

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ASTA VELIČKIENĖ

KILPINIŲ AUDINIŲ IŠ NATŪRALIŲJŲ
PLUOŠTŲ SAVYBIŲ VERTINIMAS IR PROG-
NOZAVIMAS

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (08 T)

2016, Kaunas

UDK 677.074.168.5 + 677.017] (043.3)

Disertacija rengta 2011–2016 metais Kauno technologijos universiteto Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto Medžiagų inžinerijos katedroje.

Mokslinė vadovė:

Prof. dr. Salvinija PETRULYTĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija – 08 T).

Mokslinis konsultantas:

Prof. dr. Donatas PETRULIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija – 08 T).

Su disertacija galima susipažinti interneto svetainėje: <http://ktu.edu>

Lietuvių kalbos redaktorė:

Aurelija Gražina RUKŠAITĖ (leidykla „Technologija“).

ISBN 978-609-02-1201-1

© A. Veličkienė

© Leidykla „Technologija“, 2016

TURINYS

PAGRINDINIŲ SANTRUMPŲ SĄRAŠAS.	5
IVADAS.	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA	9
1.1. Kilpinių audinių gamybos principas, pluoštinė sudėtis ir asortimentas.....	9
1.2. Fizikinės audinių savybės.....	13
1.2.1. Kilpinių audinių absorbcijos geba	13
1.2.2. Absorbcijos ir desorbcijos reiškiniai tekstilėje	16
1.2.3. Tekstilės medžiagų laidumas orui	24
1.3. Mechaninės audinių savybės	29
1.3.1. Siūlų ištraukimo iš tekstilės medžiagų ypatumai.....	29
1.3.2. Tekstilės medžiagų atsparumas dilinimui.....	32
1.4. Audinių apdailos ypatumai ir jos įtaka audinių sandaros, fizikinėms ir mecha- ninėms savybėms	35
1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	38
2.DARBO METODOLOGIJA	40
2.1. Tyrimo objektas.....	40
2.2. Tyrimo metodologija	46
2.2.1. Kilpinių audinių sandaros ir geometriniai rodikliai.....	48
2.2.2. Kilpinių audinių fizikiniai tyrimai	48
2.2.3. Kilpinių audinių mechaniniai tyrimai	49
2.3. Eksperimentų rezultatų statistinė ir matematinė analizė	50
3. TYRIMŲ REZULTATAI	52
3.1. Kilpinių audinių sandaros ir geometrinių rodiklių analizė	52
3.1.1. Kilpinių audinių paviršinio tankio rezultatai	53
3.1.2. Kilpinių audinių siūlų sistemų procentinės sudėties rezultatai.....	55
3.2. Kilpinių audinių fizikinių tyrimų analizė	58
3.2.1. Kilpinių audinių vandens garų absorbcijos tyrimai	58
3.2.2. Vandens išgarinimo iš kilpinių audinių tyrimų rezultatai.....	71

3.3. Kilpinių audinių mechaninių tyrimų analizė	82
3.3.1. Pūko kilpos atsparumo ištraukimui iš kilpinio audinio analizė	82
3.3.2. Kilpinių audinių atsparumo dilinimui tyrimų rezultatai ir laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo	92
3.3.2.1. Kilpinių audinių atsparumo dilinimui tyrimų rezultatai	92
3.3.2.2. Kilpinių audinių laidumo orui analizė	97
3.4. Kilpinių audinių charakteristikų koreliacijos tyrimas.....	101
3.5. Tyrimo rezultatų praktinio pritaikymo galimybės ir rekomendacijos	103
4. IŠVADOS.....	105
5. LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	107
6. PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS, DALYVAVIMAS KONFERENCIJOSE.	120
Priedai.....	124

PAGRINDINIŲ SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

AD	– audinių atsparumas dilinimui
ADm	– audinių atsparumas dilinimui: masės nuostoliai, proc.
ADs	– audinių atsparumas dilinimui: bandinio suirimas
e, a	– nebalinti lininiai / medvilniniai kilpiniai audiniai
b	– balinti lininiai / medvilniniai kilpiniai audiniai
c	– nebalinti lininiai kilpiniai audiniai
F	– tempimo jėga, mN
F_k	– Fišerio (<i>R. A. Fisher</i>) kriterijus
G_k	– Kočreno (<i>W. G. Cochran</i>) kriterijus
k	– nebalinti kanapiniai / medvilniniai kilpiniai audiniai
K	– skalbti su plovikliu / minkštikliu / kalandruoti
KAI	– audinių pūko kilpos atsparumas ištraukimui
KM	– kilpiniai metmenys
LO	– audinių laidumas orui, $dm^3(m^2s)$
M	– skalbti su plovikliu / minkštikliu
P	– skalbti su plovikliu
PA	– pagrindo ataudai
PM	– pagrindo metmenys
PT	– audinių paviršinis tankis, g/m^2
r	– nebalinti ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai
r_{xy}	– koreliacijos koeficientas
R	– audinys (be kilpinio pūko)
R^2	– determinacijos (apibrėžties) koeficientas
S	– skalbimas vandenyje įvairiais laiko intervalais
S^2	– dispersija
SEM	– skenuojamasis elektroninis mikroskopas
SPS	– audinių siūlų procentinė sudėtis, proc.
S_x	– vidutinė kvadratinė nuokrypa
T	– skalbimas su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotas įvairiais laiko intervalais
T_a	– temperatūra, $^{\circ}C$
t_{α}	– <i>Stjudento</i> koeficientas
V	– vilgymas vandenyje
VGA	– audinių vandens garų absorbcija, mg/cm^2
VI	– audinių vandens išgarinimas (vandens likučio koeficientas, proc.)
V_k	– variacijos koeficientas, proc.
Z	– žali (be apdailos) audiniai
z	– ištįsa, mm
\bar{x}	– aritmetinis vidurkis
Δ_{α}	– absoliutinė atsitiktinė paklaida, proc.
δ_{α}	– santykinė atsitiktinė paklaida, proc.
φ	– santykinė drėgmė, proc.

IVADAS

Tiriamos problemos pagrindimas ir darbo aktualumas. Kilpiniai audiniai yra vieni iš populiariausių audinių, naudojamų namų tekstilėje, vonios, saunos, pirties gaminams – tai rankšluosčiai, chalatai, šlepetės, vonios kilimėliai, pirties prijuostės, saunos krepšiai, kosmetinės kempinė, gobtuvai, plaušinės, pirštinės ir kt. Kilpiniai audiniai gali būti pritaikomi įvairių poreikių vartotojams. Yra vartotojų, teikiančių pirmenybę minkštiems, švelniems kilpiniams audiniams. Kiti – šiurkštiems audiniams, kurie turi masažuojamąjį poveikį. Naudojant tinkamas technologijas ir modernius apdailos metodus, įmanoma sukurti norimą gaminio kokybę.

Siekiant pagaminti kokybiškus kilpinius audinius, pirmiausia būtina gerai žinoti kilpinio audinio sandarą. Kilpinio audinio sandarą apibūdina sudėtingas pynimas, kuris gaunamas perpinant dvi metmenų ir vieną ataudų sistemą. Vadinasi, kilpinį audinį sudaro: kilpinio audinio pagrindas (pagrindo metmenys ir ataudai) ir kilpos (kilpiniai metmenys). Kilpa yra vienas iš svarbiausių kilpinio audinio sandaros elementų, nes nuo audinio paviršiuje sudarytų kilpų priklauso gaminio išvaizda ir daugelis kitų savybių. Kilpinio audinio kilpos sudaromos iš skirtingų ilginių tankių, pluoštinės sudėties siūlų ir gali būti įvairaus aukščio. Šiame darbe aptariami įvairios sandaros kilpiniai audiniai, t. y. audiniai turi skirtingą kilpų aukštį (6 dydžių), skirtingą ataudų tankumą (8 dydžių), taip pat skirtingus audinių pynimus.

Augant gamintojų ir vartotojų sąmoningumui, šiandieninėje tekstilėje ypatingas dėmesys skirtas ekologiškiems natūraliems pluoštams. Ekologiškas turi būti ne tik gaminy, bet ir jo gamybos procesas. Disertacijoje yra nagrinėjami kilpiniai audiniai, pagaminti iš natūralių verpalų: medvilninių, lininių, kanapinių ir ramės. Šie natūraliųjų pluoštų verpalai gali būti iš ekologiškų pluoštų. Taip pat minėtų pluoštų panaudojimas gaminant kilpinius audinius yra perspektyvus dėl didelio kilpinių audinių panaudojimo buityje, kūdikių drabužių asortimente, gaminant medicinos, higienos priemones. Tokie kilpiniai audiniai turi turėti tinkamas biofizines savybes, o audiniai iš natūralių pluoštų ir pasižymi geromis higienos savybėmis.

Norint pagaminti kokybiškus kilpinius audinius, būtina gerai žinoti ne tik audinio sandarą, bet ir kilpinio audinio fizikines bei mechanines savybes. Fizikinės audinio savybės nulemia gaminio patogumą. Kilpiniams audiniams svarbios sorbcinės savybės, todėl ši savybė yra dažnai tyrinėjama. Taigi šiame darbe ištirta kilpinių audinių vandens garų absorbcija ir vandens išgarinimas. Kita labai svarbi kilpinių audinių fizikinė savybė yra laidumas. Nuo laidumo orui priklauso audinio absorbcinės ir desorbcinės savybės.

Tekstilės medžiagų mechaninės savybės yra vienos iš svarbiausių charakteristikų, nulemiančių gaminių vartojamąją vertę; nuo pluošto stiprumo priklauso ne tik gaminio ilgaamžiškumas, bet ir gamybos procesas. Kitas kilpinių audinių dėvėjimosi įvertinimo būdas yra audinio mechaninių savybių pakitimo po dilinimo nustatymas. Šis tyrimas yra svarbus tuo, kad kai kurios verpalų ar audinio gamybos klaidos gali pabloginti eksploatacijos savybes, kurios išryškėja tik jį dėvint.

Kilpinių audinių apdailos būdais ne tik siekiama pagerinti jų išvaizdą ar suteikti papildomų funkcinių savybių, bet ir padidinti kilpinių audinių paklausą. Tačiau

netinkamai parinktas apdorojimo režimas gali pabloginti gaminio išvaizdą ir eksploatacijos savybes. Todėl, siekiant įvertinti vandens, šilumos, mechaninių ir cheminių medžiagų poveikį, buvo atliekamas vilgymas arba skalbimas vandenyje, nenaudojant jokių cheminių medžiagų arba su apdaila.

Tyrimas taip pat apima audinių kokybės prognozavimą: rodiklių priklausomybės nuo vandens, šilumos, mechaninio, cheminio poveikio / apdailos procedūrų sudarymą. Taip pat atlikta įvairia apdaila paveiktų skirtingos sandaros ir įvairios pluoštinės sudėties kilpinių audinių sandaros, fizikinių, mechaninių savybių lyginamoji analizė. Nustatyti matematiniai ryšiai leidžia prognozuoti rodiklius, kuriais remiantis galima sukurti aukštos kokybės kilpinius audinius.

Darbo tikslas. Nustatyti ir įvertinti įvairios pluoštinės sudėties žalių (be apdailos) įvairiais poveikiais ir apdaila paveiktų kilpinių audinių sandaros, fizikines ir mechanines savybes; prognozuoti šių audinių sandaros, fizikinius, mechaninius rodiklius, ryšius aprašant matematinėmis priklausomybėmis, leidžiančiomis kurti naujus kilpinius audinius.

Darbo uždaviniai:

1. Ištirti kilpinių audinių sandaros ir apdailos įtaką kilpinių audinių siūlų sistemų procentinei sudėčiai ir audinių paviršiniam tankiui.
2. Nustatyti kilpinių audinių pluoštinės sudėties, sandaros ir apdailos įtaką audinių vandens garų absorbcijai ir vandens išgarinimui.
3. Ištirti kilpinių audinių, turinčių skirtingą kilpų aukštį, paveiktų įvairiais poveikiais / apdaila, kilpos atsparumą ištraukimui ir išnagrinėti kilpinio siūlo strigimą ir slydimą audiniuose.
4. Išanalizuoti kilpinių audinių atsparumą dilinimui, masės nuostolius dilinimo metu ir ištirti, kaip kinta dėvimų audinių laidumas orui.
5. Matematinėmis priklausomybėmis aprašyti kilpinių audinių sandaros, fizikinius, mechaninius rodiklius ir juos prognozuoti. Atlikti kilpinių audinių kokybės rodiklių lyginamąją analizę.

Darbo naujumas ir jo reikšmė. Literatūros šaltiniuose nagrinėjami kilpiniai audiniai dažniausiai yra iš medvilninių verpalų, o kilpinių audinių iš lininių verpalų tyrimų stokojama, nors lietuviškas grynas lininis audinys yra sulaukęs didelio populiarumo. Taip pat šioje disertacijoje nagrinėjami kilpiniai audiniai iš retai naudojamų natūralių augalinių pluoštų – kanapės ir ramės (dilgėlių). Kanapės pluoštas pasižymi geromis fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis, o po apdailos audiniai iš kanapių pluošto tampa minkšti ir švelnūs (malonaus grifo). Gaminiai iš ramės pluošto taip pat pasižymi geromis absorbcinėmis savybėmis, yra lengvi, todėl patogūs dėvėti. Pluoštas yra natūralios baltos spalvos, todėl jo nereikia balinti. Literatūros apie ramės audinių savybes beveik nėra, taip pat eksperimentinių tyrimų atlikta vienas kitas, ir tai tik su drobinio pynimo audiniais. Apie sudėtingos konstrukcijos ramės audinius, tokius kaip kilpiniai, literatūros neaptikta. Taigi ypač aktualu ištirti naujų kilpinių audinių su ramės, lininiais ir kanapiniais kilpiniais metmenimis sandaros,

fizikines ir mechanines savybes, jų tarpusavio priklausomybes, taip pat išanalizuoti galimybes šių pluoštų verpalus panaudoti kilpiniams audiniams gaminti.

Kilpinio audinio išvaizda priklauso ne tik nuo audinio sandaros ir savybių, bet ir nuo eksploatavimo sąlygų. Geros audinio eksploatacijos savybės pirmiausia priklauso nuo jų stiprumo. Dauguma tyrėjų analizuoja fizikines kilpinių audinių savybes, tačiau mechaninių savybių tyrimų atlikta labai mažai. Disertaciniame darbe atlikti mechaniniai tyrimai, kurie nulemia gaminio dėvėjimosi charakteristikas. Kilpiniai audiniai dėvėti dilinant, įvertintas gaminio suirimas ir masės nuostoliai. Šio tyrimo metu taip pat nustatytas kilpinių audinių laidumas orui dėvėjimo metu, nustatant ribą, iki kurios audinys tinkamas eksploatuoti. Literatūros apie tokio pobūdžio kilpinių audinių tyrimus nerasta.

Pūko kilpos atsparumo ištraukimui nustatymo tyrimai yra svarbūs ir aktualūs kilpinių audinių mechanikos požiūriu ir vertinant gaminio estetiką. Literatūros apie siūlų atsparumo ištraukimui tyrimus nedaug, o ir esantys tyrimai yra skirti ne kilpiniams audiniams; dažniausia nagrinėjami techninės tekstilės audiniai, kurie yra elementarių pynimų. Taip pat disertaciniame darbe atlikta kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui analizė, išnagrinėtas kilpinio siūlo strigimo ir slydimo reiškinys, aktualus dėvint.

Ginamieji disertacijos teiginiai:

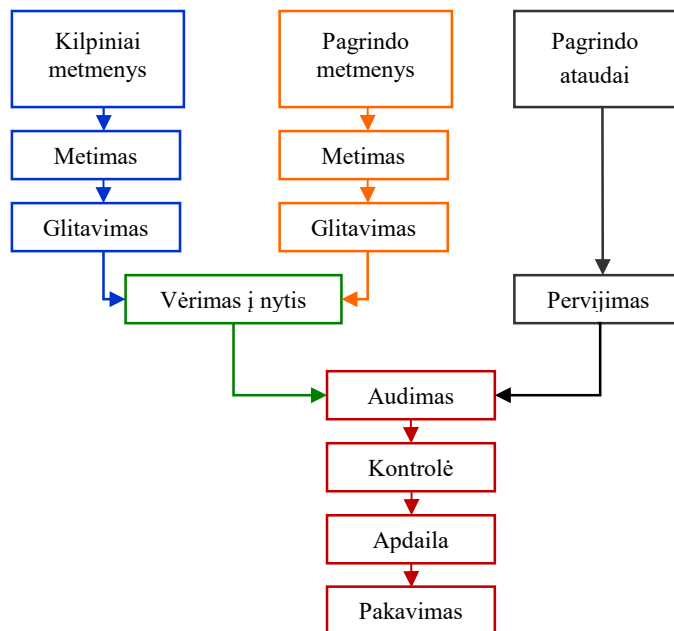
1. Ramės / medvilninių kilpinių audinių ataudų tankumas turi didesnę įtaką audinių sandaros ir geometriniam rodikliams, taip pat fizikinėms ir mechaninėms savybėms nei kilpos aukštis.
2. Ramės / medvilninių, lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių vandens išgarinimui turi įtakos audinio gebėjimas absorbuoti skystį; vandens garų absorbcijai turi įtakos paviršinis tankis. O kilpinių audinių mechaninėms savybėms didelę įtaką daro audinio sandara ir geometrinės ypatybės: paviršinis tankis, ataudų tankumas ir pluoštinė sudėtis.
3. Lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių apdaila pagerina jų fizikines bei mechanines savybes, tačiau pernelyg ilga apdailos operacijų trukmė, ypač kai šių operacijų skaičius yra labai didelis, gali turėti neigiamos įtakos audinių kokybei.
4. Siūlo strigimas ir slydimas traukiant iš kilpinių audinių pūko kilpą priklauso ne tik nuo kilpinio audinio sandaros – didelę įtaką turi ir verpalų nevienodumas.
5. Ramės / medvilninių, lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių tyrimai leidžia prognozuoti audinių kokybės ir ekonominiu požiūriu svarbius audinių žaliavos sąnaudų rodiklius, o gauti rezultatai leidžia projektuoti naujus natūralių pluoštų aukštos kokybės kilpinius audinius, kurie pasižymėtų norimomis fizikinėmis, mechaninėmis savybėmis, taip pat ekonominėmis pluoštų sąnaudomis.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

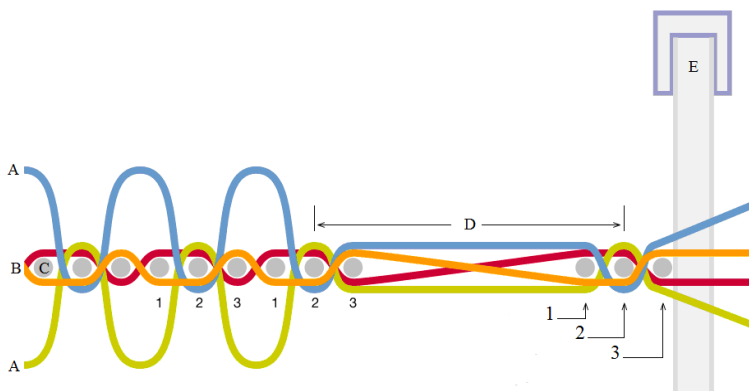
1.1. Kilpinių audinių gamybos principas, pluoštinė sudėtis ir asortimentas

Nuo audinio sandaros priklauso jo fizikinės, mechaninės, vartojamosios ir kitos savybės. Kilpinių audinių sandarą išsamiai išnagrinėjo mokslininkai Frontczak-Wasiak ir Snycerski (2004), Karahan (2007), Karahan ir Eren (2006), Koç ir Zervent (2006). Kilpiniams audiniams būdinga charakteringa audinio struktūra. Jie turi tris siūlų sistemas: kilpinius metmenis, pagrindo metmenis ir pagrindo ataudus. Kilpinio audinio sandara suformuojama iš audinio pagrindo, tarpusavyje supinant pagrindo metmenis su pagrindo ataudais ir kilpomis. Pagrindo metmenys supinami su pagrindo ataudais drobinio pynimu, ripsu arba pusripsių (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004; Karahan, Eren ir Aplay, 2005a; Nazire, Nancy, 2005).

Šie sudėtingos sandaros audiniai audžiami specialios konstrukcijos audimo staklėmis. Kilpinių audinių gamybos procesas susideda iš metmenų ir ataudų paruošimo, audimo ir apdailos (**1.1 pav.**) (Karahan, Eren ir Aplay, 2005a; Nazire, Nancy, 2005). Audžiant kilpinį audinį, vienu metu gali būti primušama nuo dviejų iki keturių ataudų, tačiau dažniausiai naudojamas būdas, kai pratiesiami 3 ataudai (**1.2 pav.**) (Nazire, Nancy, 2005).



