias. Tai koreliuoja su kitų tyrėjų gautais rezultatais – laidumas orui priklauso nuo kilpos ilgio mezginyje, šiam didėjant, didėja medžiagos akytumas, akytos medžiagos pasižymi didesniu laidumu orui [61–63]. Bet kilpos ilgį medžiagų laidumui orui lyginti galima naudoti tik to pačio pynimo medžiagoms [64]. Baigiamajame darbe buvo ieškota dviejų grupių, t. y., to pačio pynimo, mezginių laidumo orui priklausomybės nuo kilpos ilgio. Sluoksniuotinais ir pamušalniais pynimais numegztų mezginių laidumo orui priklausomybė nuo kilpos ilgio buvo aprašyta tiesinėmis lygtimis, kurių apibrėžties koeficientai

buvo gana žemi ( $R^2=0,588$  ir  $R^2=0,7826$ ), tačiau ši priklausomybė atspindi bendrą tendenciją, kurią patvirtina kitų tyrėjų darbai.



**30 pav.** Mezginių pluoštinės sudėties įtaka laidumui orui

Trečioje vietoje pagal laidumą orui yra meginys *SL-1*, numegztas iš viskozės pluošto verpalų ir elastano gijų, kurio storis yra vienas iš mažiausių. Ploniems meginiams būdingas didesnis laidumas orui [32].

Toliau, laidumo orui mažėjimo tvarka, seka meginys *SL-PAM-2*, kurio pagrindo sluoksnis sudarytas iš modalo pluošto verpalų, *PAM-1*, sudarytas iš 73 % medvilnės ir 27 % PES pluošto, *PAM-2*, megtas iš 95 % medvilnės ir 5 % PES, *SL-3* ir *SL-2*, sudaryti iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų, *SL-4* ir *SL-PAM-1*, sudaryti iš medvilnės verpalų ir elastano gijinių siūlų.

Matoma tendencija, kad meginiai, pluoštinėje sudėtyje turintys PES pluošto ar elastomerinių siūlų, pasižymėjo mažesnėmis laidumo orui vertėmis, nei meginiai iš grynos medvilnės ar medvilnės ir metalizuotų siūlų derinio. Mažiausiu laidumu orui pasižymėjęs meginys *SL-PAM-1*, savo sudėtyje turintis didžiausią kiekį elastano iš visų tirtų mezginių. Gauti rezultatai koreliuoja su kitų tyrėjų išvadomis – grynpluoščiai meginiai pasižymi didžiausiu laidumu orui, sintetiniai pluoštai mažina meginio laidumą orui, elastomeriniai siūlai laidumą orui mažina labiausiai, mažėjimas proporcingas elastomerinių siūlų kiekiui meginyje [65, 66].

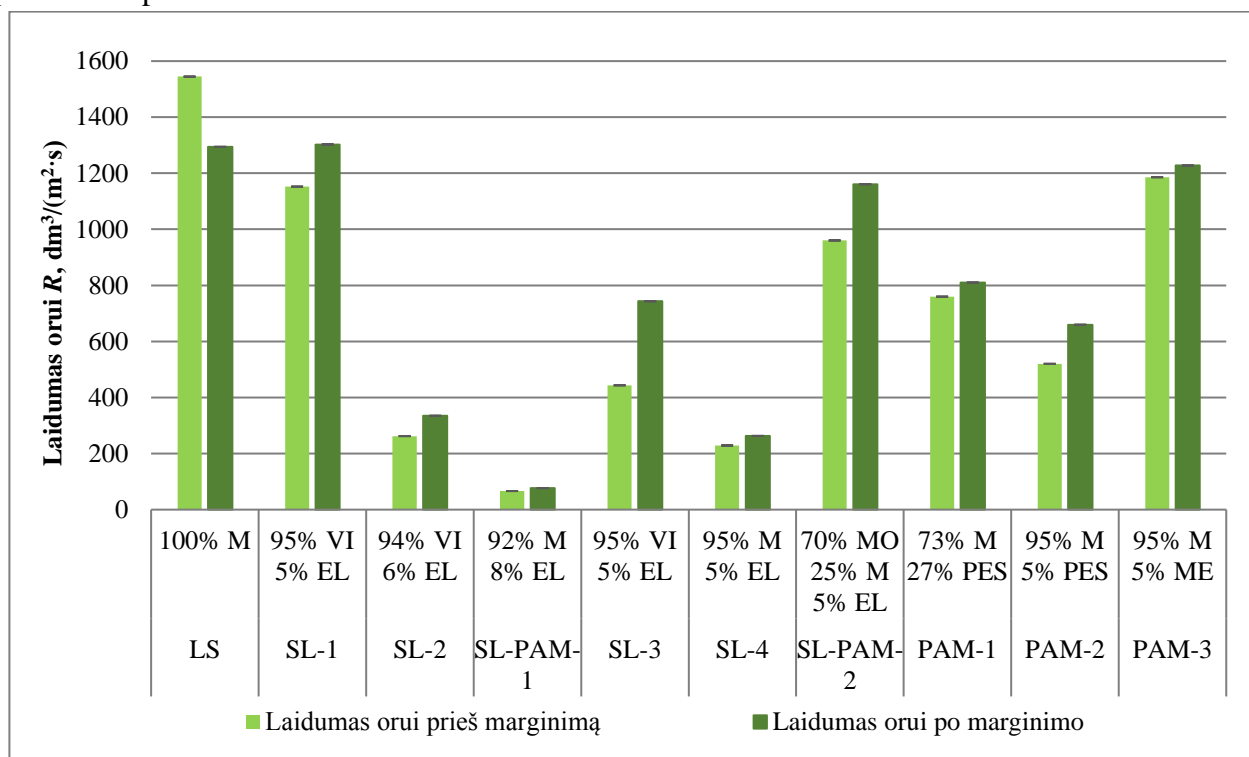
Lyginant grynpluoščius, tais pačiais pynimais megtus meginus, mezginių iš modalo, kaip ir regeneruotos celiuliozės, laidumas orui dažnai yra didesnis nei medvilnės. Viena iš galimų priežasčių – laidumą orui mažinantis medvilnei būdingas didesnis paviršiaus pūkuotumas [36, 35]. Šio tyrimo atveju gautą rezultatą galima paaiškinti tuo, jog meginyje iš modalo taip pat buvo elastomerinių siūlų, kurie mažina mezginių laidumą orui [65].

Lyginant tiriamuosius meginus pagal jiems naudotų verpalų ilginis tankius, sluoksniuotinais pynimais megtuose meginuose matoma tokia tendencija – didėjant meginiai naudotų verpalų ilginiam tankiui, mažėjo mezginių laidumas orui. Ta pati tendencija matoma ir pamušalinių pynimų mezginių grupėje. Tokias išvadas gavo ir kiti tyrėjai [67, 68]. Mezginių *PAM-1* ir *PAM-2* pagrindo siūlų ilginio tankio vertės aukštesnės, nei mezginių *SL-2*, *SL-3*, *SL-4*, *SL-PAM-1*, bet gautos

laidumo orui vertės taip pat didesnės, nei minėtų mezginių. Tą galima paaiškinti anksčiau skyriuje aprašytu elastano gijinių siūlų poveikiu laidumui orui – elastano kiekis medžiagoje stipriai mažina jos laidumą orui. Panaši tendencija matoma *SL-1* ir *PAM-3* mezginiams, šiuo atveju didesnę *PAM-3* laidumą orui nulemia ne tik elastano nebuvimas, bet ir anksčiau aprašyta akyta struktūra.

Lyginant tirtus mezginius pagal jų horizontaliuosius ir vertikaliuosius tankumus, aiškios tendencijos nematyti. Remiantis kitų tyrėjų darbais, laidumas orui yra atvirkščiai proporcingas tankumams – šiems didėjant, mažėja laidumas orui, nes mažėja medžiagos akytumas [69, 70]. Nesutapimą su kitų tyrėjų darbų rezultatais galėjo nulemti kitų laidumą orui įtakojančių veiksnių visuma – dalies mezginių pluoštinėje sudėtyje esantis elastanas, skirtingi panaudoti pynimai ir kt.

Skaitmeninio marginimo proceso ir pluoštinės sudėties įtakos mezginių laidumui orui diagrama pateikta 31 paveiksle.



**31 pav.** Skaitmeninio marginimo ir pluoštinės sudėties įtaka tiriamųjų mezginių laidumui orui

Lyginant margintų ir nemargintų mezginių laidumą orui, matyti, kad po skaitmeninio marginimo proceso beveik visų tirtų mezginių laidumas orui padidėjo, tik mezginio *LS* laidumas orui sumažėjo 19 %.

Mezginio *LS* laidumo orui sumažėjimas po skaitmeninio marginimo proceso sutampa su kitų tyrėjų atliktų tyrimų rezultatais. Tekstilės medžiagų laidumą orui lemia jos struktūros akytumas – tarpai tarp medžiagą sudarančių siūlų ir ertmės siūlo struktūroje, t. y., tarpai tarp verpalus sudarančių pluošto plaukelių. Lemiamas veiksnys laidumui orui yra tarpai tarp siūlų medžiagoje. Tekstilės medžiagoms taikant skaitmeninį marginimą, jų laidumas orui pakinta nežymiai, nes skaitmeniniam marginimui naudojami dažai sulaikomi ertmėse siūle, bet neužpildo tarpų tarp siūlų [71–73].

Likusių tyrime naudotų mezginių laidumas orui padidėjo 11,5–22 %. Tai gali būti paaiškinama mezginių akytumu ir paviršiaus plaukuotumu – skaitmeninio marginimo dažai sulaikomi medžiagos

paviršiuje, ertmėse siūlo struktūroje, taip sumažinant marginto mezginio paviršiaus plaukuotumą, kuris mažina laidumą orui [35].

#### 5.4. Mezginių vandens absorbcijos nustatymas

Vandens absorbcija ir drėgmės judėjimas per tekstilės gaminius turi didelę įtaką komfortabilumui. Moksliniuose tyrimuose dažniausiai analizuojamos megztų medžiagų sorbcinės savybės – statinė ir dinaminė absorbcijos. Drėgmės judėjimas megztose medžiagose priklauso nuo medžiagos pluoštinės sudėties, sandaros ir apdailos. Be to, yra labai svarbi absorbcijos trukmė, t. y., laikas, per kurį medžiaga absorbuoja skystį.

##### Dinaminė vandens absorbcija

Baigiamajame projekte atlikti mezginių dinaminės absorbcijos tyrimai, stebint absorbuojamo vandens dėmių plotų kitimą nuo užlašinimo momento iki 120 sekundžių sugėrimo. Padėjus lašą ant megztos medžiagos, stebimas skysčio dėmės plitimas arba, atvirkščiai, vandens lašo nesugėrimas. Siekiant išanalizuoti skysčio dėmės kitimo dinamiką skirtingo pynimo ir pluoštinės sudėties tiriamiesiems mezginiams, buvo atlikti tyrimai pagal 4.3 skyriuje aprašytą metodiką, kai skysčio lašas padedamas ant mezginio dešininės pusės ir vandens dėmės kitimo dinamikos procesas filmuojamas iš viršaus.

Dinaminės vandens absorbcijos tyrimo rezultatai pateikti 7 lentelėje.

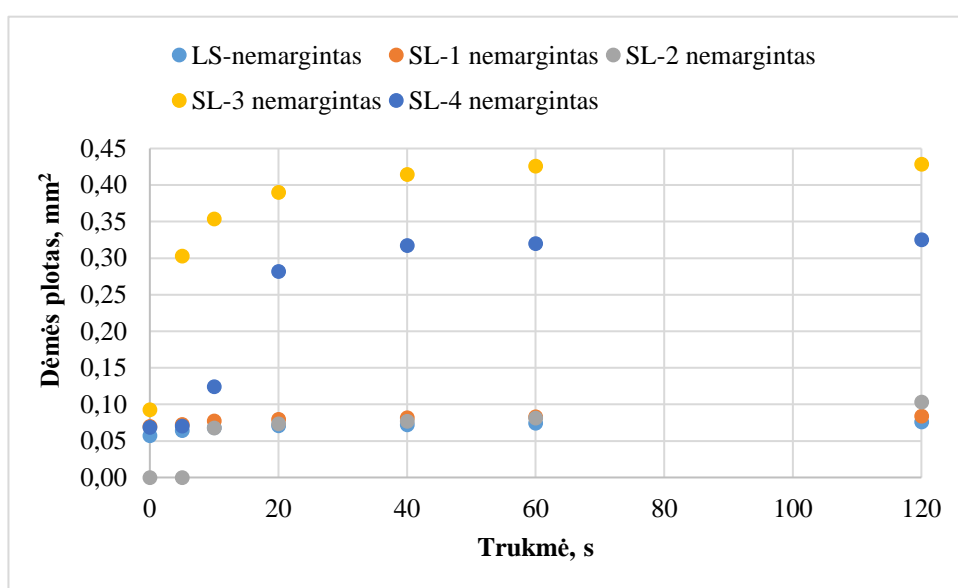
**7 lentelė.** Dinaminės vandens absorbcijos rezultatai

Nemargintų									
Eil. Nr.	Žymėjimas	Laikas, s	0 s	5 s	10 s	20 s	40 s	60 s	120 s
1	LS	Dėmės plotas, mm <sup>2</sup>	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
2	SL-1		0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
3	SL-2		0,00	0,00	0,07	0,07	0,08	0,08	0,10
4	SL-PAM-1		0,28	0,33	0,35	0,37	0,39	0,40	0,41
5	SL-3		0,09	0,30	0,35	0,39	0,41	0,43	0,43
6	SL-4		0,07	0,07	0,12	0,28	0,32	0,32	0,33
7	SL-PAM-2		0,10	0,32	0,39	0,42	0,45	0,46	0,47
8	PAM-1		0,16	0,33	0,40	0,43	0,63	0,67	0,74
9	PAM-2		0,07	0,27	0,37	0,46	0,46	0,50	0,52
10	PAM-3		0,00	0,25	0,54	0,72	0,77	1,01	1,51
Margintų									
Eil. Nr.	Žymėjimas	Laikas, s	0 s	5 s	10 s	20 s	40 s	60 s	120 s
1	LS	Dėmės plotas, mm <sup>2</sup>	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
2	SL-1		0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,16	0,41
3	SL-2		0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08
4	SL-PAM-1		0,34	0,38	0,44	0,49	0,54	0,58	0,67
5	SL-3		0,08	0,08	0,09	0,15	0,51	0,63	0,76
6	SL-4		0,07	0,08	0,18	0,33	0,39	0,42	0,43
7	SL-PAM-2		0,08	0,12	0,54	0,64	0,68	0,72	0,77

8	PAM-1		0,06	0,07	0,17	0,25	0,25	0,29	0,41
9	PAM-2		0,07	0,08	0,25	0,46	0,59	0,65	0,80
10	PAM-3		0,11	0,21	0,33	0,46	0,51	0,54	0,64

Nemargintų mezginių vandens absorbcijos diagramos pateiktos 32 ir 34 paveiksluose, nemargintų mezginių lašo dėmių nuotraukos pateiktos 33 ir 35 paveiksluose.

Analizuojant nemargintų mezginių dinaminės absorbcijos rezultatus, nustatyta, kad mezginyje LS, numegztas iš hidrofilinių medvilninių verpalų, pasižymėjo neintensyviausia vandens absorbcija, vandens dėmės plotas pakito 0,02 mm<sup>2</sup>. Šio mezginio storis yra mažiausias iš visų tiriamųjų mezginių. Gautas rezultatas sutampa su kitų tyrėjų išvadomis – medžiagos vandens absorbcijai didelę įtaką turi jos storis, t. y., didėjant storiui, intensyviau medžiagos vandens absorbcija [30, 74–76].



**32 pav.** Lygiojo skersinio ir sluoksniuotinais pynimais nemargintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos diagrama

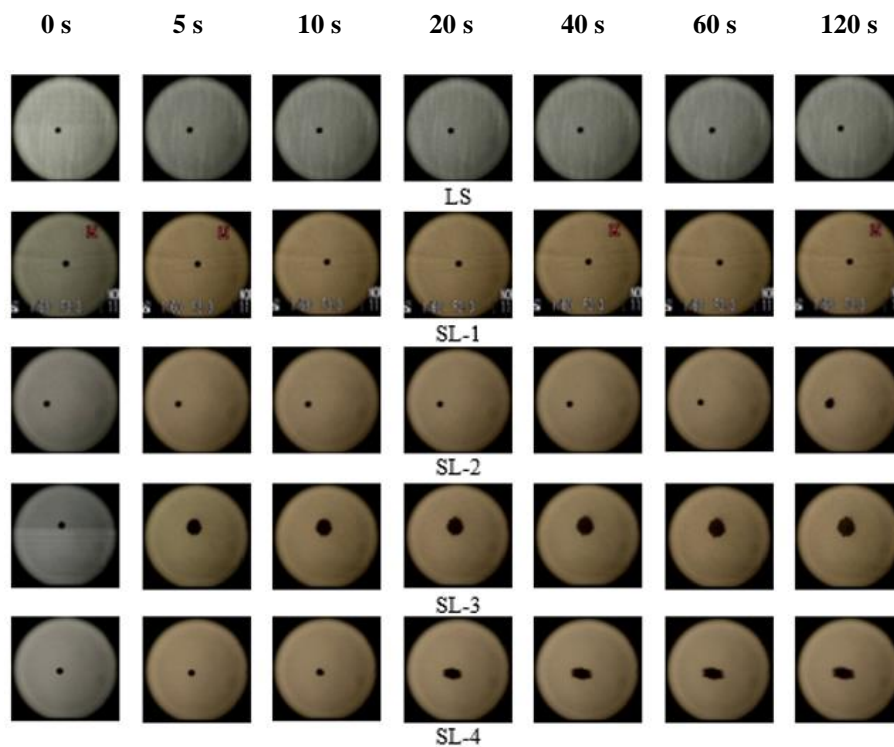
Nemargintų lygiojo skersinio ir sluoksniuotinais pynimais numegztų medžiagų dinaminės vandens absorbcijos dėmės ploto pokyčio priklausomybės nuo laiko aprašytos logaritminėmis lygtimis, kurios kartu su apibrėžties koeficientais pateiktos 8 lentelėje. Šios lygtys gerai aprašo analizuojamą intervalą, o priklausomybių apibrėžties koeficientai yra pakankamai aukšti ( $R^2 > 0,8$ ).

**8 lentelė.** Lygiojo skersinio ir sluoksniuotinių pynimų nemargintų mezginių dėmės ploto pokyčio tyrimo empirinės lygtys ir apibrėžties koeficientai

Žymėjimas	Lygtis	Apibrėžties koeficientas
LS-nemargintas	$y = 0,0094\ln(x) + 0,0576$	$R^2 = 0,9981$
SL-1 nemargintas	$y = 0,0077\ln(x) + 0,0688$	$R^2 = 0,9766$
SL-2 nemargintas	$y = 0,0555\ln(x) - 0,0101$	$R^2 = 0,8664$
SL-3 nemargintas	$y = 0,1671\ln(x) + 0,1405$	$R^2 = 0,9154$
SL-4 nemargintas	$y = 0,1624\ln(x) + 0,0175$	$R^2 = 0,8363$

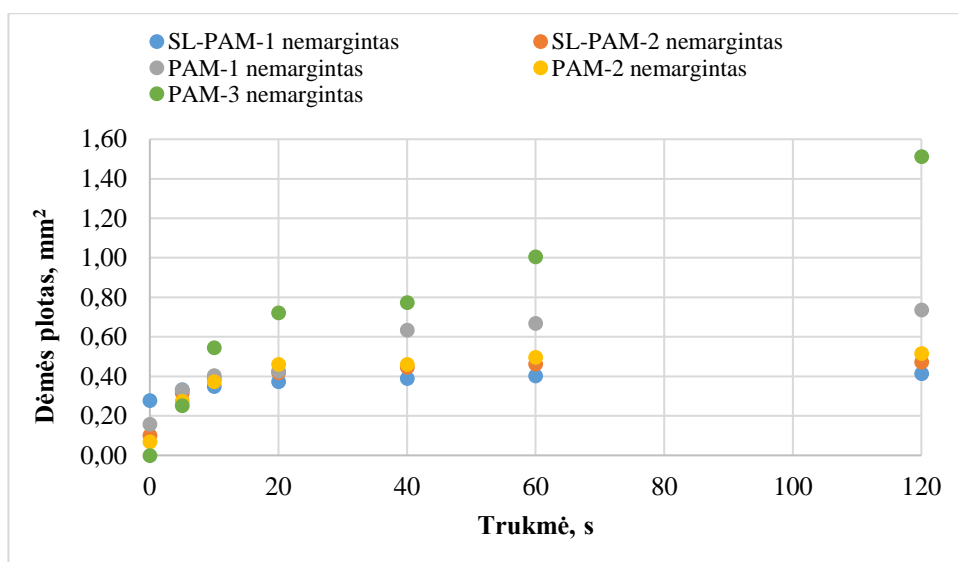
Sluoksniuotinais pynimais iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų numegzti mežginiai *SL-1* ir *SL-2* pasižymėjo neintensyvia absorbcija per visą stebėjimo laikotarpį: mežginio *SL-1* vandens dėmės plotas pakito 0,01 mm<sup>2</sup>, mežginio *SL-2* dėmės plotas pradėjo plisti po 10 sekundžių ir per stebėjimo laikotarpį pakito 0,03 mm<sup>2</sup>.

Mežginys *SL-3*, numegztas iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų, pasižymėjo intensyvesne vandens absorbcija po 5 sekundžių stebėjimo. Lyginant su *SL-1*, mežginys *SL-3* yra storesnis, didesnio paviršinio tankio, todėl jo absorbcija intensyvesnė. Sluoksniuotinių mežginių grupėje šio mežginio vandens dėmės plotas visame stebėjimo intervale iki 120 sekundžių ženkliai pakito (0,13 mm<sup>2</sup>).



**33 pav.** Nemargintų lygiojo skersinio ir sluoksniuotinais pynimais megtų mežginių lašo dėmės nuotraukos

Mežginio *SL-4*, numegzto iš medvilninių verpalų ir elastano gijinių siūlų, vandens absorbcija intensyvėjo tik po 20 sekundžių stebėjimo intervalo, vandens dėmės plotas pakito 0,05 mm<sup>2</sup>. Šis mežginys šiek tiek storesnis, mažesnis kilpos ilgis, nei mežginio *LS*. Tai sutampa su kitų tyrėjų darbų rezultatais – mežginio gebėjimą absorbuoti vandenį lemia jo storis [30, 74–76] ir kilpos ilgis, t. y., mažėjant kilpos ilgiui, didėja vandens absorbcija [29].



**34 pav.** Sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniais pynimais megztų nemargintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos diagrama

Sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniais pynimais megztų nemargintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos dėmės ploto pokyčio priklausomybės nuo laiko aprašytos logaritminėmis lygtimis, kurios pateiktos 9 lentelėje. Gauti aukšti apibrėžties koeficientai  $R^2$  parodo, kad egzistuoja stipri priklausomybė.