1.1 pav. Kilpinių audinių gamybos technologinė eiga (Karahan ir kt. 2005a; Nazire, Nancy, 2005)



1.2 pav. Kilpinis audinys, kai audžiama primušant tris ataudus: A – kilpinis metmuo, B – pagrindo metmuo, C – pagrindo ataudai, D – laisvas ataudos atstumas, E – skietas, 1 – pirmasis laisvas ataudas, 2 – antrasis laisvas ataudas, 3 – trečiasis primuštas ataudas (Nazire, Nancy, 2005)

Kilpiniai audiniai dažniausiai audžiami iš natūralių pluoštų – medvilnės ir lino. Medvilnės pluoštas pasižymi geromis fizikinėmis, mechaninėmis ir higienos savybėmis (Karahana, 2007; Ozturk, Duru, Uygün ir Andan, 2012; Petruitytė, Baltakytė, 2009). Jis gerai sugeria drėgmę, leidžia kūnui kvėpuoti, o audinys yra stiprus (Petruitytė, Baltakytė, 2009). Linų pluoštas yra vertinga tekstilės žaliava, iš jo gaminami daugiausia buitiniai ir techniniai audiniai. Lininiai drabužiai pasižymi dideliu higroskopiskumu ir šilumos laidumu. Jie gerai sugeria prakaitą, todėl yra vėsūs ir ypač tinkami dėvėti karštame ir drėgname klimato (Pietaris, 1998). Mustata straipsnyje (2013) išnagrinėtos lino ir kanapių pluoštų ir siūlų sorbcinės-desorbcinės savybės esant skirtingoms verpimo sistemoms (sausos, šlapios) ir skirtingiems pusverpalių apdorojimo būdams. **1.1 lentelėje** pateikta lino ir kanapių pluoštų cheminė sudėtis ir fizinės savybės. Tyrimai rodo, kad sausos verpimo žalias linas (be apdailos) geba sugerti didelį kiekį vandens (Mustata, 2013). Jun, Jiahao, Hua ir Jianchun (2010) tyrė kanapės, lino ir ramės pluoštų fizikines ir mechanines savybes. Lino ir kanapės pluoštai pasižymėjo geresnėmis fizikinėmis savybėmis (drėgnis, vandens pralaidumas, vandens sulaikymas ir laidumas orui) nei ramės pluoštas. Nagrinėjant mechanines šių pluoštų savybes (plėšimą, ištįsą ir stiprumą), geriausiomis charakteristikomis pasižymėjo kanapių pluoštas. Kanapės (Curteza, Budeanu, Agrawal ir Brinks, 2014) yra vienas iš labiausiai aplinką tausojančių pluoštų. Pluoštas ilgas, todėl šio pluošto verpimas ir perdirbimas yra spartesnis.

Ramė – pluoštas, išskirtas iš daugiametio dilgėlinio augalo (*Boehmeria Nivea* ir / arba *Boehmeria tenacissima*) stiebų (Čiukas ir kt., 2001). Ramė yra vienas iš stipriausių ir ilgiausių natūralių pluoštų, kurie naudojami drabužių audiniams, siūlų, virvių, brezentų, pakavimo, automobilių įrangai ir t. t. Ramės pluoštas yra panašus į liną pagal sugeriamumą, tankį ir morfologinę sandarą. Be to, šlapias ramės pluoštas būna dar stipresnis. Ramės pluoštas vertinamas ir dėl savo gebėjimo išlaikyti formą, sumažinti raukšlėjimąsi ir yra šilkinio blizgesio. Ramė paprastai naudojama su kitais pluoštais, tokiais kaip medvilnė, vilna, džutas, šilkas, viskozė ar poliesteris, verpiant

pagal džiuoto ir vilnos verpimo sistemas. Nepaisant puikių savybių, ramė turi ribotą pripažinimą naudoti tekstilei. Dėl didelio molekulinio kristališkumo ramė yra standus ir trapus pluoštas, todėl lūžta, ypač pakartotinai lankstomas. Natūralus ramės pluoštas turi augalinių klijų, kuriuos pašalinti yra sudėtinga. Šio pluošto verpimas yra gana sudėtingas ir brangus dėl mažo elastingumo ir didelio verpalų pūkuotumo, tačiau, parinkus tinkamas pluošto perdirbimo ir audinio gamybos technologijas, galima pasiekti, kad neigiamos pluošto savybės netrukdytų (Ahmed, Chattopadhyay, Chaphekar ir Gaikwad, 2004; Kadolph, Langford, 2001; Zhang, 2013). **1.1 lentelėje** pateiktos fizikinės ramės pluošto savybės. Kitos ramės pluošto savybės yra: pluošto skersmuo – 0,034 mm, tempimo jėga – 0,467 N, įtempis – 560 MPa, ištįsa – 0,025 proc. (Goda, Sreekala, Gomes, Kaji ir Ohgi, 2006). Ramės pluoštas yra naudojamas ne tik audinių, bet ir kompozitų gamyboje, suteikiant didesnę kompozito standumą (Margem ir kt., 2010). Ramės pluoštas kompozituose naudojamas ne tik dėl savo stiprumo, bet ir kaip alternatyvi natūrali medžiaga, pakeičianti stiklo pluoštą, nes stiklo pluošto utilizavimas yra labai kenksmingas gamtai (Hyun-Bum, Koichi, Junji ir Kenji, 2013). „Green“ kompozitai pasiūlė atliekų šalinimo problemos sprendimą: pristatė kompozitą iš *Ecofle* (polimero) ir ramės pluošto. Kompozitas pasižymėjo geromis mechaninėmis savybėmis (stiprumo, tamprumo modulio ir kt.), taip pat ir absorbcinėmis savybėmis (vandens, naftos) (Ajith, Sreekala ir Arun, 2012).

1.1 lentelė. Lino, kanapės ir ramės pluoštų cheminė sudėtis ir fizikinės savybės (Mohanty, Misra, Hinrichsen, 2000; Mustata, 2013)

Pluošto tipas	Celiuliozė (proc.)	Ligninas (proc.)	Hemiceliuliozė (proc.)	Pektinas (proc.)	Tankis (g/cm ³)	Mikrofibrilės kampas (°)
Kanapė	52–58	3–6	15–18	4–10	1,43–1,48	4–12
Linas	71–76	0,6–5	13–17	3–4	1,43–1,54	6–16
Ramė	68,6–76,2	0,6–0,7	13,1–16,7	1,9	1,50	7,5

Tekstilės gamintojai daug dėmesio skiria patogių, higieniškų ir ekologiškų gaminių gamybai. Šiems tikslams naudojama ne tik ekologiška medvilnė, bet ir nauji pluoštai, pavyzdžiui, bambuko, šilko ar sojos baltymo. Bambukas natūraliai prisiderina prie kūno temperatūros, pasižymi antibakterinėmis, antialerginėmis savybėmis. Taip pat šis pluoštas pasižymi net 60 proc. didesne vandens absorbcija negu medvilnės pluoštas. Gaminiai iš sojos verpalų yra malonūs dėvėti, minkšti ir gerai sulaiko šilumą, drėgmę praleidžia geriau už medvilnę, pasižymi antibakterinėmis savybėmis (Abramavičiūtė, Mikučionienė ir Čiukas, 2011; Nazire, Nancy, 2005). Kilpiniai audiniai iš modalinio pluošto neseniai paplito tekstilės sektoriuje. Modalinis pluoštas – stiprus dirbtinis celiuliozinis pluoštas. Tai didelio stiprumo ir didelio elastingumo pluoštas (Sekerden, 2012).

Tyrinėjant natūralių pluoštų verpalus, susiduriama su verpalų nevienodumo problema. Vienas paprasčiausių siūlų nevienodumo nustatymo būdų yra vizualinis būdas. Pavyzdžiui, ramės verpalai yra pūkuoti ir lygūs, o lino verpalai yra šiurkštūs ir turi daugybę stormenų ir plonmenų (siūlo ydos). Kitų straipsnių (Abbasi, Peerzada ir Jhatial, 2012; Kılıç, Okur, 2006) autoriai pastebėjo, kad verpalų sukris yra mažesnis suplonėjusiose vietose, nes jose yra mažiau pluošto. Tempimo metu šis verpalas

trūks ploniausioje vietoje. Vadinasi, verpalų sukris turi įtakos verpalų stiprumui. Subrata, Jamal savo straipsnyje (2011) teigia, kad sluoksna turi didžiausią įtaką verpalų nevienodumui. Ibrahim, Militky, Kremenakova ir Mishra (2012) pripažįsta, kad siūlų nevienodumas yra vienas iš svarbiausių faktorių, kuris gali turėti tiesioginę įtaką siūlo skersmeniui, paviršiniam tankiui, laidumui orui, stiprumo nevienodumui, audinio išvaizdai ir t. t. Taip pat (İlhan, Babaarslan ir Vuruşkan, 2012) kito straipsnio autoriai mano, kad verpalų stiprumui ir ištįsai didelį poveikį turi susidariusios stormenos. Iš pateiktų straipsnių matyti, kad siūlų nevienodumas vienaip ar kitaip turi įtakos audiniui. Kilpiniams audiniams taip pat labai aktualu dėl natūralių pluoštų panaudojimo gaminant audinį.



1.3 pav. Kilpinių audinių asortimentas: 1 – plaušinės, 2,3 – saunos krepšys, 4 – kosmetinės kempinės, 5 – vonios kilimėlis ir šlepetės, 6 – rankšluosčiai, 7 – pirties kepurė (<http://www.agrupe.lt>)

Kilpiniai audiniai yra vieni iš populiariausių audinių, naudojamų vonios, saunos, pirties gaminiams, taip pat kūdikių drabužiams bei aksesuarams ir žaislams (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004; Petrulytė, Baltakytė, 2008a). Lietuvoje kilpinius audinius audžia UAB „A grupė“ (Jonava): lininius, puslininius audinius, taip pat gamina produkciją voniai ir pirčiai, namų tekstilės gaminius. Populiariausi yra aukštos kokybės lininiai kilpiniai audiniai, iš kurių siuvami šiurkštūs bei švelnūs gaminiai voniai ir saunai: chalatai, rankšluosčiai, saunos prijauostės, vonios kilimėliai, šlepetės ir kiti pirties aksesuarai (**1.3 pav.**) (<http://www.agrupe.lt>).

Šiandieninės rinkos pasaulis įpareigoja nuolat didinti vartojimo lygį ir estetiškes kilpinių audinių savybes. Pritaikant atitinkamas technologijas ir modernius apdailos metodus, yra įmanoma sukurti norimas gaminių savybes. Kilpiniai audiniai gali būti pritaikomi įvairių poreikių vartotojams. Vieni vartotojai teikia pirmenybę minkštiesiems kilpiniams audiniams, kiti – šiurkštiems (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004). Taigi vieni kilpiniai audiniai yra šiurkštūs, turi masažuojamąjį poveikį, bet kartu gerai sugeria drėgmę, nesielektrina, turi antialerginių, gydomųjų savybių. Kiti gaminiai yra švelnūs, ypač suminkštinti (tumbleruoti) gaminiai. Jie taip pat puikiai sugeria drėgmę, nesielektrina, turi antialerginių savybių. Šiuo metu yra pagaminami kilpiniai audiniai, turintys dvejopą poveikį: švelni vidinė pusė (medvilnės), šiurkšti išorinė pusė (lino). Šie gaminiai pagaminti iš natūralių pluoštų, nesielektrina, yra ekologiški, atsparūs trinčiams. Taip pat gali būti gaminiai iš lygaus lininio ir pusiau lininio audinio, panaudojant jį namų dekorui (<http://www.agrupe.lt>).

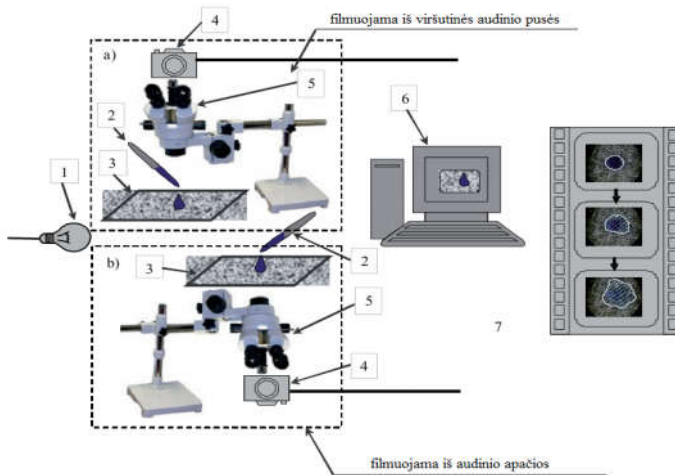
Rinkdamiesi kilpinį audinį, vartotojai atsižvelgia į gaminio grifą. Audinio grifas (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004) apibūdina žmogaus pojūčius jį liečiant. Grifą lemia geometrinės audinio savybės, kurios turi įtakos audinių standumui, šilumos laidumui, laidumui orui, vandens absorbcijai. Audinio storis lemia audinio purumą, o trinties koeficientas nulemia audinio švelnumą arba šiurkštumą. Taip pat renkantis kilpinius gaminius svarbios charakteristikos yra audinio stiprumas ir ilgaamžiškumas (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004). Drabužių patogumą lemia šilumos ir drėgmės savybės (šilumos laidumas, vandens garų laidumas, kapiliarumas ir džiuvinimas), taip pat ir mechaninės savybės (Rego, Verdu, Nieto ir Blanes, 2010). Kilpinių audinių ir mezginių tyrėjai, siekdami įvertinti paviršiaus šiurkštumą ir lygumą, yra pasiūlę naują metodą – vaizdo analizę (Khalfbadam, Najar, Najarian, Rezaei ir Feats, 2012; Singh, Behera, 2012) naudojant siūlo parametrus (sukrį, ilginį tankį, siūlo akytumą ir kt.) ir audinio konstrukcinius parametrus (kilpos tankį, kilpos aukštį ir kt.) (Singh, Behera, 2012). O Dargienės (2015) sudaryta bekontaktė vaizdų analizavimo metodika gali būti panaudojama kaip efektyvi austos struktūros medžiagų savybių vertinimo priemonė, pritaikoma prognozuojant audinių kokybę ir kuriant naujus audinius. Kiti autoriai (Grinevičiūtė, Daukantiene ir Gutauskas, 2005) atpažintus medžiagos lietimą pojūčius lygino su grifo nustatymo rezultatais, gautais prietaisu *KTU-Griff-Tester*. Gauti rezultatai parodė, kad tarp subjektyvaus ir objektyvaus grifą apibūdinančių rodiklių nėra tiesinių priklausomybių (Grinevičiūtė, Daukantiene ir Gutauskas, 2005).

1.2. Fizikinės audinių savybės

1.2.1. Kilpinių audinių absorbcijos geba

Drėgmės srautas per tekstilės medžiagas yra svarbus parametras, reglamentuojantis komforto savybes. Kilpiniai audiniai turi didelę vandens absorbcijos savybę, palyginti su kitų rūšių tekstilės gaminiais. Vandens sugėrimas priklauso nuo audinio pluoštinės sudėties, naudojamų siūlų rūšies ir audinio sandaros. Kilpiniuose audiniuose didelė skysčio absorbcija yra pasiekama dėl audinio paviršiuje išsidėsčiusių kilpų, kurios gausiai absorbuoja skystį (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004; Karahan, 2007; Karahan, Eren, 2006; Koç, Zervent, 2006).

Absorbcijos gebą tyrinėja daugelis mokslininkų – statiniu ir dinaminio požūriu. Taigi Karahan (2007) atliko medvilninių kilpinių audinių dinaminės vandens absorbcijos tyrimą remdamasis *BV S1008* metodu, kur absorbcijos greitis buvo matuojamas tam tikrais laiko intervalais. Nustatyta, kad kilpinių audinių dinaminei vandens sugerčiai reikšmingiausią poveikį turi siūlų rūšis, naudojama kilpoms sudaryti. Taip pat šio tyrimo metu buvo nustatyta, kad žiedinio verpimo šukuotiniai verpalai turėjo geresnę vandens sugertį nei suktiniai žiedinio verpimo šukuotiniai siūlai ir suktiniai beverpsčio verpimo siūlai. Kilpinių audinių ilginis tankis ir kilpos aukštis neturėjo didelės įtakos dinaminei vandens absorbcijos gebai (Karahan, 2007).



1.4 pav. Audinių absorbcijos tyrimo schema: 1 – šviesos šaltinis, 2 – lašintuvas, 3 – audinys, 4 – skaitmeninė kamera, 5 – stereomikroskopas, 6 – kompiuteris, 7 – filmuoto vaizdo kadrai (Baltakytė, 2009; Petrulytė, Baltakytė, 2009b)

Petrulytė ir Baltakytė (2009b) kilpinių audinių dinaminį procesą analizavo kilpinių audinių absorbcijos tyrimo metodika, kuri leidžia nustatyti ir vertinti absorbuojamo skysčio dėmės plotų pokyčius, lyginant juos su pradiniu dėmės plotu ir dėmių plotų kitimą laikui bėgant (**1.4 pav.**). Ši absorbcijos tyrimo metodika leidžia atlikti tyrimus stebint skysčio lašo dinamiką iš viršutinės ir apatinės audinio pusių, t. y. kilpinių audinių dinaminė absorbcija tiriama užlašinus distiliuoto vandens ant audinio paviršiaus ir filmuojant skysčio elgseną laikui bėgant viršutinėje ir apatinėje audinio pusėje (Petrulytė, Baltakytė, 2009b). Toks tyrimas leidžia įvertinti absorbcijos greitį abiejose kilpinio audinio pusėse (Baltakytė, 2009; Petrulytė, Baltakytė, 2009b). Rezultatai parodė, kad dinaminis absorbcijos procesas kilpiniuose audiniuose priklauso nuo audinio sandaros, apdailos poveikių ir procedūros trukmės. Ilgiausiai absorbcija vyksta žaliuose (be apdailos) audiniuose, šlapiaja apdaila paveiktų ir tumbleruotų audinių dinaminė absorbcija trumpesnė nei žalių audinių. Tiriant įvairios sandaros žalius audinius nustatyta, kad lašas taisyklingos formos išlieka ilgiau nei apdaila paveiktuose audiniuose (Baltakytė, 2009; Petrulytė, Baltakytė, 2009b).

O statinės vandens absorbcijos tyrimas buvo atliktas remiantis tarptautine *BV S1008 Bureau Veritas Consumer Products Services* metodika (Karahan, Eren, 2006; Petrulytė, Baltakytė, 2009). Karahan ir Eren (2006) teigia, kad pagrindinis parametras, lemiantis statinę vandens absorbciją, yra verpalai. Taip pat buvo ištirta, kad audiniai iš žiedinio verpimo siūlų pasižymi didesne vandens absorbcija nei audiniai iš rotorinio verpimo siūlų. Kilpinių audinių metmenų ir ataudų ilginis tankis ir kilpos aukštis taip pat turėjo įtakos vandens absorbcijos gebai. Didėjant kilpos aukščiui, didėja vandens absorbcija, nes didėja kilpinių metmenų paviršinis plotas. Didėjant metmenų ir ataudų ilginiam tankiui, absorbcijos geba mažėjo. Statinei vandens absorbcijai kilpos aukštis turi didesnę įtaką nei ataudų ar metmenų tankumai (Karahan, Eren, 2006). Tyrėjai Koç ir Zervent (2006) taip pat atliko kilpinių audinių, išaustų iš rotorinio ir žiedinio verpimo verpalų, absorbcijos tyrimus. Jie nustatė, kad verpalų gamybos būdas neturi didelės įtakos vandens absorbcijos greičiui, bet didesne absorbcija pasižymi audiniai, kurių tankumas mažesnis (Koç, Zervent, 2006).

Kilpinių audinių, paveiktų įvairiais poveikiais ir apdaila, statinės vandens absorbcijos geba, kartu su medžiagos storiu ir paviršiniu tankiu, taip pat ištirta (Petrulytė, Baltakytė, 2009). Nustatyta, kad kilpinių audinių kilpos aukštis turi įtakos kilpinių audinių statinei vandens absorbcijos gebai, nes audiniai su ilgiausiomis kilpomis pasižymėjo didžiausia vandens absorbcijos geba. Kilpinių audinių statinei absorbcijai taip pat įtaką turi ir įvairūs poveikiai / apdaila, kurių kiekiui ir trukmei didėjant, statinės absorbcijos rodiklis didėja. Itin smarkus šlapiąja apdaila paveiktų ir tumbleruotų audinių statinės absorbcijos padidėjimas (Baltakytė, 2009; Petrulytė, Baltakytė, 2009). Skysčio judėjimui per kilpinius audinius turi įtakos tekstilės medžiagos sandara, jos paviršinis tankis, storis, ypač svarbus akytumas (Petrulytė, Baltakytė, 2009a).