**9 lentelė.** Sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniais pynimais numegztų nemargintų mezginių dėmės ploto pokyčio tyrimo empirinės lygtys ir apibrėžties koeficientai

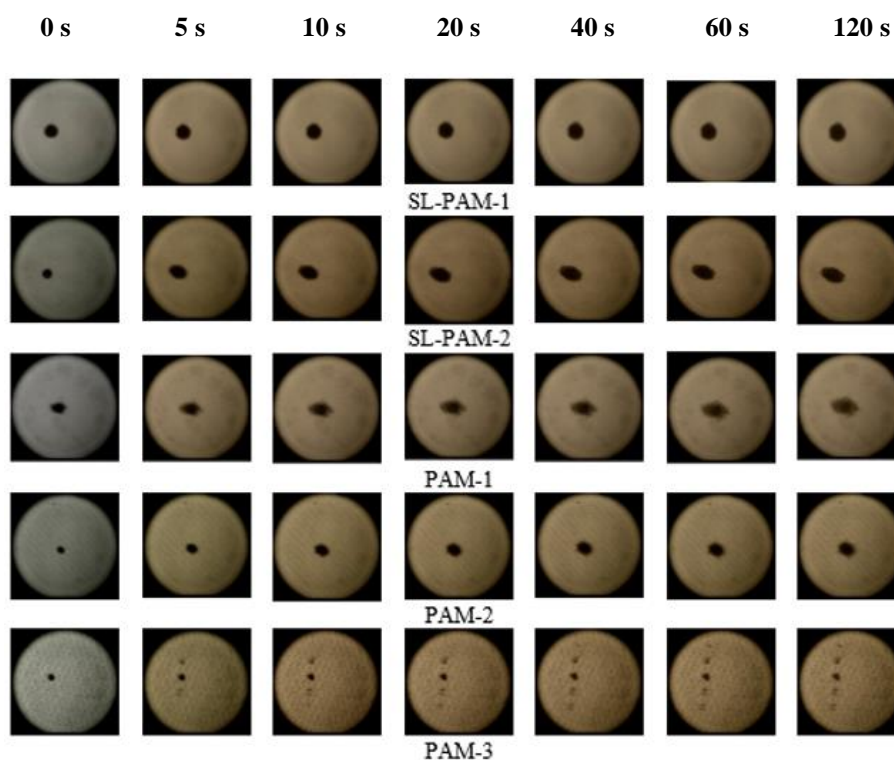
Žymėjimas	Lygtis	Apibrėžties koeficientas
SL-PAM-1 nemargintas	$y = 0,0685\ln(x) + 0,2793$	$R^2 = 0,9939$
SL-PAM-2 nemargintas	$y = 0,1846\ln(x) + 0,1478$	$R^2 = 0,9327$
PAM-1 nemargintas	$y = 0,2936\ln(x) + 0,1224$	$R^2 = 0,9331$
PAM-2 nemargintas	$y = 0,2295\ln(x) + 0,0995$	$R^2 = 0,9695$
PAM-3 nemargintas	$y = 0,6772\ln(x) - 0,1376$	$R^2 = 0,8758$

Pradiniu momentu (0 sek.) iš visų tirtų mezginių intensyviausiai vandenį absorbavo mežginys *SL-PAM-1*, numegztas sluoksniuotiniu pamušaliniu pynimu iš medvilninių verpalų ir elastano gijinių siūlų. Per likusį stebėjimo laikotarpį mežginys vandenį sugėrė tolygiai didėjančiu greičiu, vandens dėmės plotas pakito 0,13 mm<sup>2</sup>.

Mežginys *SL-PAM-2*, numegztas iš modalo ir medvilnės pluoštų verpalų bei elastano gijinių siūlų, pradiniu momentu vandenį absorbavo neintensyviai, nuo 5 sekundžių pastebėta, kad vandenį absorbuoja tolygiai, vandens dėmės plotas pakito 0,08 mm<sup>2</sup>. Sluoksniuotinių mezginių didesnį nei lygiuotu skersiniu pynimu megzto mežginio absorbcijos intensyvumą gali paaiškinti pačių pynimų skirtumas – sluoksniuotiniams pyninams būdingas didesnis akytumumas [77], o akytesnės medžiagos turi daugiau kapiliarų, kuriais juda absorbuojamas vanduo [28, 76, 78–80].

Pradiniu momentu mežginys *PAM-2*, numegztas iš medvilnės ir PES pluoštų verpalų, vandenį absorbavo neintensyviai, nuo 5 sekundžių pastebėtas tolygus absorbcijos intensyvėjimas ir vandens dėmės plotas pakito 0,25 mm<sup>2</sup>. Mežginys *PAM-1*, numegztas iš medvilnės ir PES pluoštų verpalų,

vandenį absorbavo intensyviau ir 40–120 sekundžių laikotarpyje skirtumas tarp vandens dėmės ploto tapo ženklus – 0,11 mm<sup>2</sup>.

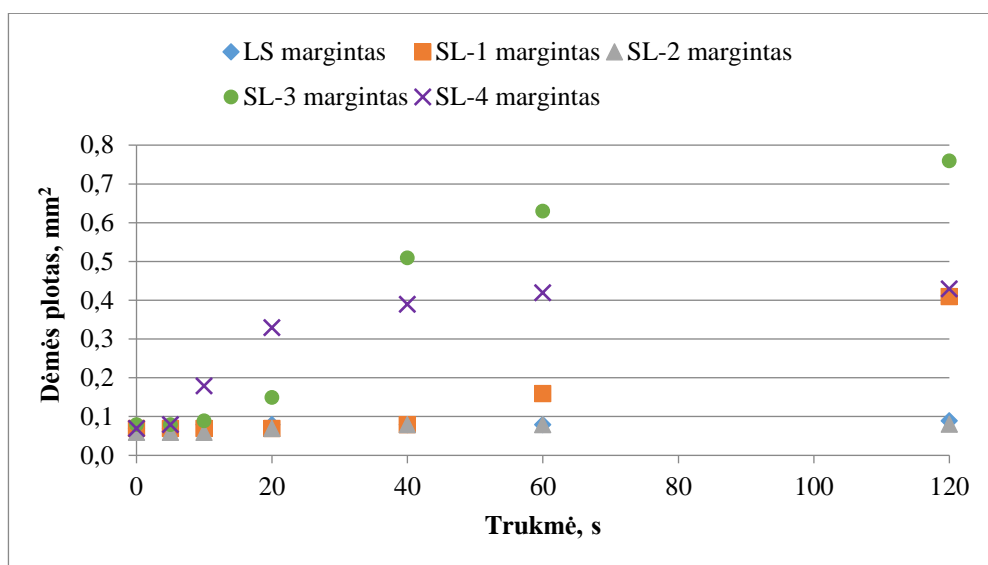


**35 pav.** Nemargintų sluoksniuotiniu pamušaliniu ir pamušaliniiais pynimais megztų mezginių lašo dėmės nuotraukos

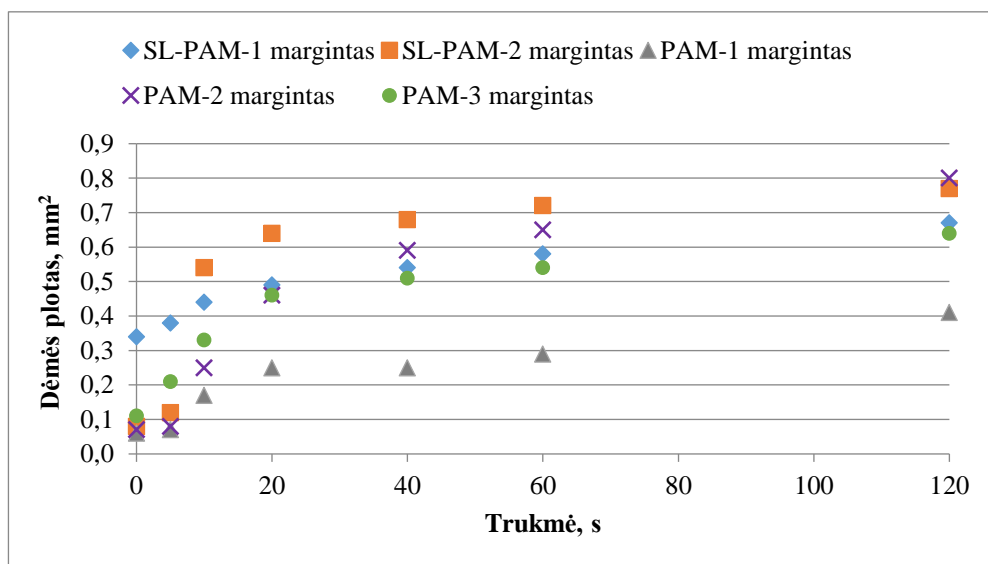
Mezginys *PAM-3*, numegztas iš medvilnės pluošto verpalų ir metalizuoto siūlo gijų derinio, pradiniu momentu vandens neabsorbavo, nuo 5 sekundžių vandens absorbcija stabiliai intensyvėjo, vandens dėmės plotas pakito 1,26 mm<sup>2</sup>. 10–120 sekundžių laikotarpyje mežginys pasižymėjo intensyviausia absorbcija iš visų tirtų mezginių – vandens dėmė pakito 0,97 mm<sup>2</sup>. Pamušaliniiais pynimais numegzti mežginiai pasižymėjo intensyviausia absorbcija, jie yra storiausii, jų pagrindo ir pamušalinių siūlų ilginiai tankiai yra didžiausi iš visų tiriamųjų mezginių. Storoms, iš didesnio ilginio tankio verpalų megztoms medžiagoms, būdinga didesnė absorbcija [30, 74–76]. Mežginys *PAM-3* yra rečiausios struktūros – jo horizontalusis ir vertikalusis tankumai yra mažiausi iš visų tirtų mezginių, kilpos ilgis didžiausias, pagrindo sluoksnio verpalų ilginis tankis yra vienas iš didžiausių, pamušalinio siūlo – pats didžiausias. Gauti rezultatai gerai koreliuoja su kitų tyrėjų darbų rezultatais – retos struktūros medžiagos, jei yra megztos iš didelio ilginio tankio siūlų, gali pasižymėti intensyvia vandens absorbcija [30].

Taigi, stebint vandens dėmės kitimo dinamiką, nustatyta, kad mežginiai, numegzti pamušaliniiais pynimais, vandenį transportuoja intensyviausiai.