Petrulytė ir Našlėnienė (2010) išsamiai išnagrinėjo lininių, lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių kilpinių audinių skysčio sulaikymo gebą. Skysčio sulaikymo geba apskaičiuojama žinant sugeriamo skysčio tankį, pluošto tankį ir audinio akytumą (1.1). Audinio akytumas apskaičiuojamas kaip audinio kontūrinio tankio ir pluošto tankio santykis (1.2). Audinio kontūrinis tankis nustatomas žinant audinio paviršinį tankį ir audinio storį (1.3).

$$C = \frac{q_l}{q_f} \frac{\theta}{1 - \theta}, \quad (1.1) \quad \theta = 1 \frac{q_b}{q_f}, \quad (1.2) \quad q_b = \frac{T_p}{s}; \quad (1.3)$$

Čia C – skysčio sugerties geba, g/g; q_l – distiliuoto vandens tankis (23 t, °C), g/cm³; q_f – pluošto tankis, g/cm³; θ – audinio akytumas; q_b – audinio kontūrinis tankis, g/cm³; q_p – pluošto tankis, g/cm³; q_b – audinio kontūrinis tankis, g/cm³; T_p – audinio paviršinis tankis, g/cm²; s – audinio storis, cm.

Taigi kilpinių audinių skysčio sulaikymo geba priklauso nuo audinio akytumo, audinio kontūrinio tankio, taip pat nuo kilpos aukščio, apdailos operacijų ir jų intensyvumo. Padidėjus audinio akytumui, padidėja ir skysčio sulaikymo geba, o, sumažėjus audinio kontūriniui tankiui, audinio akytumas padidėja. Paveikus kilpinius

audinius apdaila, skysčio sulaikymo geba visais tirtais atvejais sumažėjo, palyginti su žaliais be apdailos audiniais (Petrulytė ir Našlėnienė, 2010).

Frontczak-Wasiak ir Snycerskis (2004), ištyrę kilpinius audinius su medvilniniais, medvilniniais-lininiais ir medvilniniais-kanapiniais kilpiniais metmenimis, nustatė, kad po skalbimo medvilninių kilpinių audinių sorbcijos geba padidėja. Tyrimai parodė, kad jei kilpinio audinio kilpos yra abiejose audinio pusėse, audinys po skalbimo susitraukia mažiau, ir todėl audinių vandens absorbcija po skalbimo padidėja (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004). Sekenden (2012) teigia, kad kilpiniai audiniai turi turėti ne tik geras absorbcines savybes, metmenų stabilumo savybes, bet ir gerą spalvos atsparumą. Bizjak ir Cuden (2012) analizavo drėgmės *valdymą* kilpiniuose rankšluosčiuose (medvilninių, medvilninių / PES). Jie teigia, kad skysčio srautas per tekstilės medžiagas *valdomas* dviem procesais, t. y. vilgymu ir kapiliarumu. Kapiliarumas gali būti apibrėžiamas kaip gebėjimas išlaikyti drėgmę kapiliaruose. Vilgymas apibūdinamas kaip medžiagos drėkinimo procesas prieš kapiliarumą. Taip pat drėgmės *valdymui* turi įtakos įvairių tipo pluoštai (hidrofiliniai ir hidrofobiniai) ir kilpinio audinio struktūra (tankis, akytumas ir storis) (Bizjak, Cuden, 2012).

Taigi, apžvelgus Lietuvos ir užsienių šalių kilpinių audinių absorbcijos tyrimus, matyti, kad dauguma atliktų tyrimų – statinės ir dinaminės sorbcijos tyrimai. Nagrinėjami kilpiniai audiniai dažniausiai pagaminti iš medvilninių verpalų. Retų pluoštų verpalai, pavyzdžiui, ramės, kanapės pluoštai, beveik nenaudojami arba naudojami itin retai. Literatūros apie ramės kilpinius audinius neaptikta, todėl svarbu ištirti šių audinių fizikines, mechanines savybes, nes tai svarbu ne tik vartotojui, bet ir gamintojui. Pažymėtina, kad šių pluoštų naudingumas gaminant kilpinius audinius būtų perspektyvus, nes šie pluoštai pasižymi gausiomis vertingomis savybėmis. Kadangi kilpiniai audiniai naudojami drėgnose aplinkose (vonios, pirtis, sauna), svarbu ištirti vandens garų absorbciją. Taip pat svarbus ne tik šiems audiniams būdingas sugeriamo vandens kiekis, bet ir tai, koku intensyvumu vanduo yra išgarinamas.

1.2.2. Absorbcijos ir desorbcijos reiškiniai tekstilėje

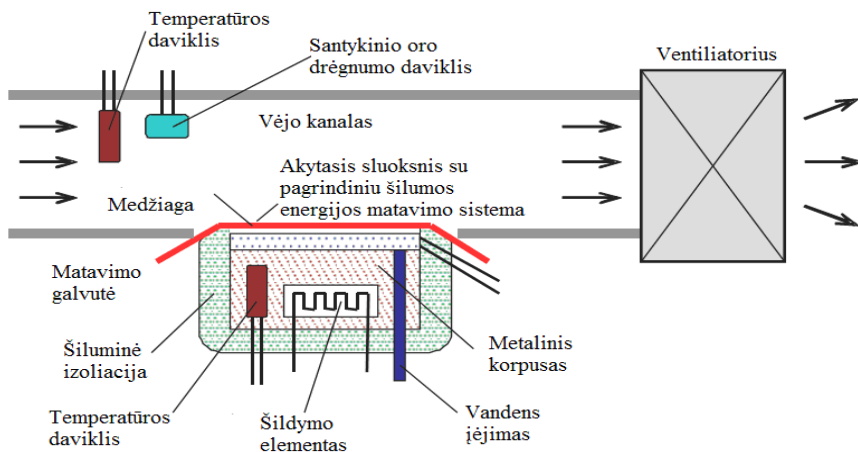
Absorbcija ir desorbcija nebejotinai reikšminga visoms tekstilės medžiagoms, kurios siejamos su komforto savybėmis, todėl tekstilės medžiagų komfortas yra daugelio tyrėjų objektas. Tekstilės medžiagų komforto ypatybės labai susijusios su šilumos ir drėgmės transportavimu, taip pat oro pralaidumu per tekstilės medžiagas. Jos labai priklauso nuo aprangos medžiagų gebėjimo praleisti ir sugerti kūno išskirtą drėgmę. Drabužių gebėjimas išskirti į aplinką vandens garus yra svarbus veiksnys fiziologiniam komfortui. Drėgmės srautas per tekstilines medžiagas yra svarbus parametras, reglamentuojantis komforto savybes (Boguslawska-Bączek ir Hes, 2013; Das, Das, Kothari, Fanguiero ir Araujo, 2009; Gorjanc, 2012; Gulbinienė, Jankauskaitė, Sacevičienė ir Mickus, 2007; Gupta, Kothari ir Jhanji, 2014; Laing, Niven, Barker ir Porter, 2007; Sybilska ir Korycki, 2010; Skenderi, Čubrić ir Srdjak, 2009).

Vandens garų pralaidumas yra vienas iš svarbiausių veiksnių, nulemiančių audinių komfortą, teigia Boguslawska-Bączek ir Hes (2013), jie pateikė *Permetest* testą (**1.5 pav.**), kuris užtikrina tikslų sausos ir šlapios medžiagos vandens garų pra-

laidumo matavimą. Santykinis vandens garų pralaidumas buvo aprašomas pagal (1.4) formulę (Boguslawska-Bączek, Hes, 2013).

$$RWVP = q_s / q_o \times 100, \quad (1.4)$$

čia q_s – šilumos srauto tankis, išgaravęs nuo odos, Wm^{-2} ; q_o – šilumos srauto tankis, einantis per atidengtą matavimo galvutę, Wm^{-2} .



1.5 pav. *Permatest* modelis (Boguslawska-Bączek, Hes, 2013)

Ši *Permatest* testą naudojo daugelis tyrėjų, nustatydami vandens garų pralaidumą (Das, Das, Kothari, Fanguiero ir Araujo, 2009; Gorjanc, Dimitrovski ir Bizjak, 2012; Gupta, Kothari ir Jhanji, 2014; Manshahia, Das, 2013; Sybilska, Korycki, 2010).

Šiuo metu gaminant drabužius daug dėmesio skiriama drėgmės nutekėjimo nuo odos ir šiluminiam komfortui (Dominiak, Frydrych, 2013). Todėl drabužiai turi turėti gerą vandens garų pralaidumą ir hidraulinės drėgmės perdavimo savybes, t. y. sugerti drėgmę nuo odos ir išskirti į aplinką. Nustatyta, kad vandens garų pralaidumas ir absorbcija padidėja panaudojant hidrofilinius pluoštus (Das ir kt., 2009). Kiti autoriai (Das, Das, Kothari, Fanguiero ir Araujo, 2009) tyrė mišriapluoščių vandens garų pralaidumą ir absorbciją. Gauti tyrimai parodė, kad, esant didesniam hidrofilinio pluošto kiekiui mišinyje, vandens garų pralaidumas ir absorbcija didėjo. Avram, Agrawal, Curteza ir Brinks (2013) nustatė, kad, esant hidrofiliniam pluoštui iš vidaus ir hidrofobiniam pluoštui iš išorės, nustatytas geriausias vandens garų pralaidumas.

Sekerden (2011) pateikia vandens absorbcijos tyrimą su audiniais iš bambuko, medvilnės ir bambuko / medvilnės pluoštų deriniais keturių skirtingų pynimo tipų. Iš gautų rezultatų matyti, kad atlasinio ir panamos pynimo rašto audiniai, esant bambuko / medvilnės pluošto mišiniams, vandens absorbavo daugiausia. Teigiama, kad audinių vandens absorbcijos charakteristikos rodo, kad pluošto sudėtis ir audinio

pynimo tipas buvo labai reikšmingi veiksniai, nulemiantys vandens absorbciją (Se-kerden, 2011).

Daugelis tyrimų yra atlikta su megztinėmis medžiagomis (Abramavičiūtė, Mikučionienė ir Čiukas, 2011; Bivaitytė, 2012; Bivainytė ir Mikučionienė, 2011; Bivainytė ir Mikučionienė, 2011a; Cubric, Skenderi ir Havenith, 2013; Gupta ir kt., 2014; Manshahia, Das, 2013; Mickevičienė, 2015; Sybilska, Korycki, 2010; Skenderi, Čubrić ir Srdjak, 2009; Supuren ir kt., 2011.). Tirdami megztinių medžiagų vandens garų atsparumą, vieni tyrėjai naudojo *Permetest* metodą (**1.5 pav.**), kiti tam tikslui naudojo šilumos manekeną, kuris imitavo žmogaus kūną (Cubric, 2013; Laing, 2007). Tarkim Cubric, Skenderi ir Havenith (2013) tyrimo tikslas buvo megztų medžiagų techninių ir technologinių parametrų įtaka vandens garų atsparumui. Tyrimo metu buvo atsižvelgiama į tekstilės pluošto tipą, verpalų ir megztinės medžiagos parametrus, audinio apdailą (balinimo būdą, dažymą ir minkštinimą) ir žmogaus kūno aktyvumą, taip pat kokią įtaką šie parametrai daro vandens garų išsiskyrimui į aplinką. Gauti rezultatai parodė, kad ryšys tarp vandens garų atsparumo ir megztos medžiagos parametrų (paviršinis tankis, megztinės medžiagos storis ir kt.) yra ypač ryškus ($R^2 = 0,9$). Straipsnių (Gupta, Kothari ir Jhanji, 2014; Sybilska, Korycki, 2010) autorių gauti rezultatai rodo, kad mezginių iš poliesterio / medvilnės su didesnėmis kilpomis turi didesnę pralaidumą orui, santykinį vandens garų pralaidumą ir mažesnę savitą šilumos laidumą ir šilumos absorbavimą (Gupta ir kt., 2014).

Funkciniai mezginiai yra plačiai naudojami sportinei veiklai, todėl svarbu greitas drėgmės sugėrimas ir greitas džiovimas (Bivaitytė, 2012; Supuren ir kt., 2011; Zhou, Feng ir Li, 2010). Tyrimai rodo, kad natūralių pluoštų verpalų (medvilnė, bambukas) mezginiai gerai sugeria drėgmę, todėl mezginiai iš šių pluoštų siūlų naudojami išoriniam drabužio sluoksniui. Sintetiniai pluoštai (poliesteriniai, polipropiliniai, poliamidiniai ir poliuretaniniai ir *Coolmax*[®]) užtikrina drėgmės perdavimą nuo kūno į išorę, kur yra greičiau išgarinama, ir yra naudojami vidiniam drabužio sluoksniui (Bivaitytė, 2012; Supuren ir kt., 2011). Laidumas vandens garams labiau priklauso nuo pluoštinės sudėties (14 proc.), t. y. nuo pluošto vandens sugėrimo ir išgarinimo savybių, nei nuo mezginio sandaros (8 proc.) (Bivaitytė, 2012; Bivainytė, Mikučionienė, 2011). Kiti tyrėjai, tyrę mezginių vandens garų absorbciją (Das ir kt., 2009; Salopek, Skenderi, 2013; Skenderi ir kt., 2009), antrina, kad drėgnumo perdavimo savybės megztinėje medžiagoje priklauso nuo pluoštinės sudėties, t. y. vandens garų atsparumas buvo daug didesnis gaminant iš natūralių pluoštų arba esant hidrofiliniam pluoštui. Mezginiams iš mikropluošto (Yoo, Kim, 2008) būdingas didelis paviršiaus užpildymas, todėl jie nepraleidžia vėjo ir vandens iš išorės, tačiau gerai praleidžia vandens garus. Didėjant gijų skaičiui, laidumas vandeniui mažėja, o laidumas vandens garams išlieka pakankamas (Yoo, Kim, 2008).

Dinaminį mezginių vandens absorbcijos tyrimą (Bivaitytė, 2012; Bivainytė, Mikučionienė, 2011a) autorės atliko pagal sudarytą kilpinių audinių absorbcijos tyrimo metodiką (**1.4 pav.**). Buvo nustatyta, kad tirtų dvisluoksnių skersinių mezginių pluoštinė sudėtis ir pynimas turi reikšmingą įtaką vandens absorbcijos dinamikai – keičiant pluoštinę sudėtį, absorbcijos proceso greitį galima padidinti iki 6 kartų, o keičiant pynimą – iki 3 kartų (Bivaitytė, 2012; Bivainytė, Mikučionienė, 2011a).

Tiriant (Bivaitytė, 2012) nustatyta, kad skersinių dvisluoksnių mezginių statinei absorbcijai ir liekamajam drėgniui po valandos džiovinimo didžiausią įtaką daro pluoštinė sudėtis (iki 130 proc.) ir mezginio tankumas (iki 78 proc.), o mezginio pynimas – iki 35 proc. Po skalbimo mezginių tankumas padidėjo, todėl sugeriamo vandens garų kiekis taip pat padidėjo, t. y. tankesnis mezginys geba sugerti didesnę drėgmės kiekį (Bivaitytė, 2012). Abramavičiūtė, Mikučionienė ir Čiukas (2011) nagrinėjo mezginių statinę vandens absorbciją. Buvo nustatyta, kad didžiausiomis vandens kiekio absorbcijos vertėmis išsiskyrė mezginiai iš grynpluoščių ir mišriapluoščių verpalų, mažesnėmis – sluoksniuotiniai mezginiai su tekstūruotu PA siūlu, o mažiausiomis – sluoksniuotiniai mezginiai su elastano siūlu. Tekstūruoto PA siūlo struktūroje gali išsilaikyti dalis absorbuoto vandens, o elastinis siūlas drėgmės visiškai nesugeria. Mezginiuose iš grynpluoščių verpalų plaukeliai išbrinksta, ir vanduo pasilieka mezginio struktūroje (Abramavičiūtė, Mikučionienė ir Čiukas, 2011). Kiti autoriai (Gorjanc, Dimitrovski ir Bizjak, 2012; Gorjanc, 2012) tyrė drobinio ir ruoželinio pynimo audinius, kurie buvo pagaminti iš medvilnės ir medvilnės / elastano. Gauti tyrimai parodė, kad medvilnės audiniai su elastiniu siūlu turi didesnę atsparumą šilumai ir vandens garams, palyginti su grynais medvilnės audiniais. Taip pat buvo nustatyta (Gorjanc, 2012), kad atsparesnis tas audinys, kurio ataudų tankumas buvo didesnis, t. y. ruoželinio pynimo audinys.

Kai kurie apsauginių savybių audinių gamintojai daugiau dėmesio skiria estetikai, o ne komforto savybėms (Jun ir kt. 2009). Šiai medžiagų grupei galima priskirti higienos ir medicinos gaminius, taip pat minėtų gaminių asortimente yra plačiai naudojami ir kilpiniai audiniai. Taigi tekstilinės medžiagos, kurios turės tiesioginį kontaktą su oda, turėtų turėti tinkamas biofizines savybes, tokias kaip vandens garų pralaidumas, higroskopiskumas ir šiluminė varža (Dominiak, Frydrych, 2013; Pryczyńska ir kt., 2003). Ypač aukšti reikalavimai yra hospitalizuotiems ligoniams naudojamai tekstilei. Higieninis komfortas taip pat priklauso nuo pralaidumo garams ir orui, vandens absorbcijos, žinoma, ir nuo pluošto sudėties (Pryczyńska ir kt., 2003). Audiniai iš natūralių pluoštų pasižymi labai geromis higienos savybėmis (Dominiak, Frydrych, 2013). Chirurginės tekstilės audiniai turi derėti biologiškai, būti patogūs ir gebėti sudaryti sterilią aplinką pacientui bei operacinės personalui. Šlappumo ypatybės ypač svarbios chirurgijoje naudojamiems tekstilės gaminiams, nes jos padeda įvertinti gaminio gebėjimą neleisti pro jį prasiskverbti skysčiams ir juose esančioms smulkioms dalelėms (Pociūtė, Lehmann ir Vitkauskas, 2003).

Mickevičienė (2015) nustatė, kad antibakterinė apdaila turi reikšmingą įtaką mezginių laidumui vandens garams ir jų absorbcijai. Antibakteriškai apdorotų mezginių laidumas vandens garams buvo iki 18 proc. mažesnis nei apdorotų be antibakterinių medžiagų mezginių. Po garinimo šlapiąja apdaila apdorotų mezginių drėgnis buvo iki 2 kartų didesnis nei apdorotų antibakterinėmis medžiagomis mezginių. Taip pat nustatyta, kad antibakterinėje apdailoje naudojama jungiamoji polimerinė medžiaga *iSys MTX*, sudaranti ant pluošto paviršiaus ploną plėvelę, smarkiai sumažina mezginių vandens sorbcinę gebą (Mickevičienė, 2015). O kito straipsnio autoriai (Wang, Zhou ir Wang, 2009) teigia, kad audiniai, apdoroti silicio minkštikliu, neturėjo didelės įtakos drėgmės absorbcijai ir vandens išgarinimo rezultatams.

Drėgmės perdavimo ir absorbcijos savybės atlieka svarbų vaidmenį vertinant bendrą audinių nusidėvėjimo komfortą. Šiam tyrimui Rossi ir kt. (2011) panaudojo rentgeno tomografiją. Tyrimas parodė, kad rentgeno tomografija – veiksminga priemonė analizuojant su ne tik vandens pasiskirstymą statinėmis sąlygomis, bet taip pat ir 3D vandens išskyrimą į aplinką. Naudojamos medžiagos buvo poliamidas, polipropilenas ir vilna, kurios turėjo labai skirtingas hidrofilines / hidrofobines ir higroskopiskumo savybes. Kapiliarumo procesas parodė aiškią laiko priklausomybę naudojant poliamido ir vilnos audinius, o polipropileno audinių tyrimų rezultatai buvo nevienodi. Raja ir kt. (2012) tyrė vandens plitimą audiniuose naudodami vaizdo analizę. Jie teigia, kad plitimo plotas yra priklausomas nuo siūlų ilginio tankio. Tų siūlų, kurie turi mažesnius ilginius tankius, plitimo plotas yra didesnis, palyginti su siūlais, turinčiais didesnius ilginius tankius. Jei dėmės plotas didesnis, tai ir audinio garavimo plotas taip pat didesnis (Raja ir kt., 2012).