Skaitmeniniu būdu margintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos rezultatų diagrama pateikta 36 paveiksle, o lašo dėmės nuotraukos pateiktos 37 paveiksle.



a



b

**36 pav.** Margintų mezginių dinaminės vandens absorbcijos rezultatai: a – lygiojo skersinio ir sluoksniuotinių pynimų, b – sluoksniuotinių pamušalinių ir pamušalinių pynimų

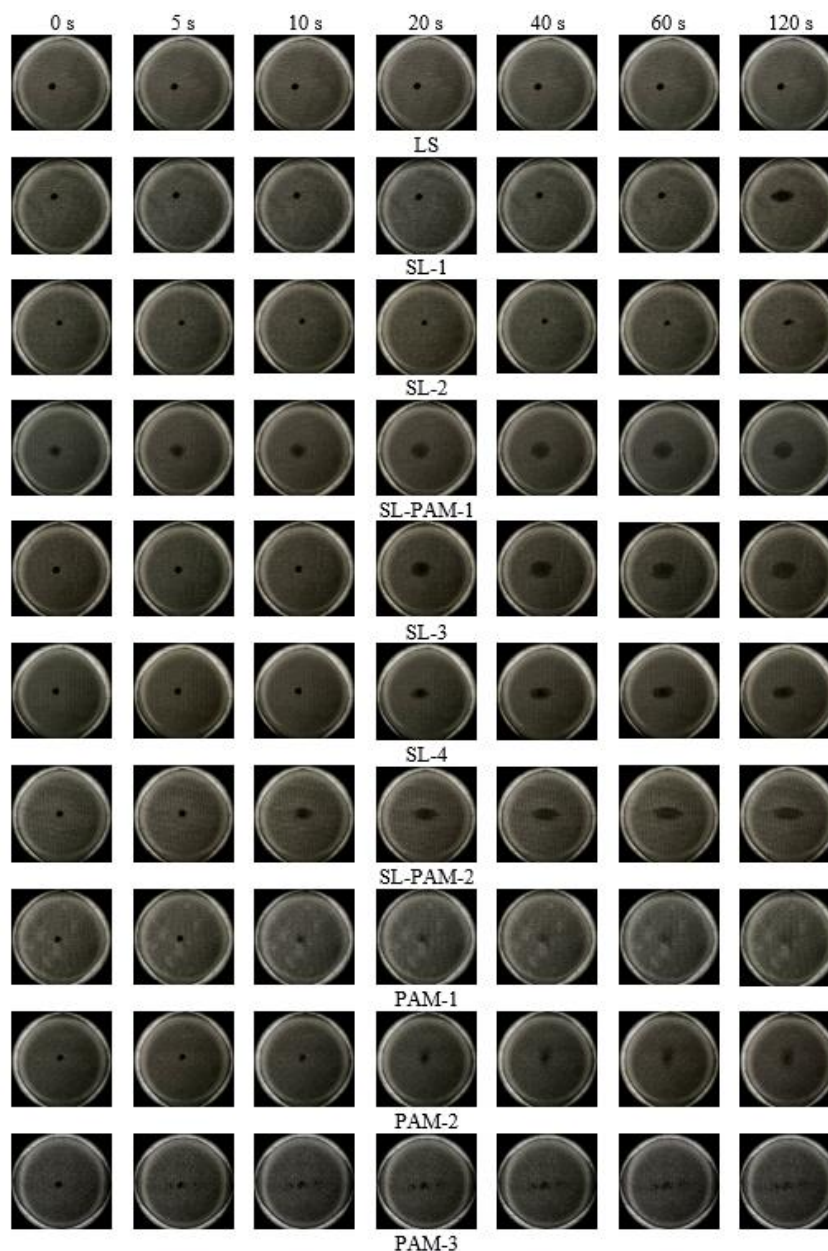
Iš 10 lentelėje pateiktų duomenų galima matyti, jog apskaičiuota empirinė lygtis atitinka eksperimentinius rezultatus, nes taip pat gauti aukšti apibrėžties koeficientai  $R^2 > 0,8$ .

**10 lentelė.** Margintų mezginių dėmės ploto pokyčio tyrimo empirinės lygtys ir apibrėžties koeficientai

Žymėjimas	Lygtis	Apibrėžties koeficientas
LS margintas	$y = 0,0095\ln(x) + 0,0658$	$R^2 = 0,9283$
SL-1 margintas	$y = 0,0192x^2 - 0,1107x + 0,1913$	$R^2 = 0,8817$
SL-2 margintas	$y = 0,0141\ln(x) + 0,0526$	$R^2 = 0,9228$
SL-3 margintas	$y = 0,1643\ln(x) + 0,2921$	$R^2 = 0,8999$
SL-4 margintas	$y = 0,2175\ln(x) + 0,0047$	$R^2 = 0,8892$
SL-PAM-1 margintas	$y = 0,1643\ln(x) + 0,2921$	$R^2 = 0,8999$
SL-PAM-2 margintas	$y = 0,3971\ln(x) + 0,0256$	$R^2 = 0,9051$

PAM-1 margintas	$y = 0,1687\ln(x) + 0,0098$	$R^2 = 0,8501$
PAM-2 margintas	$y = 0,3937\ln(x) - 0,0677$	$R^2 = 0,8791$
PAM-3 margintas	$y = 0,2735\ln(x) + 0,0662$	$R^2 = 0,9654$

Po skaitmeninio marginimo proceso, mezginių *LS* dinaminė vandens absorbcija beveik nepakito, vandens dėmės plotas kito  $0,02 \text{ mm}^2$ . Mezginių *SL-2*, *PAM-1*, *PAM-3* – dinaminė vandens absorbcija sumažėjo po skaitmeninio marginimo proceso. Per visą stebėjimo laikotarpį *SL-2* vandens dėmės plotas pakito  $0,02 \text{ mm}^2$ . Mezginio *PAM-1* vandens absorbcija intensyvėja po 10 sekundžių, vandens dėmės plotas pakito  $0,24 \text{ mm}^2$ . Mezginio *PAM-3* vandens absorbcija suintensyvėjo nuo 20 sekundžių, vandens dėmės plotas kito  $0,18 \text{ mm}^2$ . Absorbcijos sumažėjimas gali būti paaiškinamas pigmentinių dažų naudojimu – mezginių hidrofilinis pluoštas (medvilnė / viskozė) savo paviršiumi sugeria pigmentinius dažus [81, 82], kurie yra hidrofobiniai, todėl mezginių vandens absorbcija sumažėja [83] ir tai, kad skaitmeninio marginimo dažams būdingas susilaikymas ertmėse pačiame siūle [71–73].



37 pav. Margintų mezginių lašo dėmės nuotraukos

Mezginų *SL-1*, *SL-PAM-1*, *SL-3*, *SL-4*, *SL-PAM-2*, *PAM-2* dinaminė vandens absorbcija padidėjo po skaitmeninio marginimo proceso. Mezginio *SL-1* vandens absorbcija intensyvėjo nuo 60 sekundžių, vandens dėmės plotas pakito 0,25 mm<sup>2</sup>. *SL-PAM-1* absorbcija intensyvėjo tolygiai, per stebėjimo laikotarpį vandens dėmės plotas pakito 0,33 mm<sup>2</sup>. Mezginio *SL-3* vandens absorbcija intensyviausia 20–120 sekundžių laikotarpyje, vandens dėmės plotas pakito 0,61 mm<sup>2</sup>. Mezginio *SL-4* vandens absorbcija intensyvėjo nuo 10 sekundžių, vandens dėmės plotas kito 0,25 mm<sup>2</sup>. Mezginio *SL-PAM-2* vandens absorbcija intensyvėjo nuo 10 sekundžių, vandens dėmės plotas kito 0,23 mm<sup>2</sup>. Mezginio *PAM-2* vandens absorbcija suintensyvėjo po 20 sekundžių, vandens dėmės plotas pakito 0,34 mm<sup>2</sup>. Aiškios priežasties dėl absorbcijos padidėjimo nenustatyta. Visų mezginų paviršinis tankis po skaitmeninio marginimo sumažėjo. Mezginų *SL-1*, *SL-3*, *SL-4*, *PAM-2* storis po skaitmeninio marginimo sumažėjo, o mezginų *SL-PAM-1* ir *SL-PAM-2* storis padidėjo. Mezginiai *SL-1* ir *SL-3*, numegzti iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų derinio, mezginiai *SL-PAM-1* ir *SL-4* iš medvilninių verpalų ir elastano gijinių siūlų derinio, *SL-PAM-2* iš medvilninių ir modalo verpalų bei elastano gijinių siūlų derinio, *PAM-2* iš medvilnės ir PES pluoštų verpalų. Absorbcijos didėjimą gali paaiškinti pluošto brinkimo fiksacijos metu sukeltas pluošto plaukelių konfigūracijos kitimas verpalų paviršiuje [54–56], dėl kurio galėjo padidėti tarpai tarp pluošto plaukelių – didėjant šiems tarpams, didėja mezginio vandens absorbcija [84].

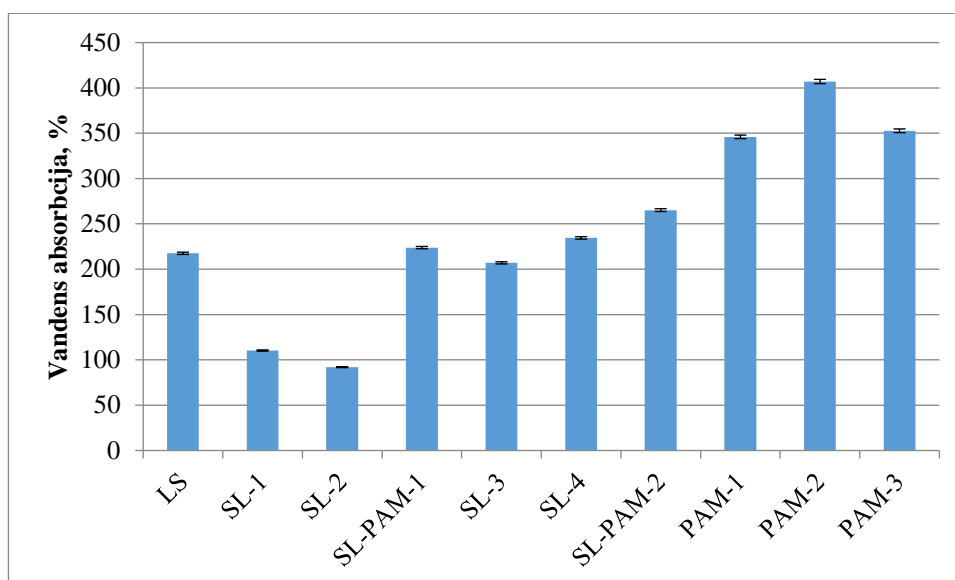
### Statinė vandens absorbcija

Statinė vandens absorbcija – tai vandens kiekis, kurį tekstilės medžiaga gali absorbuoti. Siekiant įvertinti skaitmeniniu būdu margintų ir nemargintų megztnių medžiagų gebėjimą absorbuoti vandenį, buvo tiriama pluoštinės sudėties ir pynimo įtaka vandens absorbcijai. Mezginų statinės vandens absorbcijos tyrimas buvo atliktas pagal 4.3 poskyryje pateiktą metodiką. Kiekvienas statinės vandens absorbcijos tyrimas kartotas tris kartus. Margintų ir nemargintų mezginų statinės vandens absorbcijos tyrimo rezultatai pateikti 11 lentelėje.

**11 lentelė.** Statinės vandens absorbcijos tyrimo rezultatai

Eil. Nr.	Žymėjimas	Sauso mezginio masė, g		Mezginio masė po 3 min, g		Vandens absorbcija, %	
		Nemargintų	Margintų	Nemargintų	Margintų	Nemargintų	Margintų
1	LS	1,33	1,36	4,21	3,89	217,55	186,15
2	SL-1	1,59	1,67	3,34	3,26	110,29	95,32
3	SL-2	2,68	2,61	5,14	5,92	91,98	126,84
4	SL-PAM-1	3,20	3,26	10,36	10,38	223,85	218,53
5	SL-3	2,30	2,18	7,06	6,55	206,99	200,33
6	SL-4	2,07	2,00	6,91	6,57	234,56	227,80
7	SL-PAM-2	2,16	2,12	7,90	7,54	265,17	255,50
8	PAM-1	2,62	2,66	11,67	11,56	346,04	333,96
9	PAM-2	3,25	3,22	16,48	16,11	407,09	399,80
10	PAM-3	3,67	3,53	16,61	15,84	352,67	348,70

Tiramųjų megztnių medžiagų statinė vandens absorbcija prieš marginimą pateikta 38 paveiksle.



**38 pav.** Tiriamųjų mezginių statinė vandens absorbcija prieš marginimą

Iš 38 paveikslo matoma, kad didžiausia statinė vandens absorbcija pasižymėjo pamušalinių pynimais megzti meginiai – *PAM-2*, *PAM-3*, *PAM-1*. Šie meginiai yra storiausi, megzti iš didžiausio ilginio tankio verpalų, turintys didžiausią kilpos ilgį iš visų tiriamųjų mezginių. Meginiai *PAM-2* ir *PAM-1* megzti iš medvilninių ir PES pluošto verpalų, *PAM-3* iš medvilninių verpalų ir metalizuotų siūlų derinio. Didžiausia absorbcija pasižymėjęs meginys *PAM-2* savo pluoštinėje sudėtyje turėjo 5 % PES pluošto, mažesne absorbcija pasižymėjęs *PAM-3* pluoštinėje sudėtyje turėjo 5 % metalizuoto siūlo, mažiausia absorbcija pasižymėjęs *PAM-1* savo pluoštinėje sudėtyje turėjo 27 % PES pluošto. Pastebėta tendencija, kad mezginių pluoštinėje sudėtyje didėjant PES pluošto kiekiui, mažėja mezginių statinė vandens absorbcija. Tai įrodo ir kitų tyrėjų darbų rezultatai – PES pluoštas yra hidrofobinis ir vandens neabsorbuoja [77].

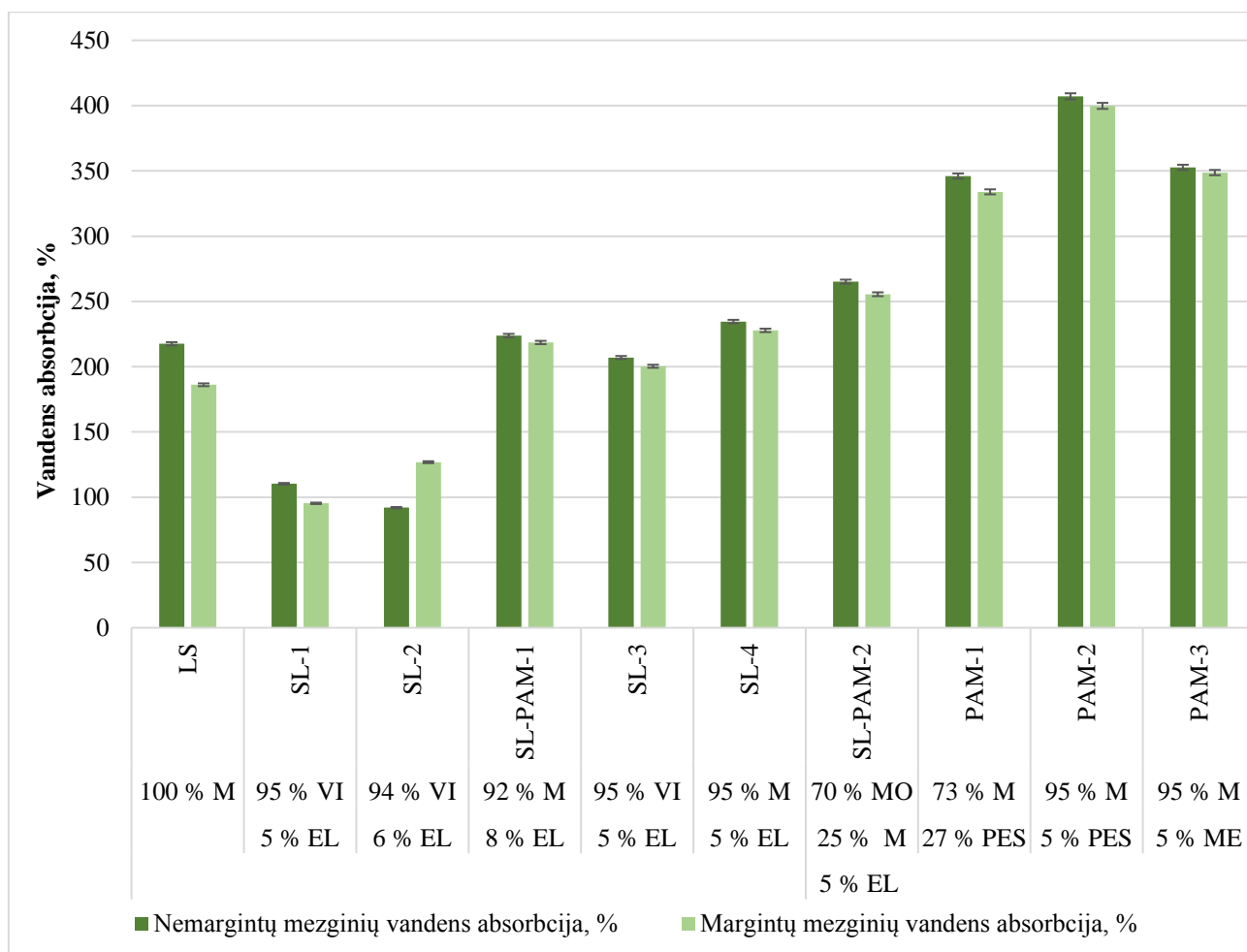
Mažesne absorbcija pasižymėjo meginiai *SL-PAM-2* ir *SL-PAM-1*. Sluoksniuotinių pamušalinių mezginių pluoštinė sudėtis yra tokia: *SL-PAM-2*, numegztas iš modalo ir medvilnės pluoštų verpalų derinio su elastano gijiniais siūlais, *SL-PAM-1*, numegztas iš medvilninių verpalų ir elastano gijinių siūlų derinio. Tarpusavyje lyginant šias medžiagas, meginio *SL-PAM-1* pluoštinėje sudėtyje yra daugiau elastano, nei meginio *SL-PAM-2* sudėtyje. Meginio *SL-PAM-2* kilpos ilgis didesnis, megztas iš didesnio ilginio tankio verpalų, nei *SL-PAM-1*. Nors jo kilpos ilgis, mezgimui naudotų verpalų ilginis tankis mažesnis, nei *SL-PAM-2*, *SL-PAM-1* yra storesnis, jo paviršinis tankis didesnis.

Iš lygiuotu skersiniu ir sluoksniuotiniiais pynimais megztų mezginių grupės didžiausia statinė absorbcija pasižymėjo meginys *SL-4*, toliau sekė *LS*, *SL-3*. Šių mezginių pluoštinė sudėtis: meginys *SL-4*, numegztas iš medvilninių verpalų ir elastano gijinių siūlų, *LS* – medvilninių verpalų, *SL-3* – viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų. Mažiausia statinė absorbcija pasižymėjo meginiai *SL-1* ir *SL-2*, kurie numegzti iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlių. Meginio *LS* verpalų ilginis tankis yra didžiausias, toliau sekė *SL-3*, *SL-2*, *SL-4*, *SL-1*. Didžiausiu storiu iš šios pynimų grupės pasižymėjo meginys *SL-4*, mažesniu *SL-2*, *SL-3*, *SL-1*, mažiausiu – *LS*. Mezginių grupėje pastebėta tendencija, kad meginio pluoštinėje sudėtyje daugėjant elastano – mažėja meginio statinė vandens absorbcija. Taip pat pastebėta, kad meginiai iš medvilnės pluošto verpalų absorbavo daugiau vandens, nei meginiai iš viskozės pluošto verpalų.

Nustatyta, kad tiriant mezginių statinę vandens absorbciją, gauti rezultatai kiek skyrėsi, nuo gautų tiriant tų pačių mezginių dinaminę absorbciją. Pastebėta bendra tendencija abejoms mezginių grupėms – statinę absorbciją lemia mezginių pluoštinė sudėtis.

Taigi, stebint mezginių statinę absorbciją, nustatyta, kad daugiausiai vandens sugeria pamušaliniiais pynimais megzti mezginiai.

Skaitmeninio marginimo įtaka tirtų mezginių statinei vandens absorbcijai pateikta 39 paveiksle.



**39 pav.** Margintų ir nemargintų mezginių statinė vandens absorbcija

Analizuojant mezginių statinę absorbciją po skaitmeninio marginimo proceso, matyti, kad visų mezginių, išskyrus mezginį *SL-2*, statinė vandens absorbcija 1,8–3,7 % sumažėjo. Po skaitmeninio marginimo proceso, mažiausia statinė absorbcija pasižymėjo meginys *SL-1*, likusių mezginių eiliškumas pagal jų vandens absorbcijos dydį išliko toks pats. Mezginių absorbcijos pokytis nesiejamas su dėl skaitmeninio marginimo pakitusiais sandaros rodikliais, nes po skaitmeninio marginimo mezginių *SL-2*, *SL-PAM-1*, *SL-PAM-2* storis padidėjo, o mezginių *LS*, *SL-1*, *SL-3*, *SL-4*, *PAM-1*, *PAM-2*, *PAM-3* sumažėjo; meginio *SL-PAM-1* horizontalusis tankumas  $P_h$  sumažėjo, *SL-3* – nepakito, likusių mezginių padidėjo; mezginių *SL-PAM-1* ir *PAM-2* vertikalusis tankumas  $P_v$  padidėjo, likusių mezginių sumažėjo. Mezinio *SL-2* absorbcijos padidėjimo priežastis neaiški. Mezginių *LS*, *SL-1*, *SL-PAM-1*, *SL-3*, *SL-4*, *SL-PAM-2*, *PAM-1*, *PAM-2*, *PAM-3* vandens absorbcija galėjo sumažėti dėl dažymui naudotų pigmentinių dažų hidrofobinės prigimties ir šiems dažams būdingo susilaikymo siūlo ertmėse – hidrofilinis mezginių pluoštas (medvilnė / viskozė) sugėrė

dažus, kurie užėmė vandens sugėrimui ir transportavimui reikalingas ertmes siūluose [71–73, 81–83].

### Megztų medžiagų džiūvimas

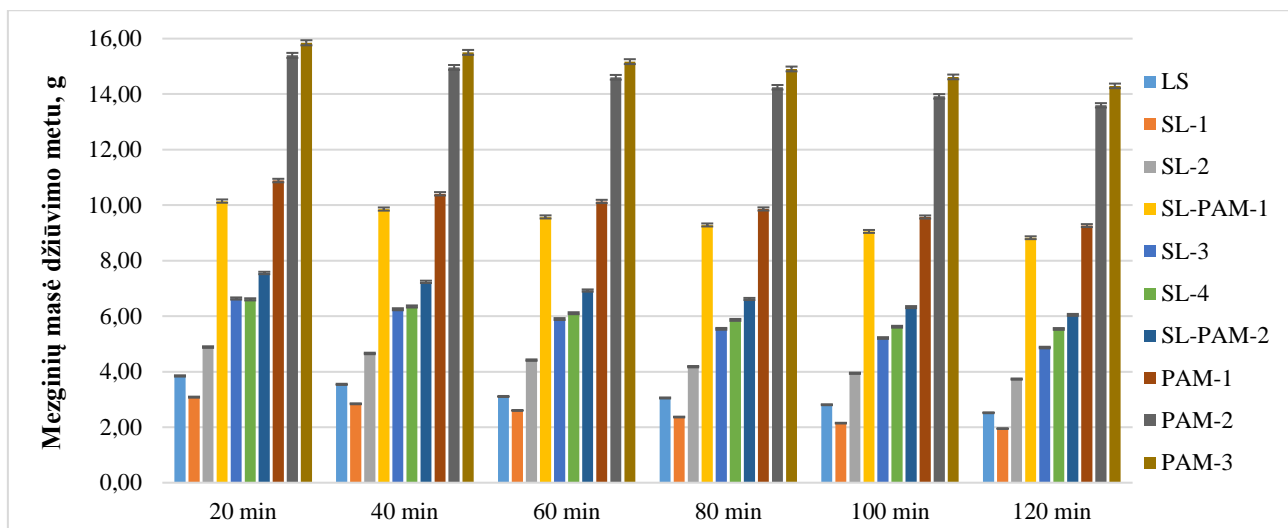
Džiūvimas tirtas nemargintiems ir skaitmeniniu būdu margintiems mezginiams, pagal 4.3 skyriuje pateiktą metodiką, bandymą kartojant tris kartus.