Užtikrinti šiluminį stabilumą žmogaus organizme yra viena svarbiausių drabužių funkcijų. Apranga sukuria barjerą tarp odos paviršiaus ir išorės. Apranga daro įtaką ne tik šilumos mainams, bet ir išskiriamo prakaito garavimui. Šie šilumos mainai priklauso nuo daugybės veiksnių, susijusių su aplinka, t. y. oro temperatūros, oro judėjimo ir drėgmės. Ne mažiau svarbų vaidmenį vaidina drabužių pluoštinė sudėtis, taip pat mikro- (vienasluoksniai) ir makro- (daugiasluoksniai) drabužių struktūros (Matusiak, 2006). Daugiasluoksnės tekstilės paketai yra plačiai naudojami apsaugant nuo balistinio poveikio ir įtakos pavojingoje aplinkoje. Tarp daugiasluoksnės tekstilės medžiagos ir žmogaus organizmo vyksta šilumos, oro ir vandens garų mainai. Vienas iš svarbiausių iššūkių balistinės apsaugos drabužių kūrėjams yra užtikrinti dėvėjimo komfortą, palaikant reikalingą šilumos ir drėgmės koncentracijos balansą žmogaus odos paviršiuje (Barauskas, Abraitienė, 2011).

Šilumą teikiantys drabužiai sudaryti iš daugiasluoksnės medžiagos, kur kiekvienas sluoksnis atlieka atskirą ir specifinę funkciją (Mijović, Salopek, Skenderi ir Reischl, 2012). Tam tikri drabužiai lengvai leidžia pernešti drėgmę nuo kūno į viršutinį gaminio sluoksnį. Daugiasluoksnių drabužių sluoksnių suderinimas gali keisti šilumos ir drėgmės transportavimo savybes. Gaminant gaminius (sportinę, kasdienę aprangą, medicinines paskirties, namų apyvokos gaminius) svarbiausia, kad jie greitai sugertų drėgmę, praleistų ją į išorinį sluoksnį ir greitai išgarintų. Tai yra šiluminis fiziologinis komfortas, jis svarbus ne tik sportinei aprangai (Manshahia, Das, 2013), bet ir itin svarbus kareivių (Barauskas, Valasevičiūtė ir Jurevičiūtė, 2009) bei policijos pareigūnų (Mijović ir kt., 2012) aprangai.

Apsauginiai drabužiai vaidina svarbų vaidmenį išsaugant drėgmės ir šilumos pusiausvyrą. Todėl būtina pasirinkti atitinkamus audinius ir sukurti drabužius, kurie tiktų tam tikromis aplinkos sąlygomis. Apsauginių drabužių nuo karščio, šalčio, vėjo, lietaus ir kitos paskirties gamyba yra daugelio tyrėjų analizuojama sritis (Bartels, 2006; Dominiak, Frydrych, 2013; Guo ir kt., 2008; Salopek, Skenderi, 2013; Sybilska, Korycki, 2010; Wang ir kt., 2007). Wang ir kt. straipsnyje (2007) analizuojamas drėgmės reguliavimo poveikis kuriant apsaugančius nuo šalto oro drabužius. Eksperimentinių tyrimų rezultatai parodė, kad medžiagų drėgmės reguliavimo savybės turėjo didelę įtaką drėgmės išsisklaidymui ir temperatūros pasiskirstymui apsau-

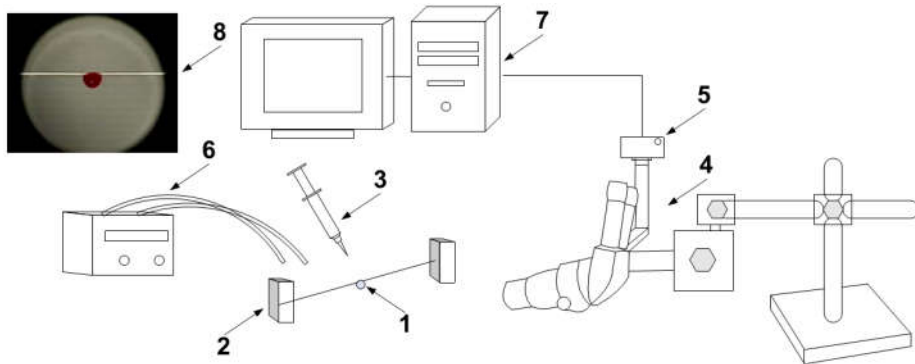
gančiuose nuo šalto oro drabužiuose, taip pat turėjo įtakos šilumos ir drėgmės pojūčiams (Wang ir kt., 2007). Bartels (2006) straipsnyje pateikiami tyrimai apie pamušalinę medžiagą, naudojamą gaminant funkcionalius vėjui ir vandeniui atsparius drabužius, taip pat apie struktūros ir cheminės apdailos įtaką šių medžiagų elektrosstatinėms savybėms. Tyrimo metu naudotos poliesterinės medžiagos, kurios dėl savo nehigroskopinės prigimties neabsorbuoja drėgmės. Nustatyta, kad megztinės medžiagos struktūra mažiau paveikia pamušalinių medžiagų elektrosstatines savybes, palyginti su chemine apdaila. Be to, tyrimo rezultatai rodo, kad funkcionaliems gaminiams skirtos pamušalinės medžiagos su hidrofiline apdaila turi ne tik geresnes antistatines savybes, bet ir geriau perneša drėgmę nuo kūno, yra malonesnės dėvinti (Bartels, 2006). Vidinio medžiagos sluoksnio parinkimas yra svarbus aspektas, nes šis medžiagos sluoksnis turi pasižymėti geru šiluminiu laidumu, drėgmės mainais ir lytėjimo savybėmis. Geras šiluminis laidumas gali pagerinti aušinimo efektyvumą, o geri drėgmės mainai ir lytėjimo savybės suteikia dėvėtojų komfortą (Cao, Branson, Peksoz, Nam ir Farr, 2006). Kituose straipsniuose (Guo ir kt., 2008; Padleckienė, Petrulis, Rubežienė, Valienė ir Abraitienė, 2009) nagrinėjamas *kvėpuojančių* dengtų medžiagų patogumas dėvėti, t. y. tiriamos *kvėpavimo* ir atsparumo vandens prasiskverbimui savybės. Pabrėžiama šių savybių svarba dengtoms medžiagoms, skirtoms drabužiams, apsaugantiems nuo kritulių, vėjo (Guo ir kt., 2008) ir mechaninių poveikių (Padleckienė ir kt. 2009). Kai drabužiai iš neperšlampo *kvėpuojančio* audinio, vandens garų pralaidumo rezultatai gaunami geri (Guo ir kt., 2008), po ciklinio tempimo medžiagų pralaidumas garams padidėja, nes mechaninio poveikio metu pasikeičia jų sandara (Padleckienė, 2009).

Atlikta daug apsauginių drabužių, skirtų ugniagesiams, tyrimų (Cui ir Zhang, 2009; Fanglong, Weiyuan ir Minzhi, 2007; Keiser, Becker ir Rossi, 2008; Keiser ir Rossi, 2008; Wang, Zong ir Li, 2011). Apsauga nuo karščio ir drėgmės komfortas yra bene svarbiausi reikalavimai šiai apsauginei tekstilei. Todėl projektuojant apsauginius drabužius keliamas aktualus klausimas, kaip užtikrinti ugniagesio saugumą darbo metu ir suteikti optimalų dėvėjimo komfortą. Tyrimų rezultatai rodo, kad drėgmės garus praleidžiantis barjerinis sluoksnis padeda užtikrinti dėvėjimo komfortą (Fanglong, Weiyuan ir Minzhi, 2007). Drėgmės transportavimas ir absorbcija apsauginiuose ugniagesių drabužiuose priklauso ir nuo sluoksnių skaičiaus. Jei audinys susideda iš penkių ar šešių sluoksnių, tai 75 proc. drėgmės susikaupia trijuose apatiniuose sluoksniuose. Taigi skirtingų sluoksnių drėgmės transporto ypatybių sąveika yra labai svarbi drėgmės dalijimui (Keiser, Becker ir Rossi, 2008). Dažniausiai šie drabužiai susideda iš trijų sluoksnių, t. y. išorinis sluoksnis yra atsparus karščiui, vidurinis – drėgmės barjeras (laidus vandens garams) ir vidinis – šilumos įdėklas (suteikiantis komfortą). Vandens garų perdavimo greitis mažėja didinant drėgmės barjerinių sluoksnių skaičių (Cui, Zhang, 2009).

Medžiagos, kurios geba sukaupti daug drėgmės, odai sukelia nemalonius pojūčius (Beskisiz, Ucar ir Demir, 2009; Ucar, Beskisiz ir Demir, 2009). Tam, kad žmogus jaustųsi patogiai, dėvima medžiaga turėtų greitai sugerti drėgmę ir ją išgarinti į aplinką, nesukeldama jokio drėgnumo jausmo. Todėl buvo sukurtas naujas siūlas, kuris gali sugerti vandens garus, nesukeldamas jokio drėgnumo jausmo žmogui,

kuris jį liečia. Tam buvo panaudotas polipropileno pluoštas. Tyrimai parodė, kad medžiagos, kuriose yra polipropileno pluošto, visada turėjo geresnę vandens absorbciją ir ilgesnį džiūvimo laiką, palyginti su medžiagomis be šio pluošto (Ucar, 2010; Ucar, Beskisiz ir Demir; Ucar, Demir, 2009). Taip pat geriausias drėgmės absorbcijos savybes turėjo audiniai su poliesteriniu pluoštu, turintys mikroakytą struktūrą (Wang, Zhou ir Wang).

Daugelis mokslininkų pažymi, kad tekstilinių gaminių vilgymas yra svarbi tekstilės gaminio savybė, priklausanti nuo siūlo morfologinės sandaros ir nuo gamybos būdo. Vilgymo proceso metu kreipiamas dėmesys į tai, koks skysčio kiekis yra absorbuojamas, ir stebimas laikas, per kurį tekstilės gaminyje absorbuoja skystį. Šis reiškinys yra nuolat tyrinėjimas (Baltakytė, 2009; Das, Das, Kothari, Fanguero, Araujo, 2007; Yuan, Lee, 2013; Krikštanavičienė, Stanys ir Jonaitienė, 2014).



1.6 pav. Principinė siūlų vilgymo tyrimo schema: 1 – skysčio lašas ant siūlo, 2 – siūlo įtvirtinimo sistema, 3 – lašintuvas, 4 – stereomikroskopas, 5 – skaitmeninė kamera, 6 – šviesos šaltinis, 7 – kompiuteris, 8 – filmuoto vaizdo pavyzdys (Krikštanavičienė ir kt., 2014)

Krikštanavičienė, Stanys ir Jonaitienė (2014) nustatė, kad skysčio rūšis (kraujas, dezinfekantas) ir daugiagijų siūlų sandara (gijinė struktūra) turi įtakos daugiagijų siūlų vilgymui. Vilgymo tyrimai atlikti stebint skysčio lašo ploto pokyčių kitimą nuo užlašinimo momento iki visiško sugėrimo. Tam naudota pasiūlyta metodika (**1.6 pav.**), kuri leidžia įvertinti vilgymo proceso eigą ir ištirti absorbcijos rodiklius. Nustatyta, kad siūlo sandaros tipas ir pluoštinė sudėtis turi svarbią įtaką vilgymo procesui. Tyrimo rezultatai parodė, kad dezinfekanto skysčio lašas visuose bandiniuose pasklinda greičiau nei kraujas. Taip pat nustatyta, kad PHBV (polihidroksibutirato-valeratas) pasižymi geromis hidrofobinėmis savybėmis. Pagrindine priežastimi galima laikyti PHBV sandarą, kuri nėra daugiagijė. Trumpiausias vilgymo procesas buvo siūlų, suformuotų iš PLA polimero (polipieno rūgšties). Laikoma, kad iPP (izotaktinis polipropilenas) siūlai yra hidrofobiški, todėl intensyvus vilgymas juose vyksta dėl intensyvaus skysčio judėjimo tarp gijų (Krikštanavičienė ir kt., 2014).

Kapiliarumas lemia svarbų vaidmenį nusakant audinio komfortą ir drėgmės transportavimą. Kapiliarumo procesas būna mikrokapiliaruose ir makrokapiliaruose. Makrokapiliarai atsakingi už trumpalaikį kapiliarumą, o mikrokapiliarai – už ilgalaikį kapiliarumą (Chatterjee, Singh, 2013). Saricam ir Kalaoglu (2014) tyrė poliesteri-

nių audinių kapiliarumą ir džiūvimą. Gauti rezultatai rodo, kad džiūvimui daro įtaką ataudų tankumas, audinio struktūra, audinio storis, siūlų tipas ir laidumas orui. Yra nustatyta, kad medžiagos, sudarytos iš gijinių siūlų, džiūsta greičiau nei medžiagos, sudarytos iš tekstūruotųjų siūlų (Saricam, Kalaoglu, 2014). Tai lemia medžiagos poringumas, medžiagos storis ir pluošto higroskopiskumas (Laing, Niven, Barker ir Porter, 2007).

Sengupta (2009) tyrė neaustinių medžiagų, pagamintų iš adatomis smaigstyto džiuto pluošto, vandens absorbciją. Idealus produktas gautas, kai buvo 160 adatų dūrių skaičius/cm², 14 mm adatos įsmigimo gylis ir 2–3 proc. alyvos (Sengupta, 2009). Lee ir Obendorf (2012) nustatė, kad audinio storis, audinio uždengimo koeficientas, audinio akučių skersmuo ir jų išsidėstymas, taip pat ir kiekybinis drėgnumo rodiklis yra reikšmingiausi parametrai, turintys įtakos vandens garų išskyrimui per neaustines tekstilės medžiagas (Lee, Obendorf, 2012). O Yalcin, Sezgin, Berkalp ir Sadikoglu straipsnyje (2014) nurodoma, kad neaustinės medžiagos, turinčios didžiausią viskozės pluošto santykį, fizikinės savybės geresnės.

Pastaruoju metu (Sahari, Sapuan, Ismarrubie ir Rahman, 2012) didėjančios aplinkos problemos mokslininkus ir technologus verčia domėtis retais natūraliais pluoštais. Vienas iš jų – tai cukrinės palmės pluoštas, ir vienas iš populiariausių natūralių pluoštų inžinerinių tyrimų – kokia galimybė panaudojus šį pluoštą sustiprinti polimerinį kompozitą. Cukraus palmių lapų pluošto absorbcijos procentas buvo didžiausias – iki 132,8 proc.

Eksplotacijos metu (Gulbinienė ir kt., 2007) aprangos medžiagose vykstantys vandens garų resorbcijos ir desorbcijos procesai yra daugkartiniai. Medžiagų drėkinimas ir jų džiovinimas turi įtakos polimerinių medžiagų relaksacijai, kartu ir jų higieninėms savybėms. Aprangos medžiagos turi gerai sugerti drėgmę ir gerai džiūti. Taigi svarbu žinoti medžiagų higieninių savybių kitimo dėl daugkartinės vandens garų absorbcijos ir desorbcijos dėsningumą. Gulbinienė ir kt. (2007) teigia, kad dėl absorbcijos ir desorbcijos kinta vandens garų absorbcijos vertės ir laminatų džiūvimo greitis, t. y. šios higieninės savybės priklauso nuo eksploatacijos veiksnių. Tekstiliniai laminatai su laidžia membrana yra plačiai naudojami gaminant drabužius, avalynę. Polimerinė membrana veikia kaip barjeras vandeniui, tačiau pakankamai laidus vandens garams (prakaitui). Todėl užtikrina geras komforto savybes (Gulbinienė, Jankauskaitė ir Kondratas, 2011; Sybilska, Korycki, 2010). Vandens garų absorbcijos ir desorbcijos mechanizmas priklauso nuo laminuotos odos laidumo vandens garams. Mažėjant laminuotos odos laidumui, intensyvėja kapiliarinės drėgmės ir vandens klasterių susidarymas, todėl didėja šios drėgmės sankaupos laminuotoje odoje (Gulbinienė, Jankauskaitė ir Urbelis, 2008). Vandens garų skverbtis pro laminuotą odą vyksta keliomis stadijomis: vandens garai absorbuojami odos paviršiuje, pasiskirsto odoje, toliau vyksta vandens desorbcija iš odos į tarpfazinį sluoksnį ir galiausiai difuzija per visus sistemos sluoksnius (Jankauskaitė, Gulbinienė ir Mikus, 2004).

Vandens ir garų absorbcinės savybės yra reikšmingos ne tik dėvimai aprangai, bet ir kompozicinėms medžiagoms (Irzmańska, Brochocka ir Majchrzycka, 2012; Sahari ir kt., 2012), kurios turi pasižymėti ne tik labai geromis mechaninėmis, mik-

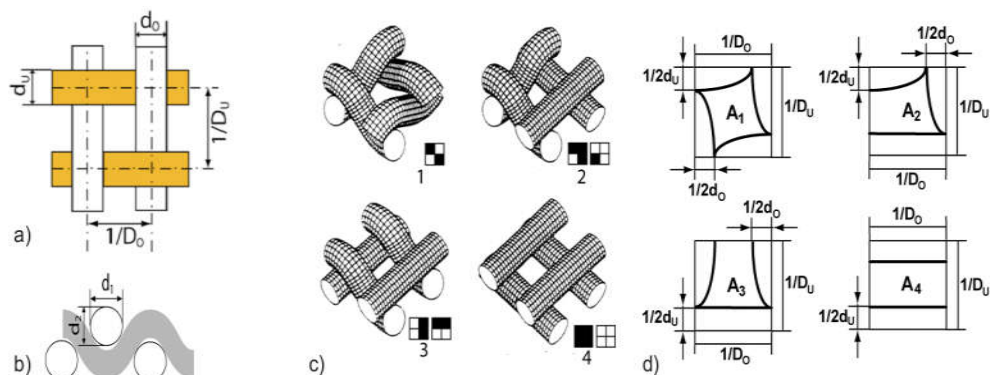
robiologinėmis savybėmis, bet ir higieninėmis savybėmis, tokiomis, kaip *ph* vandens ištraukimas, vandens garų absorbcija, vandens garų koeficientas ir vandens absorbcija / desorbcija ir šiluminė varža. Tam, kad būtų užtikrintas komfortas dėvint avalynę, gamintojai siūlo vidpadžius, pagamintus iš įvairių tekstilės kompozitų. Jų svarbiausios funkcinės savybės yra ne tik mechaninės, bet ir higieninės (vandens garų koeficientas, vandens absorbcija ir desorbcija, šilumos atsparumas) ir mikrobiologinės savybės (Irzmańska ir kt., 2012).

1.2.3. Tekstilės medžiagų laidumas orui

Tekstilės gaminių laidumas orui labiausiai priklauso nuo jų akytumui ir storio: didėjant akytumui arba mažėjant storiui, laidumas orui didėja (Yang ir kt., 2008). Laidumo rodiklis numatomas projektuojant gaminius, t. y. galima prognozuoti medžiagos akytumą, atsižvelgiant į gaminio paskirtį. Pavyzdžiui, vasarinių drabužių audinių laidumas orui turi būti didesnis negu audinių, iš kurių siuvami žieminiai drabužiai (Dubrovski, 2000). Laidumas orui yra vienas iš svarbiausių rodiklių, lemiančių audinių kokybę. Kuo audinys laidesnis orui, tuo greičiau džiūsta ir pašalina drėgmę nuo paviršiaus. Taip pat laidumas orui yra viena iš pagrindinių savybių, užtikrinančių patogumą (Frydrych, Dziworska ir Matusiak, 2003). Laidumas orui priklauso nuo audinio struktūros, kurią galima apibūdinti siūlų ilginiu tankiu, siūlų tipu, metmenų / ataudų tankumu ir audinio pynimu (Fatahi, Yazdi, 2012; Zupin, Hladnik ir Dimitrovski, 2012). Medvilniniai ruošelinio pynimo audiniai buvo beveik 25 proc. pralaidesni orui nei audiniai, austi drobininiu pynimu. Ruošelinio pynimo audiniai turi mažesnį skaičių sampynų, t. y. supintinio siūlo vietų, kuriose yra susipynusios gijos ir didesnės siūlų perdangos. Taip pat nustatyta, kad metmenų ir ataudų tankumas turi didelę įtaką laidumui orui (Zupin ir kt., 2012). Sekerden (2011) savo straipsnyje teigia, kad pynimo tipas turi didesnę poveikį laidumui orui nei pluošto tipas. Didžiausias laidumas orui buvo atlasinio pynimo audinių, nes šie audiniai turi ilgesnes siūlų perdangas ir mažiau susikirtimo taškų tarp ataudų ir metmenų siūlų. O nelaidžiausi orui buvo drobinio pynimo audiniai, nes jie turėjo didžiausius susikirtimo skaičius tarp ataudų ir metmenų (Sekerden, 2011). Çay, Atav ir Duran (2007) nurodė tris pagrindinius veiksnius, turinčius įtakos tekstilės gaminių akytumui, – tai siūlų skersmuo, tekstilės gaminio (audinio, mezginio, neaustinė medžiaga) siūlų skaičius viename vienetiniame plote. Manshahia ir Das (2013) teigia, kad laidumui orui turi įtakos ne tik medžiagos struktūriniai parametrai, bet ir pluošto plaukelių forma. Kito straipsnio autoriai (Belkacemi, Broadbent, 1999) teigia, kad atmosferos drėgmės absorbcija nulemia hidrofilinių pluoštų brinkimą, todėl keičiasi medžiagos akytumas ir storis. Tai turi įtakos mažėjančiam laidumui orui, nes vanduo blokuoja akutes, ir drėgmė sunkiau praleidžia orą. Tai patvirtina savo straipsnyje ir Emirhanova, Kavusturan (2008) – laidumas orui ypač sumažėjo po skalbimo.