Mezginių džiūvimo rezultatai su apskaičiuotomis vidutinėmis vertėmis pateikti 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Mezginių masės kitimas džiūstant

Nemarginti mezginiai							
Eil. Nr.	Žymėjimas	Mezginių masė džiūvimo metu, g					
		Po 20 min	Po 40 min	Po 60 min	Po 80 min	Po 100 min	Po 120 min
1	LS	3,85	3,54	3,11	3,05	2,81	2,52
2	SL-1	3,08	2,84	2,60	2,37	2,15	1,95
3	SL-2	4,89	4,66	4,42	4,18	3,94	3,73
4	SL-PAM-1	10,15	9,86	9,58	9,29	9,05	8,83
5	SL-3	6,64	6,25	5,90	5,54	5,21	4,87
6	SL-4	6,61	6,35	6,11	5,87	5,62	5,54
7	SL-PAM-2	7,56	7,24	6,92	6,62	6,33	6,05
8	PAM-1	10,89	10,41	10,13	9,86	9,57	9,26
9	PAM-2	15,40	14,96	14,61	14,25	13,92	13,60
10	PAM-3	15,85	15,50	15,17	14,91	14,62	14,30
Skaitmeniniu būdu marginti mezginiai							
Eil. Nr.	Žymėjimas	Mezginių masė džiūvimo metu					
		Po 20 min	Po 40 min	Po 60 min	Po 80 min	Po 100 min	Po 120 min
1	LS	3,55	3,24	2,96	2,68	2,40	2,13
2	SL-1	2,74	2,55	2,30	2,09	1,92	1,80
3	SL-2	5,59	5,28	4,95	4,61	4,25	3,95
4	SL-PAM-1	9,82	9,48	9,18	8,89	8,61	8,32
5	SL-3	6,15	5,79	5,45	5,08	4,77	4,40
6	SL-4	6,23	5,94	5,67	5,40	5,14	4,86
7	SL-PAM-2	6,70	6,38	6,08	5,78	5,48	5,20
8	PAM-1	10,79	10,39	10,03	9,70	9,38	9,05
9	PAM-2	15,18	14,74	14,33	14,02	13,54	13,13
10	PAM-3	15,33	14,80	14,40	14,09	13,25	13,44

Nemargintų mezginių drėgmės kitimo diagrama pateikta 40 paveiksle.



**40 pav.** Nemargintų mezginių drėgmės kitimo diagrama

Iš nemargintų mezginių, intensyviausiai per pirmas 20 minučių drėgmę garino pamušalinių pynimų megti meginiai – *PAM-2*, *PAM-1*, *PAM-3*. Meginiai *PAM-2* ir *PAM-1*, numegzti iš medvilninių verpalų ir PES pluošto gijinių siūlų derinio, *PAM-3* – iš medvilninių verpalų ir metalizuotų siūlų derinio. Pamušalinių pynimų megti meginiai buvo storiausi, turintys didžiausią kilpos ilgį iš visų tiriamųjų mezginių, jų mezgimui naudoti didžiausio ilginio tankio verpalai. Šių mezginių horizontalieji ir vertikalieji kilpų tankumai buvo vieni iš mažiausių, todėl jų struktūra yra akyta.

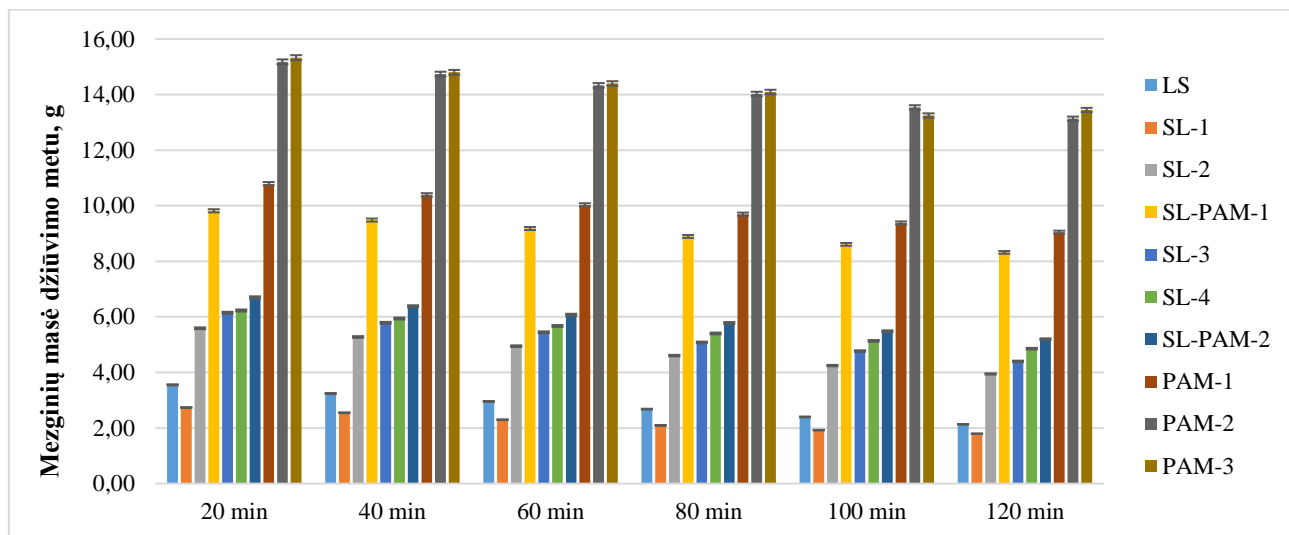
Mažesniu drėgmės garinimo intensyvumu per pirmąsias 20 minučių pasižymėjo meginiai *SL-PAM-1*, *SL-PAM-2*, *SL-3*, *SL-4*. Sluoksniuotiniams pamušaliniams ir sluoksniuotiniams pynimams numegztų medžiagų pluoštinė sudėtis yra tokia: *SL-PAM-1* numegzta iš medvilninių verpalų ir elastano pluošto derinio, *SL-PAM-2* – iš medvilninių, modalo pluošto verpalų ir elastano siūlų derinio, *SL-3* – iš viskozės verpalų ir elastano siūlų derinio, *SL-4* – iš medvilninių verpalų ir elastano siūlų derinio. Sluoksniuotinio pynimo meginiai pasižymėjo tarpusavyje panašiais, už pamušalinių pynimų megtų mezginių grupės didesniais horizontaliais ir vertikaliais tankumais, mažesniais kilpos ilgiais, todėl yra tankesni, nei pamušalinių pynimų megti meginiai.

Mažiausiu drėgmės garinimo intensyvumu per pirmąsias 20 minučių pasižymėjo meginiai *SL-2*, *SL-1*, *LS*. Šių mezginių pluoštinė sudėtis: *SL-2* ir *SL-1* numegzti iš viskozės verpalų ir elastano siūlų derinio, *LS* – iš grynpluoščių medvilninių verpalų. Sluoksniuotinių pynimų grupės mezginių statinės vandens absorbcijos rezultatus lėmė mezginių sandaros rodikliai. Meginys *SL-1* pasižymėjo didžiausiu horizontaliuoju tankumu, didesniu vertikalioju tankumu ir mažiausiu kilpos ilgiu iš visų tirtų mezginių. Meginys *SL-2* pasižymėjo didžiausiu vertikalioju tankumu ir mažesniu kilpos ilgiu iš visų tirtų mezginių. Meginio *LS* trečias iš eilės didžiausias vertikalusis tankumas ir mažiausias kilpos ilgis. Šie meginiai yra tankesni, nei anksčiau aprašyti *SL-PAM-1*, *SL-PAM-2*, *SL-3*, *SL-4*.

Meginys *LS* intensyviausiai garino drėgmę po 40-ies minučių. Po 40-ies minučių meginio *SL-3* drėgmės garinimo intensyvumas tapo mažesnis, nei meginio *SL-4*, šis pokytis išliko per visą tolesnį tyrimo laikotarpį.

Taigi, stebint drėgmės išgarinimo intensyvumą, nustatyta, kad iš nemargintų mezginių intensyviausiai drėgmę (nuo 10 iki 15 %) garinio pamušalinių pynimų megzti mežginiai, kurie labiausiai aktyvi iš visų tiriamųjų mezginių. Tai sutampa su kitų tyrėjų darbuose gautais rezultatais – mezginių džiūvimo greitį lemia mezginių tankumas, aktyvumas. Aktyvos, daug oro tarpų turinčios medžiagos džiūsta greičiau [85–94].

Margintų mezginių drėgmės kitimo diagrama pateikta 41 paveiksle.



41 pav. Margintų mezginių drėgmės kitimo diagrama

Margintų mezginių didžiausiu drėgmės garinimo intensyvumu per pirmąsias 20 minučių pasižymėjo pamušalinių pynimų numegzti mežginiai *PAM-3*, *PAM-2*, *PAM-1*. Mažesniu drėgmės išgarinimo intensyvumu pasižymėjo sluoksniuotinio pamušalinio pynimo mežginiai *SL-PAM-1*, *SL-PAM-2*. Priešingai, nei nemargintų mezginių, mežginys *SL-4* pasižymėjo didesniu drėgmės išgarinimo intensyvumu, nei mežginys *SL-3*. Toliau seka mežginiai *SL-2*, *LS*, kuris nemargintas pasižymi mažesniu drėgmės garinimo intensyvumu, nei mežginys *SL-1*, ir mežginys *SL-1*. Tolesniuose drėgmės kitimo matavimo laikuose išliko ta pati tendencija.

*LS*, *SL-1*, *SL-3* ir *SL-PAM-2* marginti mežginiai 20–60 minučių laikotarpyje pasižymėjo mažesniu drėgmės išgarinimo intensyvumu, nei nemarginti. 80–120 minučių laikotarpyje visi marginti mežginiai, išskyrus *SL-1*, pasižymėjo didesniu drėgmės išgarinimo intensyvumu, nei nemarginti. Vertinant visą stebėjimo laikotarpį, visų margintų mezginių, išskyrus *SL-3*, drėgmės išgarinimo intensyvumas padidėjo 3,47–39,72 %, mezginių *SL-3* drėgmės išgarinimo intensyvumas sumažėjo 1,83 %.

Iš 41 paveiksle pateiktos diagramos matyti, kad daugiausia (nuo 12 iki 16 %) drėgmės išgarino pamušalinių pynimų numegzti marginti mežginiai. Kaip ir nemargintų mezginių atveju, tirti pamušalinių pynimų megzti mežginiai yra labiausiai aktyvi, todėl drėgmę garino intensyviausiai.

## Išvados

1. Nustatyta, kad skaitmeninis marginimas lėmė tiriamųjų medžiagų horizontaliojo ir vertikaliojo tankumų pokyčius – mezginių *SL-PAM-1* horizontalusis tankumas sumažėjo 1,4 %, mezginių *SL-3* horizontalusis tankumas nepakito, likusių mezginių horizontalusis tankumas po skaitmeninio marginimo padidėjo 13–24 %. Po skaitmeninio marginimo, mezginių *SL-PAM-1* ir *PAM-2* vertikalusis tankumas padidėjo 13 %, likusių mezginių sumažėjo 5–29 %. Mezginių storis ir kilpos ilgis taip pat pakito – mezginių *SL-2*, *SL-PAM-1*, *SL-PAM-2* storis padidėjo 1,5 %, mezginių *LS*, *SL-1*, *SL-3*, *SL-4*, *PAM-1*, *PAM-2*, *PAM-3* sumažėjo 1–1,7 %. Po skaitmeninio marginimo, mezginių *LS*, *SL-4* kilpos ilgis nepakito, mezginių *SL-1*, *SL-3*, *PAM-1* padidėjo 0,37–8,14 %, mezginių *SL-2*, *SL-PAM-1*, *SL-PAM-2*, *PAM-2*, *PAM-3* sumažėjo 0,32–15,65 %.
2. Ištyrus medžiagų laidumą orui, nustatyta, kad tiek prieš, tiek po skaitmeninio marginimo, didžiausiu laidumu orui pasižymėjo lygiuoju skersiniu pynimu iš medvilninių verpalų megztas meginys. Mažiausiu laidumu orui pasižymėjo sluoksniuotiniu pynimu iš medvilninių verpalų ir elastano gijinių siūlų derinio megztas meginys. Nustatyta, kad po skaitmeninio marginimo tiriamųjų mezginių laidumas orui pakito – mezginių *LS* laidumas orui sumažėjo 16,19 %, likusių mezginių laidumas orui padidėjo 11,5–22 %. Mezginių *LS* laidumas orui galėjo sumažėti dėl skaitmeniniam marginimui naudojamų dažų susilaikymo mezginių sudarančių siūlų ertmėse. Likusių mezginių laidumo orui padidėjimą galima paaiškinti mezginių paviršiaus pukuotumo sumažėjimu po skaitmeninio marginimo.
3. Nustatyta, kad intensyviausiai vandenį transportuoja pamušaliniiais pynimais, iš medvilninių verpalų, modalo verpalų, elastano gijinių siūlų ir metalizuotų gijinių siūlų derinių numegzti meginiai. Neintensyviausia dinamine absorbcija pasižymėjo lygiuoju skersiniu pynimu iš medvilninių verpalų numegztas meginys. Nustatyta, kad po skaitmeninio marginimo beveik visų mezginių dinaminė vandens absorbcija pakito – *LS* nepakito, mezginių *SL-1*, *SL-PAM-1*, *SL-3*, *SL-4*, *SL-PAM-2*, *PAM-2* padidėjo 138,46–3400 %. Mezginių *SL-2*, *PAM-1*, *PAM-3* vandens absorbcija sumažėjo 33,33–57,94 %. Dinaminės vandens absorbcijos sumažėjimą galima paaiškinti meginiams naudotų hidrofilinių pluoštų gebėjimu į savo ertmes sugerti marginimui naudotus pigmentinius dažus.
4. Atlikus medžiagų statinės absorbcijos tyrimą, nustatyta, kad didžiausia statine vandens absorbcija pasižymėjo pamušaliniiais pynimais numegzti meginiai iš medvilninių verpalų, modalo verpalų, elastano gijinių siūlų ir metalizuotų gijinių siūlų derinių. Mažiausia statine absorbcija pasižymėjo meginiai iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų derinių. Nustatyta, kad statinė vandens absorbcija mažėjo, didėjant PES pluošto kiekiui mezginių pluoštinėje sudėtyje.
5. Nustatyta, kad po skaitmeninio marginimo proceso mažiausia statine absorbcija pasižymėjo sluoksniuotiniu pynimu iš viskozės verpalų ir elastano gijinių siūlų megztas meginys, likusių mezginių eiliškumas pagal jų vandens absorbcijos dydį nepakito. Mezginių *SL-2* statinė vandens absorbcija padidėjo 37,89 %, likusių mezginių statinė vandens absorbcija sumažėjo 1,8–3,7 %. Mezginių *SL-2* absorbcijos didėjimo priežastis neaiški, likusių mezginių absorbcijos mažėjimas gali būti paaiškinamas pigmentinių dažų hidrofobiškumu ir savybe susilaikyti vandens transportavimui reikalingose siūlų ertmėse.
6. Atlikus medžiagų džiūvimo greičio tyrimą, nustatyta, kad intensyviausiai drėgmę garino iš medvilninių verpalų, modalo verpalų, elastano gijinių siūlų ir metalizuotų gijinių siūlų derinių pamušaliniiais pynimais numegzti meginiai, kurių struktūra buvo labiausiai akyta. Nustatyta,

kad per visą stebėjimo laikotarpį, po skaitmeninio marginimo visų mezginių, išskyrus *SL-3*, drėgmės išgarinimo intensyvumas padidėjo 3,47–39,72 %. Mezginio *SL-3* drėgmės išgarinimo intensyvumas sumažėjo 1,83 %.

## Literatūros sąrašas

1. Tortora, P. Fibers: Iš: Steele, Valerie. *Encyclopedia of Clothing and Fashion*. Farmington Hills, MI: Charles Scribner's Sons, 2005, Vol. 2, pp. 81 – 82. ISBN 0684314517
2. Salusso, C. J. Cotton: Iš: Steele, Valerie. *Encyclopedia of Clothing and Fashion*. Farmington Hills, MI: Charles Scribner's Sons, 2005, Vol. 1, pp. 306 – 309. ISBN 9780684313955
3. ALIAGA, Carlos, et al. An appearance model for textile fibers. In: *Computer Graphics Forum*. 2017. p. 35-45.
4. Salusso, C. J. Linen: Iš: Steele, Valerie. *Encyclopedia of Clothing and Fashion*. Farmington Hills, MI: Charles Scribner's Sons, 2005, Vol. 2, pp. 355 – 356. ISBN 0684314517.
5. BAZAN, Patrycja, et al. Bio-based polyethylene composites with natural fiber: Mechanical, thermal, and ageing properties. *Materials*, 2020, 13.11: 2595.
6. Salusso, C. J. Rayon: Iš: Steele, Valerie. *Encyclopedia of Clothing and Fashion*. Farmington Hills, MI: Charles Scribner's Sons, 2005, Vol. 3, pp. 81 – 84. ISBN 9780684313948.
7. JIANG, Yunjing, et al. Preparation and characterization of viscose composites fiber and its enhancing effect in photothermal conversion property. *Polymer Composites*, 2020, 41.10: 4084-4092.
8. RANA, Sohail, et al. Regenerated cellulosic fibers and their implications on sustainability. In: *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*. Springer, Singapore, 2014. p. 239-276.
9. Gupta, S. Advances in wool weaving and knitting: Iš: JOHNSON, N. A. G., RUSSELL I. M. *Advances in wool technology*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009, pp 106 – 127. ISBN 9781845693329.
10. REPON, Md Reazuddin; SHIDDIQUE, Md Nura Alam; AL MAMUN, Rajib. Effect of 1× 1, 2× 1, 2× 2, 3× 1 and 3× 3 knit structure on different properties of rib knitted fabric. *Univers. J. Eng. Sci*, 2019, 7: 57-63.
11. Anand, S., C. Technical fabric structures – 2. Knitted fabrics: Iš: HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash C. (ed.). *Handbook of technical textiles*, Institute of Materials Research and Innovation, The University of Bolton, Bolton, UK, 2000, pp 95 – 130.
12. Hadi Dabiryan & Ali A.A. Jeddi (2011) Analysis of warp knitted fabric structure. Part I: a 3D straight line model for warp knitted fabrics, *Journal of the Textile Institute*, 102:12, 1065-1074, DOI: 10.1080/00405000.2010.532624
13. RIISBERG, V. Digital tools and textile printing. 2007.
14. TYLER, D., J. Textile digital printing technologies. *Textile Progress*, 2005, 37.4: 1-65.
15. The evolution and progression of digital textile printing.
16. ITOH, T. New trends of inkjet printing technology for digital textile. *NIHON GAZO GAKKAISHI (Journal of the Imaging Society of Japan)*, 2016, 55.6: 718-722.
17. Dawson, T., L. The use of digital systems in textile printing: Iš: Miles, L., W., C. *Textile Printing*. Society of Dyers and Colourists. 2003, 301 - 330 p.
18. MALIK, S. K.; KADIAN, Savita; KUMAR, Sushil. Advances in ink-jet printing technology of textiles. 2005.
19. KAŠIKOVIĆ, Nemanja; VLADIĆ, Gojko; NOVAKOVIĆ, Dragoljub. Textile Printing–Past, Present, Future. *Vanredno izdanje*, 2016, 35.
20. GUPTA, Sanjay. Inkjet printing-a revolutionary ecofriendly technique for textile printing. 2001.

21. Rouette, H., K. Encyclopedia of Textile finishing. Springer, 2001. 3 vol. ISBN: 3540650318.
22. Gutjahr, H., Koch, R., R. Direct print coloration: Iš: Miles, L., W., C. Textile Printing. Society of Dyers and Colourists. 2003, 301 - 330 p.
23. TAWIAH, BENJAMIN; HOWARD, EBENEZER K.; ASINYO, BENJAMIN K. The chemistry of inkjet inks for digital textile printing—Review. *BEST*, 2016, 4: 61-78.
24. Koseoglu, A., U., Gungor, Y., Arık, Y., D. Innovations and Analysis of Textile Digital Printing Technology. *International Journal of Science, Technology and Society*. Vol. 7, No. 2, 2019, 38-43 p.
25. NATURAL FABRIC PRINT COLLECTION. *Textilis* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-12-20]. Prieiga per: <https://www.textilis.lt/wp-content/uploads/2020/11/Naturalus.pdf>.
26. SIEMENSMEYER, K., et al. Solutions for digital textile printing. In: *NIP & Digital Fabrication Conference*. Society for Imaging Science and Technology, 1999. p. 280-283.
27. KHATTAB, Tawfik A.; ABDELRAHMAN, Meram S.; REHAN, Mohamed. Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27.4: 3803-3818.
28. BIVAINYTĖ, Asta; MIKUČIONIENĖ, Daiva. Investigation on the Dynamic Water Absorption of Double-Layered Weft Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2011, 19.6: 89.
29. JHANJI, Y.; GUPTA, D.; KOTHARI, V. K. Effect of loop length and filament fineness on thermo-physiological properties of polyester-cotton plated knit structures. *The Journal of The Textile Institute*, 2015, 106.4: 383-394.
30. JHANJI, Yamini; GUPTA, Deepti; KOTHARI, V. K. Liquid transfer properties and drying behavior of plated knitted fabrics with varying fibre types. 2015.
31. PRAKASH, Chidambaram; RAMAKRISHNAN, Govindan. Effect of blend ratio, loop length, and yarn linear density on thermal comfort properties of single jersey knitted fabrics. *International Journal of Thermophysics*, 2013, 34.1: 113-121.
32. CHIDAMBARAM, Prakash; GOVIND, Ramakrishana; VENKATARAMAN, Koushik Chandramouli. The effect of loop length and yarn linear density on the thermal properties of bamboo knitted fabric. *AUTEX Research Journal*, 2011, 11.4: 102-105.
33. RAMAKRISHNAN, G.; DHURAI, Bhaarathi; MUKHOPADHYAY, Samrat. An investigation into the properties of knitted fabrics made from viscose microfibers. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 2009, 6.1.
34. CZAPLICKI, Z., MIKOŁAJCZYK Z., PRAŻYŃSKA A. Analysis of functional properties of knitted fabrics made of alpaca wool and other fibres. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2018.
35. ONER, E. Mechanical and thermal properties of knitted fabrics produced from various fiber types. *Fibers and Polymers*, 2019, 20.11: 2416-2425.
36. DIRGAR, E. The performance properties of the fabrics produced from cupro and some other regenerated cellulose fibers. *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 2017, 27.2: 139-144.
37. ÖZKAN, Esra Taştan; KAPLANGIRAY, Binnaz Meriç. Investigating thermophysiological comfort properties of polyester knitted fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 2019, 5.1: 50-56.
38. MISHRA, R., et al. Effect of Stitch Characteristics on Flammability and Thermo-Physiological Comfort Properties of Knitted Fabrics. *Fibers and Polymers*, 2020, 21.11: 2652-2663.