Havlová (2013) tyrė laidumą orui, įvertinusi audinio konstrukcijos parametrus. Šie konstrukcijos parametrai buvo metmenų ir ataudų siūlai (D_o , 1/m; D_u , 1/m), metmenų ir ataudų siūlų skersmenys (d_o , m; d_u , m). Tam tikslui buvo pagaminti drobinio pynimo audiniai (medvilnė / polipropilenas), kurių metmenys buvo to paties ilginio tankio, tačiau ataudų ilginis tankis skyrėsi. Buvo nustatyta, kad audinio aky-

tumui didelę įtaką turi siūlų skersmuo. Havlová (2014) akcentuoja akučių geometriją audinyje. Akučių geometrija priklauso nuo metmenų išsidėstymo audinyje, t. y. nuo audinio pynimo. Tyrėja teigia, kad oras teka aplink siūlą, o ne statmena kryptimi (1.7 pav.).



1.7 pav. a) siūlų geometrija; b) skerspjūvio vaizdas; c) trimatis modelis; d) dvimatis modelis (Havlová, 2014)

Dar kitame straipsnyje (Jakšić, Jakšić, 2007) teigiama, kad akutės, esančios audiniuose, mezginiuose ir neaustinėse medžiagose, skiriasi, taip pat kad yra trys akučių tipai – tai makrotarpai tarp metmenų ir ataudų siūlų, tarp pluoštų siūluose ir mikrotarpai pluoštuose. Makrotarpai tarp metmenų ir ataudų atlieka svarbią funkciją sprendžiant praktines problemas. O mikrotarpai tarp pluoštų siūluose atlieka svarbią funkciją technologiniuose procesuose (pavyzdžiui, audinio dažymas) (Jakšić, Jakšić, 2007).

Dubrovski (2000) teigia, kad per tekstilės medžiagos akutes, esančias pluošto plaukeliuose, tarp plaukelių siūluose, audiniuose tarp metmenų ir ataudų, yra išskiriama energija, skystis ir šiluma. Dubrovski ir Brezocnik (2002) taip pat analizavo audinių struktūros įtaką makroaktytumo savybėms. Buvo sukurtas modelis, galintis numatyti makroaktytumo savybes – akučių plotą skerspjūvyje, minimalių ir maksimalių akučių skersmenį, akučių tankumą, atvirą aktytumą. Pastebimi didesni skirtumai, kai tekstilės medžiagose naudojami verpalai, vienagijai ar daugiagijai siūlai. Akivaizdu, kad medžiagos, pagamintos iš storesnių siūlų, turės didesnes akutes skerspjūvyje. Stori siūlai užima daugiau vietos, taigi audinio metmenų / ataudų tankumai yra mažesni, o tai reiškia, kad atstumas tarp siūlų yra didesnis, todėl akučių dydis didesnis. Siūlų putlumas taip pat turi įtakos akučių dydžiui. Akučių tankumas mažėja dėl audinio uždengimo koeficiento ir plonesnių siūlų (Dubrovski, Brezocnik, 2002).

Laidumas orui daro įtaką šiluminėms audinio savybėms. Šiluma per audinius perduodama dėl pluoštų ir oro tarpų laidumo, t. y. per audinio akutes. Buvo ištirta, kad, šilumos atsparumui mažėjant, laidumas orui didėja (Zhu ir kt., 2015). Drabužio termofiziologinis komfortas priklauso nuo mikroklimato drabužio viduje, o tai labai priklauso nuo laidumo orui. Tai užtikrinti galima naudojant du audinio sluoksnius –

išorinį apsauginį sluoksnį (nuo lietaus, vėjo, šalčio, dėmių ir t. t.) ir vidinį sluoksnį (laidų vandens garams ir šilumai) (Morrissey, Rossi, 2014).

Atlikti tyrimai (Kumpikaitė ir kt., 2010a; Padleckienė, Petrulis, 2009) aiškinantis laidumo orui priklausomybę nuo dilinimo ciklų skaičiaus. Gauti rezultatai rodo, kad, didėjant dilinimo ciklų skaičiui, audinių laidumas orui pradžioje mažėja, nes audinių pumpuravimasis uždengia audinio paviršių. Tačiau po tam tikro ciklų skaičiaus laidumas orui pradeda didėti, nes dilinimo metu pluošto pumpurėliai savaime pasišalina, todėl audinys pradeda plonėti, ir atsiranda skylių (Kumpikaitė ir kt., 2010a).

Baltakytė ir Petruitytė (2008) teigia, kad laidumas orui ir akytumas yra labai svarbios tekstilės medžiagų ir produktų ypatybės, nes nulemia šilumos izoliaciją, elgseną liečiantis su skysčiais, barjerines savybes. Išanalizuoti kilpiniai audiniai – su kanapinių ir lininių verpalų kilpinio pūku. Nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymi žali (neapdailinti) audiniai. Nustatyta, kad kilpos aukštis, išsidėstymas audinio paviršiuje turi nemažą įtaką audinio laidumui orui. Vilgymo ir skalbimo procesai keičia audinio struktūrą dėl pluoštų brinkimo. Laidumą orui ypač sumažina skalbimas naudojant ploviklį. Tyrimo rezultatai parodė, kad, ilgėjant tumbleravimo trukmei, audinių laidumas orui mažėja (Baltakytė, Petruitytė, 2008). Tai, kad laidumas orui priklauso nuo apdailos, patvirtina savo straipsnyje ir Guo (2003). Guo (2003), atlikęs tyrimus su PES ir medvilnės audiniais, nustatė, kad laidumas orui mažėja nuo audinio apdailos, t. y. minkštinimo. Minkštinimo metu cheminės medžiagų dalelės užkemša audinių akutes, todėl mažėja audinio laidumas orui. Taip pat rezultatai parodė, kad laidumą orui skirtingai veikia audinio pluoštinė sudėtis, audinio sandara, skalbimų skaičius ir net skirtingų tipų minkštikliai (Guo, 2003).

Kito straipsnio (Urbas, Kostanjšek ir Dimitrovski, 2011) autoriai tyrė skirtingų konstrukcijų medvilnės audinių atsparumą UV (ultravioletiniams) spinduliams ir laidumą orui. Gauti rezultatai parodė, kad audiniai su viena metmenų sistema ir dviem ataudų sistemomis, taip pat audiniai su dviem metmenų ir dviem ataudų sistemomis yra labai didelio oro pralaidumo, jų pralaidumas nuo 3 iki 5 kartų buvo didesnis už audinių su viena metmenų ir viena ataudų sistema. Tyrimai taip pat atskleidė, kad audiniai, kurių laidumas orui didelis, turi geriausias apsaugines savybes nuo UV. Dėl šių savybių audiniai tinkami dėvėti vasarą (Urbas ir kt., 2011).

Yra daug atlikta tyrimų su megztinėmis medžiagomis (Bivaitytė, 2012; Bivaitytė, Mikučionienė, 2011; Čiukas, Abramavičiūtė, 2010; Dias, Delkumburewate, 2008; Manshahia, Das, 2013; Ogulata, Mavruz, 2010). Gaminiai iš šių medžiagų (Frydrych, Dziworska ir Matusiak, 2003) dažniausiai yra dėvimi ant kūno, todėl jie drabužiai turi pasižymėti geromis termofiziologinėmis savybėmis, tai – laidumas orui, taip pat šilumos ir drėgmės absorbcija. Šios savybės turi įtakos šiluminiam komfortui – tuo užtikrinama tinkama kūno temperatūra. Oras prasiskverbia pro gaminio akutes dėl skirtingo slėgio abiejose medžiagos pusėse. Priklausomai nuo gaminio paskirties, vieniems gaminiams svarbu, kad laidumas būtų kuo didesnis, kitiems, priešingai – kuo mažesnis (Frydrych ir kt., 2003).

Vieno iš straipsnių (Ogulata, Mavruz, 2010) autoriai teigia, kad megztinės medžiagos turi daugiau porų nei audiniai. Atlikti tyrimai su medvilnės mezginiais, ku-

rie buvo numegzti iš žiedinio verpimo ir sanglaudžiojo verpimo verpalų su skirtingais ilginiais tankiais. Tyrimai parodė, kad mezginių su mažesniu ilginiu tankiu laidumas orui yra didesnis. Taip pat gauti rezultatai rodo, kad mezginių, numegztų iš sanglaudžiojo verpimo verpalų, laidumas orui taip pat didesnis nei mezginių iš žiedinio verpimo verpalų. Taigi šio straipsnio autoriai teigia, kad medžiagos oro pralaidumas ir poringumas yra glaudžiai susiję vienas su kitu. Vadinasi, jei medžiaga yra labai poringa, ji gali būti laikoma pralaidžia orui (Ogulata, Mavruz, 2010). Dias ir Delkumburewatte (2008) teigia, kad akytumas didėja didėjant megztinės medžiagos kilpos ilgiui.

Bivainytė (2012) pastebi, kad laidumo orui savybė svarbi tekstilės medžiagoms, nes nulemia tarp kūno ir rūbo susidarantį mikroklimatą, o tai žmogui suteikia patogumo ir laisvumo pojūtį. Nustatyta, kad laidumui orui didžiausią įtaką turi mezginio sandaros elementų tarpusavio išsidėstymas, dviejų mezginių sluoksnių formavimo principas. Gauta, kad laidumas orui tiesiškai priklauso nuo mezginio kilpos ilgio – didėjant kilpos ilgiui, mezginio laidumas orui taip pat didėja. Po skalbimo ir džiovinimo visi mezginiai susitraukė abiem kryptimis, ir kilpų tankumas mezginyje padidėjo, todėl po skalbimo sumažėjo akytumas ir laidumas orui (Bivainytė, 2012; Bivainyte, Mikučionienė, 2011). Čiukas ir Abramavičiūtė (2010) tyrė mezginių paviršinio tankio, mezgamo siūlo ilginio tankio, uždengimo koeficiento, storio, kilpos ilgio įtaką laidumui orui. Nustatyta, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginiai iš grynpluoščių verpalų, numegztų lygiuoju skersiniu pynimu. Mažesniu laidumu orui pasižymėjo mezginiai su tekstūruotu PA siūlu, mažiausiu – mezginiai su elastano siūlu. Didėjant mezginių paviršiniui tankiui ir įmezgamo siūlo ilginiam tankiui, t. y. siūlų, tenkančių vienai kilpai, skaičiui, laidumas orui mažėja (Čiukas, Abramavičiūtė, 2010).

Atlikta tyrimų, nagrinėjančių statinį ir dinaminį laidumą orui, t. y. medžiaga gali būti veikiamą nekintamo arba besikeičiančio oro srauto (Tokarska, 2004; Tokarska, 2008; Wang ir kt., 2006; Ziėba, 2003). Gauti tyrimai rodo, kad audinio metmenų ir ataudų tankumai, siūlų sukris daro įtaką laidumui orui.

Daugelis tyrėjų tvirtina, kad laidumas orui svarbus veiksnys ne tik drabužių gaminiams, bet ir techninei tekstilei (Olšauskienė, Milašius, 2003a; Olšauskienė, Milašius, 2003b; Tokarska, 2008; Xiao ir kt., 2015), t. y. filtrams, karšto oro balionams ir parašiotams, taip pat ir oro pagalvėms (Pamuk, Ceken, 2008; Wang, Kainuma, Bao ir Nakazawa, 2006) bei medicinos gaminiams (Armakas ir kt., 2009; Micevičienė, 2015), kai ypač svarbus geras oro srauto judėjimas ir termoreguliacija (Tokarska, 2008). Taip pat laidumas orui yra analizuojamas ir kompozitiniuose gaminiuose (Heide, Zschenderlein ir Mohring, 2005) bei apsauginėje aprangoje (Mikučionienė, Baltušnikaitė ir Milašius, 2011). Audinio paviršinis tankis, metmenų ir ataudų ilginiai tankiai, audinių pynimas ir t. t. – tai pagrindiniai struktūriniai parametrai, kurie turi įtakos techninės tekstilės laidumui orui.

Olšauskienės ir Milašiaus straipsnyje (2003a) pateikiamos techninių audinių laidumo orui priklausomybės nuo įvairių struktūros parametrų. Nustatyta, kad nors laidumas orui priklauso nuo ataudų tankio ir pynimo, palaikant nekintamą koeficiento j reikšmę, galima pasiekti vienodą audinių, išaustų skirtingais pynimais ir skirtingais

gais ataudų tankiais, laidumą orui. Tai reiškia, kad pagal koeficientą j galima projektuoti atitinkamo laidumo orui audinį. j – tai integruotas audinio įtemptumo faktorius, kuris apima audinio struktūros parametrus, atsparumo savybes bei staklių ir siūlų technologines charakteristikas. Straipsnyje pateikta keletas įvairių integruotųjų audinio įvertinimo faktorių (Milašius, Brierley, Galuszyski, Galceran), kurių atžvilgiu audinys yra projektuojamas ir lyginamas jo laidumas orui. Nustatyta, kad Milašiaus pasiūlytas audinio struktūros faktorius j geriausiai įvertina visus pynimus ir gali būti naudojamas projektuojant norimo laidumo orui audinį (Olšauskienė, Milašius, 2003a). Kitame Olšauskienės ir Milašiaus (2003b) straipsnyje pateikiamos audinių, išaustų iš įvairių poliesterinų kompleksinių įvairaus tankumo siūlų, oro srauto debito priklausomybės nuo santykinio audinio akučių ploto. Nustatyta, kad audinių oro srauto debitas taip pat priklauso ir nuo jų įtemptumo rodiklio j . Straipsnyje analizuojamos priklausomybės tarp oro srauto debito ir audinių įtemptumo rodiklio (Olšauskienė, Milašius, 2003b).

Mickevičienė (2015) atlikusi tyrimus nustatė, kad antibakterinėje aplinkoje naudojamų cheminių medžiagų įtaka mezginių laidumui orui yra minimali. Grynpluoščių sluoksniuotinių mezginių laidumas orui po šlapios ir antibakterinės apdailos gautas didžiausias, palyginti su mišriapluoščiais mezginiais. Tam įtakos turėjo mezginio tankumas ir siūlo charakteristikos (Mickevičienė, 2015). Armakas ir kt. (2009) tyrė antibakteriškai apdorotų mezginių laidumą orui ir nustatė, kad po apdailos medvilnės mezginių laidumas orui buvo 10 kartų mažesnis nei neskaltbų. Taip pat kito straipsnio (Eser, Pamuk, 2013) autoriai nustatė, kad antibakterinė medvilnės / viskozės ir poliesterio / viskozės audinių apdaila turi reikšmingą įtaką laidumui orui, o santykinis vandens garų pralaidumas beveik nesikeičia, palyginti su audiniais be antibakterinės apdailos.

Apsauginiai drabužiai suteikia žmogui apsaugą nuo šilumos ir liepsnos gaisro metu. Ši apsauginė funkcija priklauso nuo medžiagos struktūros, sluoksnių skaičiaus ir žaliavos. Gaminant ugniai atsparias tekstilines medžiagas naudojami karščiui ir užsidegimui atsparūs pluoštai. Mikučionienė ir kt. (2011) tyrė laidumo orui priklausomybę nuo degumo laiko. Tyrimai parodė, kad kuo mežginys laidesnis orui, tuo jo degumas yra greitesnis.

Neaustinių medžiagų pralaidumas orui viena iš svarbiausių savybių, svarbių filtrams, izoliacinei medžiagai ir drenažo sistemai (Çinçik, Koç, 2012). Atlikti bandymai (Kulichenko, 2008) su neaustinėmis medžiagomis, pagamintoms iš medvilnės verpalų ir poliesterinų siūlų, parodė, kad laidumas orui priklauso nuo medžiagos storio, paviršinio tankio, t. y. laidumas didėja, kai šių parametrų vertės mažėja (Kulichenko, 2008).

Padleckienės ir Petrulio darbe (2008) nagrinėjama dengtų *kvėpuojančių* tekstilės medžiagų laidumo orui ir struktūros rodiklių kaita po ciklinio tempimo. Medvilnės arba poliesterinio (PES) audinio, dengto mikroporinga poliuretanine danga, ciklinio tempimo bandymai buvo atlikti tempimo mašina Z005 (Zwick), keičiant tempimo ciklų skaičių ir fiksuotos ištisos dydį. Medžiagos buvo tirtos tiek prieš mechaninį poveikį, tiek visiškai atpalaiduotos po ciklinio tempimo. Nustatyta, kad, didinant ciklų skaičių ir fiksuotą ištisą, laidumas orui didėja. Taip pat analizuotas tem-

pimo veiksmų ir audinio paviršinio užpildymo rodiklio tarpusavio ryšio stiprumas ir pastarojo rodiklio ryšys su medžiagos laidumu orui. Suformuluotas teiginys, kad medžiagos laidumą orui veikia dangos struktūroje padidėjusios mikrosporos (Padleckienė, Petrulis, 2008).

1.3. Mechaninės audinių savybės

1.3.1. Siūlų ištraukimo iš tekstilės medžiagų ypatumai

Kūnas, veikiamas išorinių jėgų, deformuojasi, atsiranda vidinės tarpmolekulinės jėgos, kurios priešinasi deformacijai. Nuo to, kokios yra tekstilės medžiagos mechaninės savybės, priklauso gaminio vartojamoji vertė. Įvairios paskirties tekstilės gaminių mechaninės savybės gali būti skirtingos. Iš visų tekstilės medžiagų mechaninių savybių dažniausiai nustatomos tempimo charakteristikos, nes perdirbamas ir naudojamas tekstilės medžiagas ypač veikia išilginės tempimo jėgos (Matukonis, Palaima ir Vitkauskas, 1976). Veralų stiprumas yra vienas iš svarbiausių kokybės charakteristikos veiksnių (Kılıç, Okur 2006). Ši verpalų charakteristikos savybė taip pat labai svarbi kilpiniams audiniams, nes nuo to priklauso gamybos procesas, gaminio eksploatacinės savybės, tačiau literatūros apie kilpinių audinių mechaninius tyrimus stokoja.

Shanbeh ir Najafzadeh (2012) tyrė kilpos ištraukimo atsparumą iš kilpinių audinių su medvilniniais ir poliesteriniais kilpiniais metmenimis, gauti rezultatai parodė, kad atsparesni buvo kilpiniai audiniai su medvilniniais kilpiniais metmenimis. O štai Kovačević ir Gordoš (2009) nustatė, kad medvilninių verpalų trūkimo jėga priklauso nuo verpalų sukrio: kuo didesnis sukris, tuo didesnė trūkimo jėga (Kovačević, Gordoš, 2009). Taip pat nustatyta, kad, esant mažesniai medvilninių verpalų ilginiam tankiui, labai mažėja trūkimo apkrova ir ištįsa (Omeroglu, Ulku, 2007). Pastebėta (Malčiauskienė, Rukuižienė ir Milašius, 2009), kad austi skirtingais įrenginiais, tačiau tų pačių užtaisymo duomenų audiniai kai kada skiriasi savo savybėmis. Tokių savybių skirtumų gali atsirasti dėl skirtingos audinių vidinės sandaros. Audinių tempimo kreivės ataudų kryptimi skiriasi jau nuo pradinės tempimo dalies, t. y. dalies, kuri priklauso nuo audinio sandaros. Tempiant audinius metmenų kryptimi, jų tempimo kreivės pradinėje dalyje yra vienodos (Malčiauskienė, Rukuižienė ir Milašius, 2009).

Kauzonienė (2000a) teigia, kad pavienio siūlo ištraukimo iš audinio mechaninių reiškinių analizė leidžia nuodugniau ištirti trintimi pagrįstą sąveiką tarp audinius sudarančių statmenų siūlų sistemų. Ši sudėtinga sąveika nulemia visas audinio savybes, todėl ištraukimo jėgos tyrimai yra svarbūs ir aktualūs audinių mechanikos ir audimo technologijos požiūriu (Kauzonienė, 2000a). Disertacijos darbe (Kauzonienė, 2000b) buvo ištirta lininių, medvilninių, medvilninių / poliesterinų audinių tempimo charakteristikų priklausomybė nuo sandaros parametrų, taip pat apdailos procesų poveikio. Nustatyta, kad medvilninių audinių trūkimo jėga ir trūkimo ištįsa metmenų kryptimi labiau priklauso nuo pynimo koeficiento pokyčio, o ataudų kryptimi – nuo audinio ataudų tankumo dydžio. Stiprus koreliacinis ryšys būdingas lininiams audiniams, tiriant trūkimo darbo priklausomybes nuo pynimo įtemptumo koeficientų bei nuo susiaudimo verčių.

Reikšminga koreliacija tarp daugumos tempimo rodiklių ir siūlo iš audinio ištraukimo jėgos rodo, kad tempimo ir susiaudimo rodiklių grupėms daro įtaką tie patys veiksniai. Tarp siūlo ištraukimo jėgos ir audinio trūkimo jėgos nustatytas silpnas koreliacinis ryšys, kadangi pynimas ištraukimo jėgai turi daug didesnę įtaką nei trūkimo jėgai. Metmenų siūlo ištraukimo jėga ypač gerai koreliuoja su suaudimo metmenų kryptimi verte, nes ryšio laukų pynime didinimas visuomet susijęs su suaudimo didėjimu ta pačia kryptimi (Kauzonienė, 2000b).

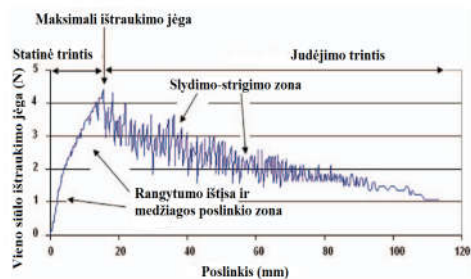
Mokslininkas Pan (1993) siūlų sąveiką tyrė naudodamas siūlo ištraukimo iš audinio eksperimentą. Eksperimento metu buvo nustatyta, kad yra priklausomybė tarp audinio sandaros parametrų, t. y. tarp siūlų sankirtos taškų skaičiaus pynimo raporte ir siūlo ištraukimo jėgos. Taip pat buvo pastebėta, kad siūlo įtaką ištraukimo jėgai turi ir siūlų trintis tarp siūlų. Cox (1952) tvirtina, kad siūlo ištraukimo jėgai daugeliu atvejų didelę įtaką turi ataudų siūlo primušimo jėga audžiant, nuo šios jėgos siūlai mažiau ar daugiau išsilanksto. Straipsniuose (Kawabata, 1975; Pan, Yoon, 1993) daug dėmesio skiriama analizuojant sąveiką tarp statmenų audinio siūlų sistemų jų sankirtos zonose. Straipsnyje yra ištirta, kad svarbiausias sąveikos tarp audinio statmenų siūlų sistemų vaidmuo tenka šlyties jėgai sankirtos taškuose (Pan, Yoon, 1993). Taip pat kito straipsnio (Ravandi, Badrossamay ir Morshed, 2004) autoriai tvirtina, kad vidinės jėgos yra susijusios su siūlo sąveika susikirtimo taškuose. Išvados teigiama, kad vidinės jėgos daugiausia susijusios su siūlo sąveika deformuojantis ir ataudų susikirtimo taškuose (Ravandi ir kt., 2004).

Tyrėjai (Sebastian, Bailey, Briscoe ir Tabor, 1987) analizavo medvilninių audinių siūlo tempimo jėgos ir šlyties poveikio raidą ištraukus siūlą. Bandymui buvo naudojamas fizikinis spyruoklinis tempimo modelis. Nustatyta, kad tempiamo siūlo tamprumo įtaka yra daug didesnė negu šlyties poveikis siūlų sankirtos taškuose. Išvados teigiama, kad ištraukimo jėgos maksimalią vertę lemia statinė trintis, o tolesnis jėgos mažėjimas ištraukiant siūlą yra siejamas su kinetine trintimi (Sebastian ir kt., 1987). Kitų autorių (Hosseini, Toriumi, 1996) siūlo ištraukimo jėgai tirti buvo matuojama įprasta tenzometrinė aparatūra. Šie autoriai sąveikos tarp siūlų pagrindinė priežastimi laiko statinę ir dinaminę trintį. Dinaminės trinties kitimo dėsningumas yra nulemiamas skersinės audinio sistemos siūlų tankumo dydžio. Taip pat autoriai, panaudoję įvairiomis technologijomis suverptus audinius su skirtingais nevienodumo rodikliais, nustatė skersinės siūlų sistemos nevienodumo įtaką ištraukiamo siūlo jėgos kitimui (Hosseini, Toriumi, 1996).

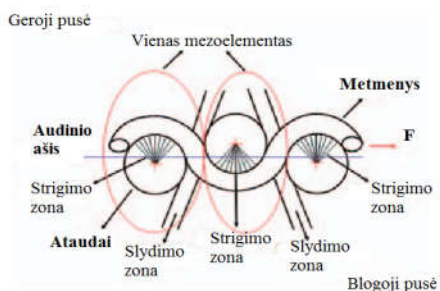
Asayesh, Niazkhani ir Jeddi (2012) kilpos ištraukimo elgseną tyrė su mezginiais. Šiam tyrimui buvo numegzti lygieji mežginiai: medvilnės, medvilnės / poliesterio ir medvilnės / nailono, kurie turėjo tris skirtingus kilpų ilgius. Rezultatai parodė, kad medvilnės / poliesterio mežginys turėjo maksimalią sukauptą energiją. Tyrėjai teigia, kad tam turėjo įtakos didelis šio mežginio trinties koeficientas. Taip pat buvo nustatyta, kuo mežginio kilpa buvo ilgesnė, tuo sukauptą energiją buvo mažesnė (Asayesh, Niazkhani ir Jeddi, 2012).

Bilisik (2011a, 2011b, 2011c) tyrė siūlo ištraukimo iš audinio, pagaminto iš poliesterio pluošto, ypatybes. Audiniai buvo išausti drobinu, ripsiniu ir krepsatiniu būdu. Bandymai parodė, kad siūlo ištraukimo jėga priklauso nuo audinio apdir-

bimo (apdailos), audinio tankumo, ilginio tankio, audinio pynimo ir, žinoma, nuo ištraukiamų siūlų skaičiaus iš audinio (Bilisik, 2011a; Bilisik, 2011b). Drobinio audinio ištraukimo vertės buvo didesnės nei ripsinio ir krepsatino audinių (Bilisik, 2011b). Taip pat gauti rezultatai byloja, kad apdorotų siūlų ištraukimo jėga buvo mažesnė, palyginti su neapdorotais. Taip pat nustatyta, kad vieno siūlo ištraukimo jėga yra didesnė nei kelių siūlų ištraukimo jėga (Bilisik, 2011a). Su ištraukimo jėga buvo išmatuota siūlų rangytumo ištįsa ir audinio poslinkis (**1.8 pav. a**).



a)



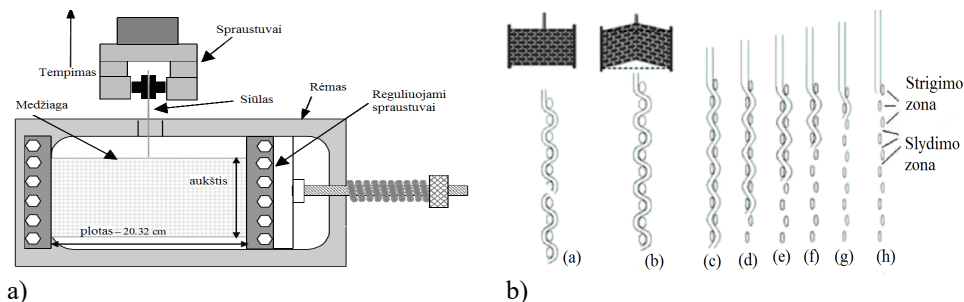
b)

1.8 pav. a) siūlo ištraukimo jėgos kreivė su slydimo ir strigimo zona (Bilisik, 2011b);
b) siūlų skerspjuvio ištraukimo jėgos vaizdas (Bilisik, 2011c)

Vaitkevičienės (2012) darbe buvo sukurti audinių siūlų slydimo ties siūle vertinimo metodai. Taikant šį metodą, yra nustatoma siūlo ištraukimo jėga ir siūlo ištraukimo poslinkis, kurie parodo trinties įtaką audinių siūlų slydimui ties siūle. Atlikus audinių siūlo ištraukimo iš bandinio su siūle ir užlaida jėgos ir poslinkio kreivių analizę, buvo išskirtos būdingos zonos, atspindinčios skirtingus audinio siūlo ištraukimo proceso etapus: siūlo išsirangymo ir audinio poslinkio zonos, slydimo ir sukibimo zonos ir kt. Trinties kreivių analizė parodė, kad jėgų kitimas yra svyruojančio pobūdžio, t. y. pasireiškia minėtas slydimo ir sukibimo efektas. Taip pat nustatyta, kad audinių siūlų slydimas ties siūle priklauso nuo siūlų ištraukimo jėgos, siūlo ištraukimo poslinkio, audinių metmenų krypties lenkiamojo standumo ir ištįsos (Vaiknevičienė, 2012). Šioje disertacijoje tiriant kilpinių audinių pūko kilpos atsparumą ištraukimui, taip pat buvo pastebėtas verpalų strigimo ir slydimo reiškinys. O tiriant techninės tekstilės medžiagas (Bilisik, 2011b; Bilisik, 2011c) nustatyta, kad strigimo ir slydimo jėgos priklauso nuo audinio tankumo, nes pirminių siūlų strigimo ir slydimo jėgos buvo didesnės nei daugiagijų siūlų. Kuo mažesnio tankumo audiniai, tuo didesnio ilgio siūlas buvo ištraukiamas. Kita vertus, audinių strigimo ir slydimo jėgos buvo didesnės, kai audiniai buvo didelio tankumo, palyginti su retais audiniais. Taip pat buvo nustatyta, kad audinio strigimo ir slydimo jėgos buvo didesnės, kai audiniai buvo ilgesni, trumpesnių audinių jėgos buvo mažesnės. Be to, ištraukto siūlo ilgis, kuris yra statmenas siūlams audinyje, nurodo sukaupto traukimo jėgą (**1.8 pav. b**) (Bilisik, 2011b; Bilisik, 2011c).

Didelio stiprumo pluoštai dėl savo išskirtinio stiprumo ir mažo svorio gali būti plačiai taikomi lanksčiai techninei tekstilei (Bihari, Kothari, 2005). Tai tekstilės medžiagos (balistinei apsaugai), tokios kaip kompozitinė aramidinė medžiaga –

Kevlar[®], arba stiklo pluošto turintys audiniai (Bilisik, Yolacan, 2011; Bilisik, Korkmaz, 2011; Dong, Sun, 2009; Kirkwood ir kt., 2004; Lu, Larock, 2006; Shockey, Erlich ir Simons, 2001; Zhu, Soranakom, Mobasher ir Rajan, 2011). *Kevlar*[®] plačiai naudojamas neperšaujamų liemenių medžiagai. Todėl yra labai svarbu ištirti šio audinio mechanines savybes, siekiant stiprinti jo balistines savybes. *Kevlar*[®] audinys išaustas drobiniu pynimu. Bandomajam siūlo ištraukimo testui buvo naudojamas prietaisas 4206 (**1.9 pav. a**), kuris pagerino siūlo ištraukimo testavimą: tam tikra siūlų ištraukimo bandymų serija gali būti įvykdyta vieno bandymo užtaisymo metu (Kirkwood ir kt., 2004; Shockey ir kt., 2001).



1.9 pav. a) bandomasis siūlo ištraukimo testas (Kirkwood ir kt., 2004); **b)** siūlo elgsena traukimo metu (Bilisik, 2012d; Bilisik, Korkmaz, 2011)

Atliktas tyrimas su *Kevlar*[®] audiniu parodė, kad siūlo ištraukimo jėga labai priklauso nuo skersinės išankstinės apkrovos ir siūlų skaičiaus (Dong, Sun, 2009; Kirkwood ir kt., 2004). Zhu ir kt. straipsnyje (2011) buvo nagrinėjama *Kevlar*[®] 49 vieno siūlo ištraukimo elgsena (**1.9 pav. b**), pasitelkus trimatį modelį. Rezultatai rodo, kad siūlo ištraukimo jėgai turi įtakos trintis tarp siūlų ir skersinės apkrovos (Zhu ir kt., 2011). Išvadose teigiama, kad siūlo ištraukimo jėga priklauso nuo siūlo ilginio tankio, audinio tankumo, ištraukiamų siūlų skaičius. Rezultatai parodė, kad daugialypė siūlo ištraukimo jėga buvo didesnė negu vieno siūlo ištraukimo jėga (Bilisik, 2012d; Bilisik, Yolacan, 2011; Bilisik, Korkmaz, 2011). Taip pat rezultatai parodė, kad kai audinys mažesnio tankumo, siūlo ištraukimo jėga didesnė (Bilisik, 2012d; Bilisik, Korkmaz, 2011).

Siekiant gamtos išsaugojimo ir natūralumo (Nimmen, Gellynck ir Langenhove, 2005), pradėta ieškoti natūralių medžiagų. Atlikus daug tyrimų su natūraliais augaliniais pluoštais, buvo pastebėta, kad, pritaikius tinkamą technologijos procesą, augaliniai pluoštai yra stipresni, lengvesni, draugiški gamtai ir t. t. Didelis domėjimasis vorų šilku pagrįstas išskirtiniu šio pluošto stiprumu, elastingumu ir lengvumu (Nimmen ir kt., 2005). Taip pat dėl didelio stiprumo iš palmės pluošto galima sukurti naują *žalią* polimerą kompozitams (Sahari ir kt., 2012).

1.3.2. Tekstilės medžiagų atsparumas dilinimui

Tekstilės medžiagų dėvėjimasis – tai laipsniškas jų suirimas veikiant įvairiems išoriniams veiksniams. Atsparumas dėvėjimui rodo tekstilės medžiagų pasipriešinimą šiems veiksniams. Būdingiausi dėvėjimo veiksniai, turintys įtakos daugumai

tekstilės gaminių, yra dilinimas, atmosferos poveikis ir skalbimas. Dilinant medžiagų irimas prasideda jų kontaktų vietose. Pradinėje dilinimo stadijoje kontaktuojantys elementai deformuojasi tampriai. Po to tangentinės jėgos, veikiančios dilinimo metu, vis daugiau tempia vienas medžiagos mikrosritis ir gniuždo kitas. Dėl to medžiagą sudarantys pluoštai iš pradžių skeldėja, o po to nulūžta. Nulūžę jie iškrenta iš medžiagos (Matukonis ir kt., 1976). Kilpinių audinių dėvėjimasis yra labai svarbus, nes nulemia gaminio stiprumą – ilgaamžiškumą ir gaminio estetiką. Taip pat gaminio dėvėjimo metu gali išryškėti kai kurios gamybos klaidos, todėl itin svarbu su kilpiniais audiniais atlikti mechaninius tyrimus, juolab kad apie tai literatūros nėra.

Sekerden (2011), ištyręs audinių atsparumą dilinimui, teigia, kad audinių pynimo tipas turi didesnę įtaką nei pluošto tipas. Neatsparūs dilinimui buvo ruoželinio ir atlasinio pynimo audiniai, kurie turėjo ilgesnes siūlų tąsas nei drobinio ar panamos pynimo. Taip pat autorius teigia, kad atsparumas dilinimui buvo didesnis medvilnės ataudų siūlų ir su didesne medvilnės proporcija mišinyje (Sekerden, 2011). Can (2008) tyrė medvilninių drobinio pynimo audinių atsparumą dilinimui ir pumpuravimąsi. Audiniai buvo išausti iš žiedinių karštinių, žiedinių šukuotinių ir rotorinio verpimo verpalų. Rezultatai rodo, kad atspariausi dilinimui ir pumpuravimuisi buvo audiniai, išausti su rotorinio verpimo verpalais. Audiniai, išausti iš karštinių žiedinio verpimo verpalų, buvo neatspariausi (Can, 2008). Kiti tyrėjai (Alamdar-Yazdi, Heppler, 2012) tyrė atsparumą dilinimui pagal verpalų struktūrą, t. y. sukrumo koeficientą ir verpalų trintį kontakto vietose. Gauti rezultatai rodo, kad atsparesni dilinimui buvo rotorinio verpimo, o ne žiedinio verpimo verpalai (Alamdar-Yazdi, Heppler, 2012). Atsparumui dilinimui turi reikšmės ir verpalų sukrumas: kuo didesnis verpalų sukrumas, tuo atsparesni jie yra (Havlová, 2013).

Dilinimo atsparumo ir / arba pumpuravimosi bandymų tyrimai buvo atliekami *Martindale*’o dilinimo prietaisu, parinkus skirtingą ciklų skaičių (Busilienė, Lecekas ir Urbelis, 2011; Goksel, Gucer, 2012; Kaynak, Topalbekiroğlu, 2008; Kumpikaitė, Ragaišienė ir Barburski, 2010a; Kumpikaitė, Ragaišienė ir Barburski, 2010b; Padleckienė, Petrulis, 2009; Ragaišienė, Kumpikaitė, 2010; Ulku, Ortlek ir Omeroğlu, 2003). Daugkartinis tekstilės gaminių kontaktavimas su kitais medžiagų paviršiais sukelia gaminių dilinimą, dėl kurio gali atsirasti kiaurymių, atsiskirti pluošto detalės, todėl sumažėja audinio stiprumas, atsiranda blizgesys ar kitokių medžiagos pakitimų. Gaminio išvaizdos pakitimas dilinimo metu pasireiškia tuo, kad pradinėje proceso stadijoje jo paviršiuje susidaro pumpurėliai, t. y. pradeda formotis pumpuravimasis (Kumpikaitė ir kt., 2010a). Straipsniuose (Kumpikaitė ir kt., 2010b; Ragaišienė, Kumpikaitė, 2010) analizuota audinių su fasoniniais siūlais (spiralių, sąsmaukų, kilpelių efektais) atsparumas dilinimui. Remiantis gautais rezultatais nustatyta, kad siūlo struktūra, audinio pynimas ir pluoštinė sudėtis daro įtaką audinio atsparumą dilinimui. Kituose (Kavuşturhan, Çeven ir Özdemir, 2010; Ulku ir kt., 2003) literatūros šaltiniuose tirtas atsparumas dilinimui medžiagų su fasoniniais šenilininiais siūlais. Tai juostelės pavidalo fasoninis siūlas, turintis tarp kelių išilginių siūlų įtvirtintą pūką iš trumpų siūlų atkarpų. Buvo nustatyta, kad pluoštinė sudėtis ir šenilinio siūlo sukrumas turi įtakos dilinimui, t. y., naudojant mažesnio sukrumo

šenilinius siūlus, pastebimas didesnis masės nuostolis (Kavuşturan ir kt., 2010; Ulku ir kt., 2003).

Mezginį dėvint (Mikučionienė, 2009), sausai trinant ar plaunant, jo paviršiuje esantys plaukeliai susivelia ir sudaro vadinamuosius pumpurėlius. Susidarę pumpurėliai laikosi gaminio paviršiuje ir blogina jo išvaizdą. Pumpurų formavimasis yra dinamiškas procesas, kuriam įtakos gali turėti tiek pluošto, tiek paties mezginio savybės. Pumpuravimasis apima tokius aiškius etapus: dėl mechaninio poveikio pluoštų galai ištraukiami į gaminio paviršių ir suformuoja pūkuotą paviršių; pūkuotas paviršius susivelia į atskirus pumpurėlius, kurie dėl mechaninio poveikio gali nusitrinti ir nukristi. Nustatyta, kad polinkiui pumpuruotis įtakos turi tiek siūlų žaliava, tiek ilginis tankis, tiek mezginio pynimas bei tankumas ir paviršinis tankis (Mikučionienė, 2009). Busilienė, Lekeckas ir Urbelis (2011) tyrė megztines medžiagas, turinčias polinkį pūkuotis ir pumpuruotis. Darbo rezultatai parodė, kad megztinių medžiagų pluoštinė sudėtis, medžiagų storio pokytis, elastano kiekis ir skalbimo bei minkštinimo procedūra turi įtakos medžiagų atsparumui pumpuravimuisi (Busilienė ir kt., 2011).

Buvo atlikti atsparumo dilinimui ir pumpuravimuisi tyrimai su žiedinio ir sanglaudžiojo verpimo audiniais (Omeroglu, Ulku, 2007) ir mezginiais (Akaydin, Can, 2010). Medžiagos su sanglaudžiojo verpimo siūlais buvo atsparesnės dilinimui ir pumpuravimuisi nei audiniai su žiedinio verpimo siūlais. Apžiūrint vizualiai šiuos verpalus matyti, kad žiedinio verpimo verpalai yra daug pūkuotesni nei sanglaudžiojo verpimo verpalai. Šis skirtumas ir nulėmė atliktų tyrimų rezultatus (Akaydin, Can, 2010; Omeroglu, Ulku, 2007). Taip pat buvo nustatyta, kad audiniai su mažesniu ilginiu tankiu buvo atsparesni dilinimui (Omeroglu, Ulku, 2007).