39. ALDARDERY, A. M., et al. Investigating the Influence of Weft Knitting Parameters on Physical and Mechanical Fabric Characteristics. *Journal of Scientific Research in Science*, 2016, 33.1: 317-336.
40. KRISCIUNAITĖ J, KALENDRAITĖ B, RAGELIENĖ L, MERKELYTĖ E, MIKUCIONIENĖ D. Durable Wash-Resistant Antimicrobial Treatment of Knitted Fabrics. *Autex Research Journal*, 2021.
41. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 139:2005]. Tekstilė. Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka (ISO 139:2005) = Textiles – Standard atmospheres for conditioning and testing (p. 9). (2006). Lietuvos standartizacijos departamentas.
42. 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 / Lietuvos standartizacijos departamentas.
43. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 14970:2006]. Tekstilė. Megztinės medžiagos. Kilpos ilgio ir siūlo ilginio tankio skersiniame mezginyje nustatymas : Europos standartas EN 14970:2006 turi Lietuvos standarto LST EN 14970:2006 statusą = Textiles - Knitted fabrics - Determination of stitch length and yarn linear density in weft knitted fabrics / Lietuvos standartizacijos departamentas.
44. Tekstilė. Tekstilės medžiagos. Paviršinio tankio nustatymas naudojant mažus bandinius (1999-05-01.; Lietuviška versija: 1999-05-01., p. 8). (1999). Lietuvos standartizacijos departamentas.
45. Tekstilė. Tekstilės medžiagų ir gaminių storio nustatymas (ISO 5084:1996) (2000th–2011th–02. ed., p. 5). (2000). Lietuvos standartizacijos departamentas.
46. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 9237:1997]. Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas (ISO 9237:1997) = Textiles – Determination of permeability of fabric to air: Europos standartas EN ISO 9237:1997 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas.
47. Mikučionienė, D., Mincevičiūtė, J., Bivainytė, A. Skersinių dvisluoksnių mezginių vandens absorbcijos dinamikos tyrimas, Gaminių technologija ir dizainas: Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2011. ISSN 1822-492X.
48. Stūmokliniai tūrio matavimo prietaisai. 2 dalis. Stūmoklinės pipetės (ISO 8655-2:2002/Cor.1:2008) (2009th–04–15. ed., p. 4). (2009). Lietuvos standartizacijos departamentas.
49. ISO 20158:2018(en). Textiles — Determination of water absorption time and water absorption capacity of textile fabrics [interaktyvus]. [Žiūrėta vasario 21 d.]. prieiga per: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20158:ed-1:v1:en>.
50. Milašius, Rimvydas. Tekstilės eksperimento teorija ir praktika: mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 2006. ISBN 9789955258995
51. TYLER, David J. Textile digital printing technologies. *Textile Progress*, 2005, 37.4: 1-65.
52. MALIK, S. K.; KADIAN, Savita; KUMAR, Sushil. Advances in ink-jet printing technology of textiles. 2005.
53. RIISBERG, Vibeke. Digital tools and textile printing. 2007.
54. UJIIE, Hitoshi (ed.). Digital printing of textiles. Woodhead Publishing, 2006.

55. ŞARDAĞ, Sibel; ÖZDEMİR, Özcan. The effects of tandem and conventional vacuum steaming methods on the properties of yarns. *Textile Research Journal*, 2012, 82.2: 183-194.
56. SARDAG, Sibel; OZDEMIR, Ozcan; KARA, Ismail. The effects of heat-setting on the properties of polyester/viscose blended yarns. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2007, 15.4: 50.
57. BESLER, Nora; GLOY, Yves-Simon; GRIES, Thomas. Analysis of the heat setting process. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2016. p. 012018.
58. TREIGIENĖ, Rasa; LAURECKIENĖ, Ginta. The influence of stabilisation on the structure of knits and tensile properties of their yarns. *Materials Science*, 2012, 18.4: 358-361.
59. Sibel; OZDEMIR, Ozcan; KARA, Ismail. The effects of heat-setting on the properties of polyester/viscose blended yarns. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2007, 15.4: 50.
60. LI, Nga-wun, et al. Effect of UV-curable inkjet printing parameters on physical, low-stress mechanical, and aesthetic properties of polypropylene knitted fabrics. *Fibers and Polymers*, 2020, 21.12: 2788-2798.
61. SITOTAW, Dereje Berihun. AIR PERMEABILITY AND STIFFNESS OF KNITTED FABRICS MADE FROM 100% COTTON AND COTTON/ELASTANE YARNS. *Ethiopian Journal of Textile and Apparel*, 2020, 1.2.
62. KUMAR, V., et al. Investigation of the Influence of Stretch on the Air Permeability of Knitted Fabric: Effect of Loop Length. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2021.
63. KUMAR, Senthil B. The effect of raw material combination, yarn count, fabric structure and loop length on the thermal properties of Eri silk bi-layer knitted fabrics. *Industria Textila*, 2021, 72.3: 331-339.
64. BIVAINYTĖ, Asta; MIKUČIONIENĖ, Daiva. Investigation on the air and water vapour permeability of double-layered weft knitted fabrics. *PES*, 2011, 8: 29.
65. ČIUKAS, Ričardas; ABRAMAVIČIŪTĖ, Jovita. Investigation of the air permeability of socks knitted from yarns with peculiar properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2010, 18.1: 78.
66. SHOBANASREE, P. C., et al. Effect of Elastane Plating on Physical & Thermal Comfort Properties of Lyocell Single Jersey Knit Fabric with Different Loop Length. *Journal of Natural Fibers*, 2022, 1-8.
67. ABBASI, Sadaf Aftab; MARMARALI, Arzu; ERTEKIN, Gözde. Thermal comfort properties of weft knitted quilted fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2020.
68. KUMAR, CB Sentil; KUMAR, B. Senthil. Study on thermal comfort properties of eri silk knitted fabrics for sportswear application. *Journal of Natural Fibers*, 2021, 1-12.
69. CHAKROUN, Mohamed Ghaith; BENLTOUFA, Sofien; FAYALA, Faten. The effect of fabric's structure on the breathability and the drying rate Properties. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 2021, 2.1: 61-69.
70. SITOTAW, Dereje Berihun. AIR PERMEABILITY AND STIFFNESS OF KNITTED FABRICS MADE FROM 100% COTTON AND COTTON/ELASTANE YARNS. *Ethiopian Journal of Textile and Apparel*, 2020, 1.2.
71. STANCIC, Mladen, et al. Impact of print parameters on air permeability of printed knitwear. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 2017, 15.1: 43.
72. MOHSIN, Muhammad, et al. Performance Enhancement of the Digital Printed Cotton Fabric through Ecofriendly Finishes. *Journal of Natural Fibers*, 2021, 1-10.

73. KIATKAMJORNWONG, Suda; PUTTHIMAI, Piriya; NOGUCHI, Hiromichi. Comparison of textile print quality between inkjet and screen printings. *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, 2005, 88.1: 25-34.
74. RACCUGLIA, Margherita; HODDER, Simon; HAVENITH, George. Human wetness perception in relation to textile water absorption parameters under static skin contact. *Textile Research Journal*, 2017, 87.20: 2449-2463.
75. RICHARDS, M. G. M., et al. Effects of moisture on the heat transfer through protective clothing. In: *Proceedings of the International Conference on Environmental Ergonomics [CD-ROM]. Ystad, Sweden. 2005.*
76. KHAN, Muhammad Zaman, et al. Improvement of liquid moisture management in plaited knitted fabrics. *Textile and Apparel*, 2018, 28.3: 182-188.
77. KUMAR, T. Sathish, et al. Study on Moisture Management Properties of Plated Interlock Knitted Fabrics. *Journal of Natural Fibers*, 2021, 1-8.
78. GAO, Shuyi, et al. Analysis of thermal and wet comfort properties of hygroscopic and exothermic knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 2022, 00405175221076030.
79. CHOUDHARY, Awadhesh Kumar, et al. The Influence of Yarn and Knit Structure on Moisture Management Properties of Sportswear Fabric. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series E*, 2020, 101.1: 77-90.
80. YANG, Yang, et al. Influence of fabric structure and finishing pattern on the thermal and moisture management properties of unidirectional water transport knitted polyester fabrics. *Textile research journal*, 2019, 89.10: 1983-1996.
81. KIATKAMJORNWONG, Suda, et al. Effect of Pigment/Resin Inks on Inkjet Printing for Fabrics. *NIHON GAZO GAKKAISHI (Journal of the Imaging Society of Japan)*, 2002, 41.4: 414-419.
82. DAPLYN, S.; LIN, L. Evaluation of pigmented ink formulations for jet printing onto textile fabrics. *Pigment & resin technology*, 2003.
83. EL-NAGGAR, Abdel Wahab M., et al. Pigment colors printing on cotton fabrics by surface coating induced by electron beam and thermal curing. *Applied surface science*, 2005, 241.3-4: 420-430.
84. SAMPATH, M. B.; PRAKASH, C.; SENTHIL KUMAR, M. Influence of laundering on comfort characteristics of moisture management finished microdenier polyester knitted fabrics. *Fibers and Polymers*, 2019, 20.3: 668-674.
85. CHEN, Qing, et al. Evaluation of water absorption and transport properties of weft knitted polyester fabrics by spontaneous uptake water transport tester and conventional test methods. *Fibers and Polymers*, 2016, 17.8: 1287-1295.
86. ÖNAL, LEVENT; ARSLAN, ÇAĞRIALP; PAŞAYEV, Nazim. Relation between structural parameters and drying properties of cotton knitted fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2013, 23.4: 357-363.
87. OĞLAKCIOĞLU, Nida; MARMARALI, Arzu. Thermal comfort properties of cotton knitted fabrics in dry and wet states. *Textile and Apparel*, 2010, 20.3: 213-217.
88. HES, Lubos; DE ARAUJO, Mario. Simulation of the effect of air gaps between the skin and a wet fabric on resulting cooling flow. *Textile Research Journal*, 2010, 80.14: 1488-1497.
89. ÇAY, Ahmet; VASSILIADIS, Savvas; RANGOUSI, Maria. On the use of image processing techniques for the estimation of the porosity of textile fabrics. 2004.

90. CAY, Ahmet, et al. Prediction of the air permeability of woven fabrics using neural networks. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2007.
91. ÇAY, Ahmet; TARAKÇIOĞLU, Işık. Relation between fabric porosity and vacuum extraction efficiency: Energy issues. *Journal of the Textile Institute*, 2008, 99.6: 499-504.
92. OGLAKCIOGLU, N. I. D. A.; KYOSEV, YORDAN. Investigation about the air permeability of weft knitted structures. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi*, 2011, 4: 23-30.
93. RAMRATAN, R.; CHOUDHARY, Awadesh Kumar. The Influence of Yarn and Knit Structure on Comfort Properties of Sportswear Fabric. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 2020, 11.2.
94. YANG, Yang, et al. Effect of knitting structure and yarn composition on thermal comfort properties of bi-layer knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 2021, 91.1-2: 3-17.

## Priedai

### 1 priedas. Tyrimų rezultatų publikavimas

Magistro baigiamojo projekto tematika paskelbta publikacija „Influence of Digital Printing on the Water Absorption Properties of Weft Knitted Fabrics“ KTU Jaunųjų tyrėjų konferencijos „INDUSTRIAL ENGINEERING 2022“ pranešimų medžiagoje (elektroninis leidinys).



## 2 priedas. Tyrimų rezultatų publikavimas

KTU Jaunųjų tyrėjų konferencijos „INDUSTRIAL ENGINEERING 2021“ pranešimų medžiagoje (elektroninis leidinys) paskelbta publikacija „The Influence of Digital Printing on the Air Permeability of Weft Knitted Fabrics“.

International Young Researchers Conference Nr. V24-11-6

# INDUSTRIAL engineering 2021



## Certificate

This certificate confirms that

### Ugnė Bukauskaitė

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

**The Influence of Digital Printing on the Air Permeability of Weft Knitted Fabrics**

in the conference notification material

Dean of the Faculty of  
Mechanical Engineering  
and Design  
**dr. Andrius Vilkauskas**



ktu  
1922  
faculty of mechanical  
engineering  
and design