Daugelis tyrėjų audinių (Kaynak, Topalbekiroğlu, 2008) ir mezginių (Abramavičiūtė ir kt., 2011; Akaydin, Can, 2010) atsparumą dilinimui ir pumpuravimuisi tyrė esant skirtingiems medžiagų pynimams. Dilinimo atsparumas buvo įvertinamas pagal medžiagos masės nuostolių santykį, po tam tikro ciklų skaičiaus. Gauti rezultatai rodo, kad medžiagų pynimo raštas turi didelį poveikį dilinimo atsparumui ir pumpuravimuisi. Taigi iš straipsnio (Kaynak, Topalbekiroğlu, 2008) matyti, kad didžiausi masės nuostoliai buvo reguliariojo pynimo audinių, o mažiausi masės nuostoliai buvo ruoželių pynimų audinių. O iš mezginių (Emirhanova, Kavuşturan, 2008) tyrimo matyti, kad didžiausių masės nuostolių patyrė *moss stitch* ir *seed stitch* mezginiai, o mažiausiai masės neteko kilpinis mezginys. Kiti tyrėjai (Jasinska, 2012) savo straipsnyje aptarė medvilnės, viskozės, modalinio, lojcelio, vilnos, lino, nailono ir polipropileno pumpuravimąsi. Gauti rezultatai rodo, kad atspariausi mezginiai pumpuravimuisi yra iš lojcelio siūlų, o blogiausi buvo mezginiai iš poliamido ir polipropileno siūlų (Jasinska, 2012). Taip pat buvo nustatyta, kad dažyti mezginiai atlaiko daugiau dilinimo ciklų ir mažiau pumpuruojasi (Akaydin, Can, 2010).

Jasinska (2009) vizualiai analizavo pumpurėlių susidarymą. Šiam tyrimui buvo naudojamas mikroskopas ir skaitmeninis fotoaparatas. Vertinama lyginant etaloninę nuotrauką ir naudojant lentelę su balų aprašymais. Tyrėja nustatė, kad naujas metodas leidžia padidinti vertinimo tikslumą labiau nei standartiniai metodai. Standartiniu metodu tiriant pumpuravimąsi vertinimas yra objektyvus. Tačiau naudojant

kompiuterio vaizdą galima pastebėti ir nustatyti didesnę pumpuravimosi plotą ir pumpurų kiekį jame (Jasinska, 2009). Taip pat Naderpour, Mirjalili ir Sharzehee (2009), tirdami medvilnės audinių atsparumą dilinimui ir neglamžumą, naudojo vaizdo apdorojimą kaip tikslesnį ir greitesnį vertinimo metodą. Dargienė (2015) teigia, kad vaizdų analizės metodu galima įvertinti austos struktūros medžiagų paviršiaus nusidėvėjimą rodikliais R_{zi} (vidutiniu mikronelygumų aukščiu) ir R_{maxi} (didžiausiu mikronelygumų aukščiu). Kiti (Technikova, Tunak, 2012) tyrėjai nustatinėjo pumpuravimąsi 3D vaizdu.

Brzeziński ir kt. (2011) pastebi, kad ant poliesterio / medvilnės audinio formuojasi pūkuotumas, kuris neigiamai veikia gaminio ilgaamžiškumą ir estetiką. Tam išspręsti buvo pasitelktas plonas apdailos sluoksnis. Tai yra buvo pagamintas zolis-gelis ($\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$), praskiedus vandeniui (1:20) buvo sudrėkintas audinio paviršius ir išdžiovinamas. Svarbiausia tai, kad ši apdaila sumažina audinio pūkuotumą 2–3 lygiais, palyginti su neapdorotu audiniu, kur aukščiausio lygio vertinimas yra penktas lygis. Taip pat atsparumas dilinimui padidėjo apie 38 proc. (Brzeziński ir kt., 2011). Literatūros šaltinyje (Padleckienė, Petrulis, 2009) pateikta, kaip buvo tiriama dilinimo įtaka audiniams, dengtiems *kvėpuojančiu* poliuretano (PU) sluoksniu. Gauti rezultatai rodo, kad audinio pusėje, kuri nebuvo padengta PU plėvele, dilinant buvo mažesnis poveikis, palyginti su padengtąją pusę (Padleckienė, Petrulis, 2009). Varnatė ir Katunskis (2009) nustatinėjo elektrostatiinių krūvių susikaupimo ir sklaidos audiniuose, kurių struktūroje panaudoti laidūs pluoštai, savybes po jų dilinimo. Nors laidžių siūlų skaičius audiniuose pagerina tiriamąsias elektrostazines savybes, bet dilinimas šias vertes pablogina. Autoriai daro išvadą, kad kuo ilgiau drabužiai yra dėvimi, tuo labiau mažėja šių medžiagų apsauga nuo kibirkščiujančio krūvio sklaidos (Varnatė, Katunskis, 2009).

Techninė tekstilė plačiai naudojama automobilių interjero apdailai: tai sėdynių užtiesalai, kilimai, diržai, filtrai, oro pagalvės ir t. t. Automobilių sėdynių medžiaga turi būti didelio atsparumo dilinimui ir tempimui. Todėl tam turi būti parinkti atsparūs pluoštai / siūlai, o audinio struktūra turi būti didelio tankumo. Audinio tankumui padidėjus, pynimo tąsoms sumažėjus, pagerėja atsparumas dilinimui (Goksel, Gucer, 2012).

1.4. Audinių apdailos ypatumai ir jos įtaka audinių sandaros, fizikinėms ir mechaninėms savybėms

Kilpinių audinių apdaila iš esmės gali pakeisti audinio išvaizdą ir grifą. Tyrėjai teigia, kad po apdailos taip pat keičiasi audinio sandara, fizikinės ir mechaninės savybės, netgi ji pailgina audinių naudojimo laiką (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004). Įvairiais tekstilės medžiagų apdailos būdais siekiama pagerinti jų išvaizdą ar suteikti papildomų funkcinių savybių. Tekstilės medžiagų apdaila dažniausiai pakeičia ne tik jų funkcines ar estetines, bet ir mechanines savybes (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2011). Tekstilės medžiagoms minkštinti naudojami įvairių tipų minkštikliai, kurių paskirtis – suteikti audiniui minkštumą, elastingumą, malonų grifą, neglamžumą ir t. t. (Chattopadhyay, Vyas, 2010; Daukantienė, Bernotienė ir Gutauskas, 2003; Koç, Zervent, 2006). Silikoninė apdaila yra pripažinta kaip geriausia medžia-

ga, kuri suteikia audiniui norimą minkštumą (Chattopadhyay, Vyas, 2010; Koç, Zervent, 2006). Skalbimo metu nuo audinio paviršiaus pašalinamos atliekos, nešvarumai. Skalbimo efektyvumas priklauso nuo temperatūros, skalbimo trukmės bei naudojamų cheminių medžiagų ir įrenginių (Truncytė, Daukantienė ir Gutauskas, 2007). Koç ir Zervent (2006) tyrė medvilnės kilpinių audinių minkštumo ir hidrofiliškumo laipsnius po skalbimo įvairiais minkštikliais. Bandymai parodė, kad minkštiklio tipas turi įtakos minkštinimo laipsniui. Didžiausias minkštinimo laipsnis buvo pasiektas panaudojus katijoninį minkštiklį, o mažiausias – anijoninį minkštiklį (Koç, Zervent, 2006). Minkščiausi audiniai gauti paveikus audinį silikoniniu minkštikliu (Truncytė ir kt. 2007). Tačiau Verdu, Rego, Nieto ir Blanes (2009) pabrėžia, kad nors ir cheminėmis medžiagomis neapdorotos tekstilės medžiagos yra laidžios orui ir vandens garams, suteikia vartotojui komforto pojūtį, tačiau neapsaugo nuo ilgalaikio vandens poveikio.

Baltakytė (2009) teigia, kad reikšmingą įtaką kilpinių audinių fizikinėms savybėms (laidumui orui, dinaminei ir statinei absorbcijai) turi įvairūs poveikiai / apdaila: vilgymas, skalbimas vandenyje, skalbimas su cheminėmis medžiagomis ir tumbleravimas (vartomasis džiovinimas). Tyrimai parodė, kad kai apdaila intensyvesnė, labiau pakinta audinio sandara, o tai lemia kilpinių audinių savybių pokyčius (Baltakytė, 2009). Naujokaitytė ir Strazdienė (2007) tyrė skirtingos apdailos įtaką lininių ir medvilninių audinių mechaninėms ir paviršiaus savybėms esant mažoms apkrovoms, kaip apdaila keičia audinių formavimosi savybes. Audiniams buvo pritaikyta skirtinga apdaila: dažymas, plovimas, cheminis ir mechaninis minkštinimas arba jų deriniai. Nustatyta, kad bet kokio būdo minkštinimo apdaila daugiausia turi įtakos lininių audinių šlyties ir lenkimo savybėms. Dažymas tik šiek tiek pakeičia audinių mechanines savybes (Naujokaitytė, Strazdienė, 2007). O Bačkauskaitės ir Daukantienės (2011) tyrimų rezultatai rodė, kad dažytų, dažytų / minkštintų viskozinių pamušalinių audinių paviršiaus trinties rodikliai ir atsparumas slydimui beveik visuomet yra didesni už žaliavinių audinių analogiškus rodiklius. Labiausiai skyrėsi dažytų pamušalinių audinių, apdorotų slydimą mažinančiomis apdailos medžiagomis, savybės (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2011).

Daugelis tyrėjų (Koženiauskienė, Daukantienė, 2011; Truncytė, Gutauskas, 2006a; Truncytė, Gutauskas, 2006b), tirdami tekstilės medžiagų paviršiaus pokyčius, vertinto pagal grifo mechaninius rodiklius, nustatytus disko formos bandinius ištraukiant pro centrinę prietaiso *KTU-Griff-Tester* kiaurymę ir vizualiai analizuojant tekstilės medžiagų paviršiaus vaizdus, užfiksuotus skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu *FEI Quanta 200 FEG (SEM)*. Tyrinėjamas medžiagų, pagamintų iš natūralių, dirbtinių ir sintetinių pluoštų, grifo rodiklių kitimas, būklė (arba savybės) po skalbimo ir mirkymo cheminiais minkštikliais – „Lenor“, „Surcase“ tirpaluose. Koženiauskienė ir Daukantienė (2011) įvertino tekstilės medžiagų, išaustų iš medvilnės, bambuko ir viskozės verpalų, paviršiaus savybių pokyčius po skalbimo ir skalavimo vandenyje, o vėliau ir mirkymo skysto katijoninio cheminio minkštiklio „Surcase“ tirpale. Tyrimo rezultatai parodė, kad daugeliu atvejų po abiejų apdorojimo procesų tekstilės medžiagų grifo rodikliai padidėja, tačiau po cheminio minkštinimo jie būna mažesni, palyginti su tik išskalbtų ir gryname vandenyje išskalautų me-

džiagų grifo rodikliais. Po skalbimo ir minkštinimo labiausiai pakinta tekstilės medžiagų iš bambuko pluošto paviršius, t. y. jis tampa gerokai lygesnis (Koženiauskienė, Daukantienė, 2011). Truncytė ir Gutauskas (2006a, 2006b) tyrinėjo audinių ir megztų medžiagų trinties, grifo rodiklių kitimą, taip pat geometrinius ir mechaninius rodiklius, elgseną po technologinio apdorojimo, t. y. skalbimo ir mirkymo cheminio minkštiklio „Lenor“ tirpale. Cheminis minkštiklis „Lenor“ teigiamai veikia visų tipų pluoštines medžiagas. Pagal pagrindinių grifo rodiklių pasikeitimus ir pagal jautrumą minkštikliui medžiagas galima būtų išdėstyti tokiu nuoseklumu: viskozė–acetatas–poliesteris–poliamidas–medvilnė. Tyrimai parodė, kad visų tyrimo objektų pagrindiniai grifo rodikliai pasikeičia iš esmės (Truncytė, Gutauskas, 2006a). Apie medžiagų paviršiaus pasikeitimus (Truncytė, Gutauskas, 2006b) buvo sprendžiama iš trinties parametrų. Taigi trinties rodiklių analizė parodė, kad skalbimo procesas visada padidina trinties koeficientą ir dinaminę trinties jėgą. Nustatyta, kad, keliant skalbimo tirpalo temperatūrą, bandinio pasipriešinimas ištraukimui pro centrinę prietaiso *KTU-Griff-Tester* kiaurymę didėja. Taip pat, keliant skalbimo temperatūrą, medvilnės audinio mechaninės savybės blogėja. Panaudojus cheminį minkštiklį, visi rodikliai iš esmės pagerėja (Truncytė, Gutauskas, 2006b).

Jucienė, Dobilaitė ir Kazlauskaitė (2006) tyrė džinsinio drabužio apdailą. Audinys buvo skalbiamas skirtingais būdais: paprastu ir silikoniniu minkštinimu, tirpalu su chloru, enziminiu ir dvigubu enziminiu skalbimu. Siekiant įvertinti skirtingų skalbimo būdų įtaką džinsinio audinio savybėms, buvo nustatyti jų sandaros rodikliai, santrauka po skalbimo, laidumas orui, lenkiamasis standumas, ištįsa, esant 100 N/m apkrovai, trūkimo jėga bei trūkimo ištįsa, šlyties standumas. Nustatyta, kad kiekvienas taikytas skalbimo būdas turi įtakos skirtingoms džinsinio audinio savybėms (Jucienė, Dobilaitė ir Kazlauskaitė, 2006). Juodsnuokytės, Gutausko ir Čeponienės (2006) darbe tyrinėjami specialios paskirties medžiagų, skirtų Lietuvos kariuomenės drabužiams siūti, pokyčių eksploatacijos metu ypatumai. Tyrimai parodė, kad, esant skirtingoms aplinkos sąlygoms, audiniai praranda savo pradinę formą, o šis medžiagų formos pasikeitimas priklauso nuo jų mechaninių savybių ir apdailos (Juodsnuokytė ir kt., 2006).

Mikučionienė ir Laureckienė (2009) teigia, kad labai svarbu baigiamojoje apdailoje sudaryti kuo palankesnes sąlygas megztai medžiagai atsipalaiduoti, jos vidinės pusiausvyros jėgas priartinant prie kiek įmanoma stabilesnių. Iš medvilnės verpalų numegztų gaminių kokybė daug priklauso nuo eksploatuojamo gaminio matmenų stabilumo, kuriam turi įtakos pluošto savybės, medžiagos konstrukcija bei technologinių procesų sąlygos. Kilpų tarpusavio sąveikos jėgos gamybos, ypač apdailos, procese lengvai gali pasikeisti. Kuo labiau medžiagos matmenys baigiamojoje apdailoje priartėja prie stabilių, tuo stabilesnė ji yra eksploatuojant (Mikučionienė, Laureckienė, 2009).

Anglies dioksidas (CO₂) tampa perspektyvia alternatyva atliekant sausą valymą. Rombaldoni, Demichelis ir Mazzuchetti (2009) tyrė vilnos ir vilnos / merinosų vilnos audinių kai kurias fizikines ir mechanines savybes, siekdami nustatyti bet kokią galimą audinio modifikavimą. Buvo nustatyta, kad CO₂ sauso valymo procesas ypač paveikė audinio storį (padidėjo), gniuždymo energiją ir šlyties histerezę (suma-

žėjo). Kadangi audinio storis padidėjo, tai laidumas orui sumažėjo (Rombaldoni ir kt., 2009). Taikant naujas technologijas galima pagerinti audinių ir verpalų mechanines ir fizikines savybes. Medvilnės verpalams (Sun, Yu, Williams, Hicks ir Qiu, 2013) buvo pritaikyta ekologiška glitavimo technologija. Rezultatai rodo, kad ekologiškas glitavimas gali pagerinti medvilnės verpalų savybes. Po šios apdailos labai pagerėjo atsparumas dilinimui (iki 59,3 proc.) ir sumažėjo verpalų plaukuotumas. Ekologiška glitavimo technologija neturi neigiamos įtakos glito šalinimui iš medvilnės pluošto. Taip pat pagerėjo trūkimo jėga ir ištįsa trūkstant, pagerėjo vandens difuzija. Difuzija – fizikinis procesas, kai vandens garų, dažų arba kitų cheminių medžiagų molekulės skverbiasi į kitą terpę (Sun ir kt., 2013).

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Kilpinių audinių asortimentas gana platus, jis gali būti pritaikomas įvairių poreikių turintiems vartotojams. Apžvelgus Lietuvos ir užsienio autorių darbus matyti, kad atlikta tyrimų, nagrinėjančių kilpinių audinių sandarą ir gamybą. Dažniausia kilpiniams audiniams yra naudojami medvilnės ir lino pluoštai, tačiau itin retų pluoštų verpalai, pavyzdžiui, kanapių pluoštai, vartojami labai retai. Pabrėžtina, kad sudėtingos sandaros audinių iš ramės pluošto tyrimų literatūros šaltiniuose neaptikta.

Viena iš svarbiausių kilpinio audinio paskirčių yra kuo geriau sugerti vandenį, todėl dauguma atliktų tyrimų skirti dinaminei ir statinei vandens absorbcijai. Atlikti tyrimai rodo, kad kilpinio audinio absorbcija priklauso nuo pluoštinės sudėties (lininiai, medvilniniai, kanapiniai, bambukiniai, modaliniai verpalai), audinio sandaros ir geometrinių savybių, taip pat nuo atlikto poveikio ar apdailos. Be to, literatūroje nagrinėjama skysčio sulaikymo geba, vilgumo ir kapiliarumo procesai kilpiniuose audiniuose.

Dauguma tyrėjų teigia, kad tekstilės medžiagų komforto ypatybės susijusios su šilumos, drėgmės išskyrimu į aplinką ir laidumu orui per tekstilės medžiagas (šios savybės gali būti ir suteikiamos). Todėl itin svarbu ištirti tekstilės medžiagų vandens garų pralaidumą, absorbciją ir išdžiūvimo greitį. Šios savybės literatūroje aptariamoms dažniausiai nagrinėjant megztines medžiagas. Panašių tyrimų, atliktų su kilpiniais audiniais, literatūroje stokoja. Dažnas literatūros šaltiniuose tyrinėjimo objektas yra daugiasluoksnės medžiagos, nes šie drabužiai turi turėti gerą vandens garų pralaidumą ir drėgmės perdavimo savybes. Atlikti tyrimai rodo, kad vandens garų pralaidumas ir absorbcija medžiagose padidėja esant hidrofiliniam pluoštui iš vidaus ir hidrofobiniam pluoštui – iš išorės. Vandens garų ir vandens absorbcija ir pralaidumas būdingi ne tik audiniams ar mezginiams, bet itin aktualūs neaustinėms medžiagoms, kompozitams, techninei tekstilei (medicinoje), taip pat apsauginiams drabužiams (ugniagesių), kurie turi užtikrinti saugumą darbo metu ir suteikti optimalų dėvėjimo komfortą. Atlikti darbai rodo, kad vandens garų absorbcija yra svarbi audiniams, todėl būtina ištirti ir kilpines struktūras, ypač žinant, kad kilpiniai audiniai naudojami drėgnoje aplinkoje, esant aukštesnei nei įprasta temperatūrai (vonia, sauna). Taip pat svarbu žinoti, kaip kilpiniai audiniai geba išgarinti drėgmę.

Tekstilės medžiagų laidumas orui yra vienas iš svarbiausių rodiklių, lemiančių audinio kokybę. Taip pat laidumas orui glaudžiai susijęs su drėgmės absorbcija ir

išgarinimu. Laidumas orui labiausiai priklauso nuo medžiagos akytumo ir storio, taip pat nuo tekstilės medžiagos (audinio, mezginio) pynimo, siūlų ir verpalų ilginio tankio, siūlų tipo, medžiagos tankumo. Atlikti kilpinių audinių laidumo orui su liniinių ir kanapinių verpalų kilpomis tyrimai, tačiau su ramės verpalų kilpomis tyrimų nėra. Literatūroje teigiama, kad reikšmingiausią įtaką laidumo orui turi poveikiai / apdaila ir kilpos aukštis, tačiau kaip laidumas orui kinta dėvėjimo metu, literatūros nėra. Tokie tyrimai parodytų, kiek gaminys tinkamas eksploatuoti.

Iš literatūros apžvalgos matyti, kad kilpiniai audiniai ištirti fizikinių savybių požiūriu, tačiau mechaninių savybių analizės šioje srityje itin stokojama, ypač specialios sandaros audinių. Literatūros šaltiniai nagrinėja ramės pluošto mechanines savybes, nes šis pluoštas dažniausiai naudojamas kompozicinėse medžiagose kaip stiprinamoji medžiaga ir vertinamas dėl ekologiškos gamybos, tačiau kokią įtaką šis pluoštas turi mechaninėms audinių savybėms, literatūros nerasta.

Yra žinoma, kad nuo to, kokios yra tekstilės medžiagos mechaninės savybės, priklauso gaminio vartojamoji vertė. Tai svarbu ne tik vartotojui – gaminio eksploatavimo metu, bet ir gamintojui – gaminant medžiagas. Dažniausiai medžiagoms nustatomos tempimo charakteristikos, nes gaminant ir naudojant medžiagas veikia išilginės tempimo jėgos. Tekstilės medžiagų dėvėjimas yra laipsniškas jų suirimas, dažniausiai veikiant dilinimu ir skalbimu. Tai labai aktualu ir kilpiniams audiniams, nes nulemia audinio ilgaamžiškumą. Literatūroje pastebėta, kad tiriant mechanines savybes dažniausiai nagrinėjami elementariųjų pynimų audiniai arba techninės tekstilės medžiagos ir mezginiai. Tyrimai parodė, kad skirtingi pramoninio skalbimo ir minkštinimo režimai skirtingai veikia ne tik fizikines audinių savybes (paviršinį tankį, storį, standumą lenkiant, metmenų ir ataudų tankumą), bet ir mechanines. Tačiau labai pasigendama kilpinių audinių mechaninių rodiklių analizės ir ypač matematinų priklausomybių, kurios leistų prognozuoti naujų kilpinių produktų kokybę.

2. DARBO METODOLOGIJA

2.1. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – žali (be apdailos) ir įvairiais poveikiais / apdailomis paveikti kilpiniai audiniai, pasižymintys skirtinga pluoštine sudėtimi, kilpos aukščiu, siūlų ilginiu tankiu ir ataudų tankumu.

2.1 lentelė. *a, b, c, e, k, r* ir *R* variantų audinių pluoštinė sudėtis

Pažymėjimas	Kilpos aukštis, mm	Pluoštinė sudėtis, verpalų ilginis tankis, tex			Tankumas, cm ⁻¹	
		kilpiniai metmenys	pagrindo metmenys	pagrindo ataudai	metmenų (kilpiniai ir pagrindo)	ataudų
<i>a</i>	6 9 12	lininiai nebalinti verpalai, 68	suktiniai medvilniniai verpalai, 25 x 2	medvilniniai verpalai, 50	25	20
<i>b</i>	6 9 12	lininiai balinti verpalai, 50	suktiniai medvilniniai verpalai, 25 x 2	medvilniniai verpalai, 50	25	20
<i>c</i>	9 12	lininiai nebalinti verpalai, 68	lininiai nebalinti verpalai, 56	lininiai nebalinti verpalai, 56	25	18
<i>e</i>	9	lininiai nebalinti verpalai, 50	suktiniai medvilniniai verpalai, 25 x 2	medvilniniai verpalai, 50	25	20
<i>k</i>	9	kanapiniai verpalai, 72	suktiniai medvilniniai verpalai, 25 x 2	medvilniniai verpalai, 50	25	20
<i>r</i>	4,5 6 7,5 9 10,5	ramės verpalai, 67	suktiniai medvilniniai verpalai, 25 x 2	medvilniniai verpalai, 50	25	12
	6 10,5	ramės verpalai, 67	suktiniai medvilniniai verpalai, 25 x 2	medvilniniai verpalai, 50	25	8 10 14 16
<i>R</i>	-		ramės verpalai, 67 ir suktiniai medvilniniai verpalai, 25 x 2	medvilniniai verpalai, 50	25	8 10 12 14 16

Eksperimentams buvo naudoti kilpiniai audiniai, kurių kilpiniai metmenys / pagrindo metmenys sudaryti iš lininių / medvilninių (**a**, **b**, **e**), lininių (**c**), kanapinių / medvilninių (**k**) ir ramės / medvilninių (**r**) pluošto verpalų. Taip pat buvo ištirta dalis audinių be kilpinio pūko: jie išausti iš ramės / medvilninių (**R**) verpalų su skirtingu ataudų tankumu. *R* audinių variantai buvo naudojami lyginamajai tyrimų analizei su tos pačios pluoštinės sudėties kilpiniais audiniais. Visų audinių užtaisymo duomenys pateikti **2.1 lentelėje**. Visi audiniai buvo išausti įmonėje UAB „A grupė“ (Jonava) specialiai šio darbo tyrimams, dalis audinių išausti pagal eksperimento planą. Iš viso šio disertacinio darbo metu ištirta 120 skirtingų audinių variantų.





Lininiai, lininiai / medvilniniai ir kanapiniai / medvilniniai kilpiniai audiniai (*a*, *b*, *c*, *e* ir *k*) buvo išausti šaudyklinėmis *ATM* audimo staklėmis. Šių kilpinių audinių pynimo raportas ir skerspjūvio vaizdas pateikti atitinkamai **2.1** ir **2.3 pav. (a)**. Ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai (*r*) ir ramės / medvilniniai audiniai be kilpinio pūko (*R*) buvo išausti iešminėmis kompiuterizuotomis *Smith Textile* audimo staklėmis. Audinių pynimo raportas, taip pat skerspjūvio vaizdas pateikti **2.2** ir **2.3 pav. (b)**.

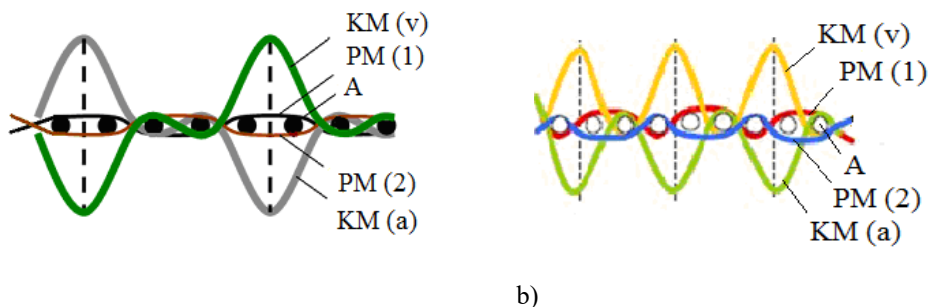
PM	KM	PM	KM	PM	KM	PM	KM	PM	KM	PM	KM	PM	AK	PM	KM
	(v)		(a)		(v)		(a)		(a)		(v)		(a)		(v)

2.1 pav. Lininių, lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių kilpinių audinių pynimo raportas

PM	KM	PM	KM
	(a)		(v)

2.2 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių pynimo raportas

čia (**2.1** ir **2.2 pav.**) *PM* – pagrindo metmenys, *KM (a)* – apatinės pusės kilpiniai metmenys, *KM (v)* – viršutinės pusės kilpiniai metmenys,  – pagrindo metmuo, nuleistas po ataudu,  – pagrindo metmuo virš ataudu,  – apatinės pusės kilpinis metmuo, pakibęs virš ataudu,  – viršutinės pusės kilpinis metmuo, pakilęs virš ataudu.



2.3 pav. Kilpinių audinių skerspjūvio vaizdas: a) lininių, lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių (Petrulytė, Baltakytė, 2008a); b) ramės / medvilninių (Nazire, Nanzy, 2005)

čia (**2.3 pav.**) *KM (v)* – viršutinės pusės kilpiniai metmenys, *PM (1)* – pirmas pagrindo metmuo, *A* – ataudai, *PM (2)* – antras pagrindo metmuo, *KM (a)* – apatinės pusės kilpiniai metmenys.

Siekiant ištirti vandens, šilumos, mechaninio ir cheminio poveikių įtaką kilpinių audinių kokybei, pagal eksperimentinį planą žali (*Z*) audiniai buvo paveikti įvairiais poveikiais ar apdailomis.

Kilpinių audinių **poveikis**: vilgymas vandeniu (*V*); skalbimas vandenyje įvairiais laiko intervalais (*S*).

Kilpinių audinių **apdaila**: skalbimas naudojant ploviklį (*P*); skalbimas naudojant ploviklį ir po to minkštinimas (*M*); skalbimas su plovikliu, minkštinimas ir kalandravimas (*K*); skalbimas su plovikliu, minkštinimas ir tumbleravimas (vartomasis džiovinimas) įvairiais laiko intervalais (*T*).

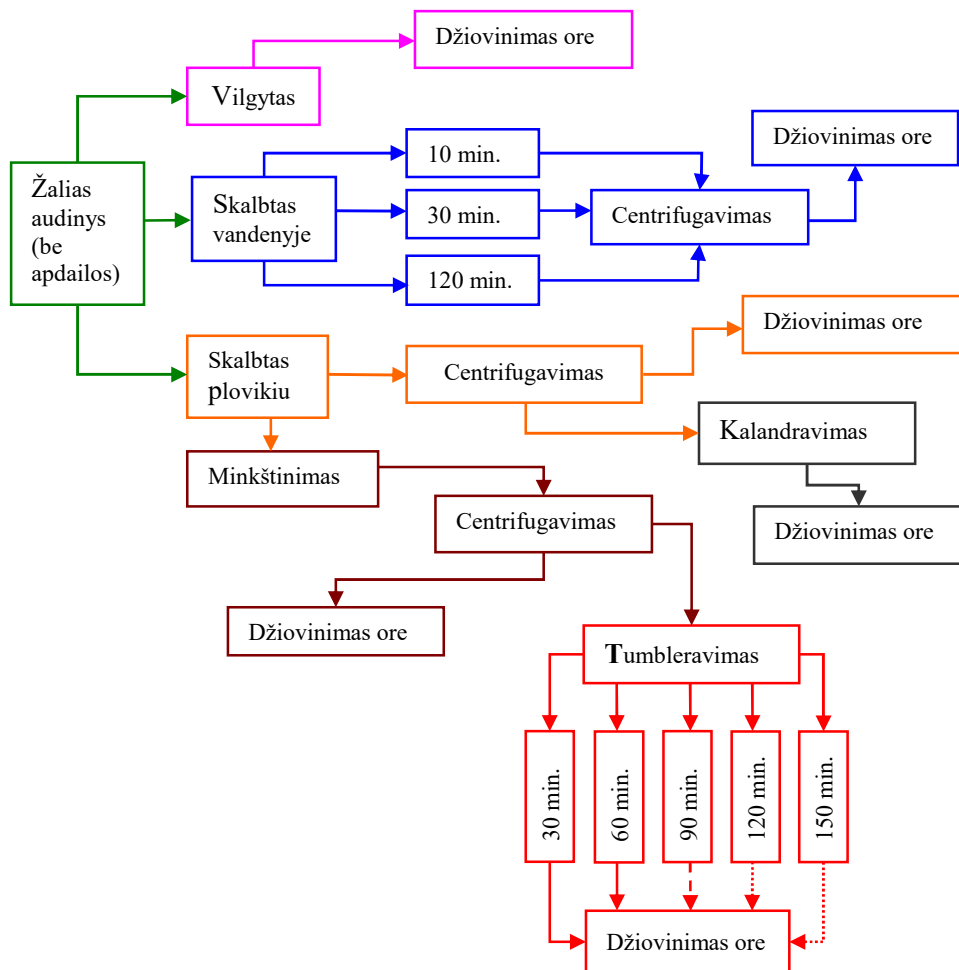
Poveikių / apdailos procedūrų schema pavaizduota **2.4 pav.** Kilpinių audinių variantų ženklinimo paaiškinimas parodytas **2.5 pav.** Tirtų kilpinių audinių ir jiems atliktų poveikių / apdailos ryšys pateiktas **2.2 lentelėje**.

► Kilpinių audinių *a*, *b*, *c*, *e*, *k* ir *r* (taip pat audinių *R* variantai) variantams nebuvo atliktas joks poveikis / apdaila, todėl jie vadinami žaliais (be apdailos) (*Z*) audiniais.

► Vilgymas (*V*) yra trumpalaikis, tačiau reikšmingas poveikis vandeniu įvairios sandaros kilpiniams audiniams, nes jo metu audinys kelias sekundes yra sąlytyje su vandeniu, o tai nulemia kilpinių audinių savybių pokyčius, palyginti su žaliais audiniais. Vilgymas vandeniu buvo atliekamas bandiniams: *a*, *b*, *c*, *e* ir *k*. Šios procedūros metu audiniai 2–3 sekundėms, siekiant visiško jų suvilgymo, įmerkami į vandens vonelę, vėliau ištraukti iš vandens ir džiovinami laisvos būklės, pakabinus, kur $T_a = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$, $\varphi = (65 \pm 4)$ procentai.

► Įvairiais laiko intervalais skalbti vandenyje (*S*) kilpiniai audiniai, taip pat buvo ištirti: *a*, *b*, *c*, *e* ir *k* variantai. Bandiniai skalbiami ir džiovinami remiantis LST EN ISO 6330: 2012 standartu. Šios procedūros metu žali kilpiniai audiniai skalbiami 40°C temperatūros vandenyje automatine skalbykle, nenaudojant jokių cheminių medžiagų, 10, 30 ir 120 min. laiko intervalais. Po skalbimo audiniai centrifuguojami (centrifugos sukimosi dažnis apie 800 min^{-1}) ir džiovinami laisvos būklės, pakabi-

nus, kur $T_a = (20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $\varphi = (65 \pm 4)$ procentai. Toks skalbimas svarbus tam, kad išsiaiškintume proceso poveikį, kai nenaudojama jokia cheminė medžiaga.



2.4 pav. Kilpinių audinių poveikių / apdailos schema

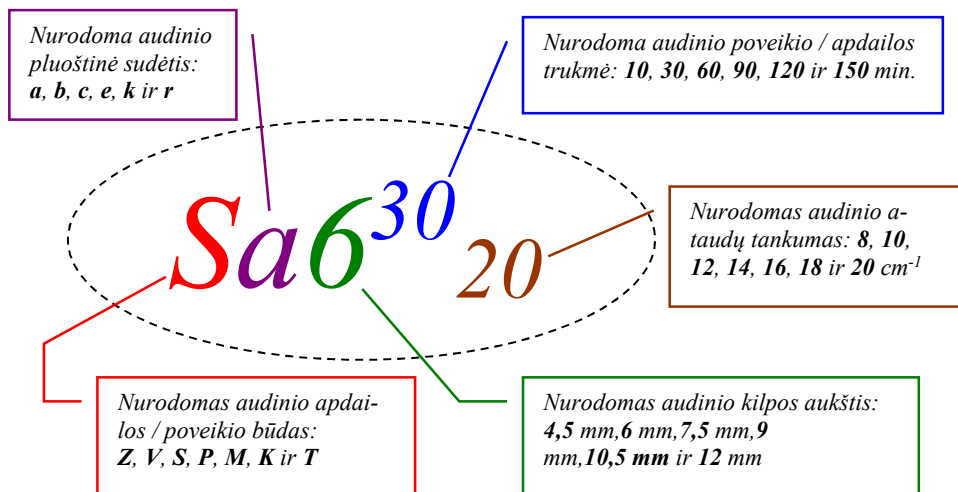
► Tyrimui buvo paruošti ir pramoniniu būdu skalbti audiniai (**P**) (UAB „A grupės“ technologinė apdailos procesų metodika). Tam žali **a**, **b**, **c**, **e** ir **k** variantų kilpiniai audiniai skalbiami 60 min. 60 °C temperatūroje su plovikliu *Feleson NOG CHT R. Beitlich GmbH* (Vokietija), po to audiniai centrifuguojami ir džiovinami laisvos būklės, pakabinus, kur $T_a = (20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $\varphi = (65 \pm 4)$ procentai.

► Minkštinimo apdaila (**M**) (UAB „A grupės“ technologinė apdailos procesų metodika) buvo atliekama žalius kilpinių audinių **a**, **b**, **c**, **e** ir **k** variantus išskalbus naudojant ploviklį *Feleson NOG CHT R. Beitlich GmbH* (Vokietija) 60 min. 60 °C temperatūroje ir po to minkštinus silikoniniu minkštikliu *Tubingal SMF CHT R. Beitlich GmbH* (Vokietija). Procedūros trukmė – 60 minučių, temperatūra $\pm 40 ^\circ\text{C}$.

Skalbimas atliekamas pramoninėje skalbimo vonioje. Išskalbus su minkštikliu, audiniai buvo skalaujami ir centrifuguojami bei džiovinami laisvos būklės, pakabinius, kur $T_a = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$, $\varphi = (65 \pm 4)$ procentai. Toliau ši audinių apdaila tekste sutrumpintai bus vadinama – skalbti su plovikliu / minkštikliu.

► Siekiant paruošti kalandruotus (**K**) pavyzdžius, žali **a** ir **b** varianto kilpiniai audiniai po skalbimo su plovikliu, minkštikliu, centrifuguojami ir kalandruojami *Textima* (Vokietija) kalandravimo mašinoje. Kalandrų (būgnų) temperatūra 100–120 °C, kalandrų greitis 3–4 m/min. Toliau ši apdaila bus vadinama – skalbti su plovikliu / minkštikliu / kalandruoti. Kalandruojant (Cybulska, Snycerski, 2002) audinys yra spaudžiamas tarp velenų, taip suteikiant lygų paviršių, blizgumą. Norint suteikti audiniui reljefinį paviršių, naudojami graviruoti velenai. Nuo velenų skaičiaus priklauso kalandravimo proceso efektyvumas (Cybulska, Snycerski, 2002).

► Kilpinių audinių variantams **a**, **b**, **c**, **e** ir **k** 30, 60, 90, 120 ir 150 min. laiko intervalais buvo atliekama tumbleravimo (vartomojo džiovinimo) apdaila (**T**). Siekiant paruošti tumbleruotus bandinius, žali audiniai buvo skalbiami su plovikliu ir minkštikliu, vėliau centrifuguojami ir tumbleruojami *Airpress 15*, (*Frofix*, Vokietija) tumblerinėje džiovyklėje. Čia audinys oro srautu purtomas ir sukamas pasirinktą tumbleravimo laiko trukmę pučiant karšto oro srautą. Tumbleravimo trukmės pasirinktos atsižvelgus į audinių pluoštinės sudėties įvairovę, skirtingą kilpų aukštį ir įvertinus tumbleravimo proceso ekonomiškumą. Minėta apdaila tekste bus vadinama – skalbti su plovikliu / minkštikliu / tumbleruoti. Tumbleruojama (Rouette, 2001) tam, kad būtų pašalintas po skalbimo likęs vandens kiekis, pagerintas audinio grifas, suteiktas metmenų stabilumas, purumas. Tumbleravimas (vartomasis džiovinimas) atliekamas tumblerinėje džiovykloje, veikiant audinį šaltu arba karštu oru besiskančiame perforuotame būgne (Rouette, 2001).



2.5 pav. Kilpinių audinių variantų ženklinimo paaiškinimas

2.2 lentelė. Ištirtų audinių variantai ir jiems atliktas poveikis / apdaila bei jų charakteristika

Žymėjimas		Audinio variantas	Poveikis / apdaila	Trukmė
Z		<i>Zr4,5₁₂, Zr6₁₂, Zr7,5₁₂, Zr9₁₂, Zr10,5₁₂, Zr6₈, Zr6₁₀, Zr6₁₄, Zr6₁₆, Zr10,5₈, Zr10,5₁₀, Zr10,5₁₄, Zr10,5₁₆, Za6, Za9, Za12, Zb6, Zb9, Zb12, Zc9, Ze9, Zk9, R₈, R₁₀, R₁₂, R₁₄, R₁₆</i>	Žali (be apdailos)	
V		<i>Va6, Vb6, Va9, Vb9, Va12, Vb12, Vc12, Ve9</i>	Vilgymas (20 ± 2 °C) vandenyje → džiovinimas laisvos būklės	
S	S¹⁰	<i>Sa6¹⁰, Sb6¹⁰, Sa9¹⁰, Sb9¹⁰, Sa12¹⁰, Sb12¹⁰, Sc12¹⁰, Se9¹⁰, Sk9¹⁰</i>	Skalbimas (40 °C) vandenyje įvairiais laiko intervalais → centrifugavimas → džiovinimas laisvos būklės	10 min.
	S³⁰	<i>Sa6³⁰, Sb6³⁰, Sa9³⁰, Sb9³⁰, Sa12³⁰, Sb12³⁰, Sc12³⁰, Se9³⁰, Sk9³⁰</i>		30 min.
	S¹²⁰	<i>Sa6¹²⁰, Sb6¹²⁰, Sa9¹²⁰, Sb9¹²⁰, Sa12¹²⁰, Sb12¹²⁰, Se9¹²⁰, Sk9¹²⁰</i>		120 min.
P		<i>Pa6, Pa9, Pb9, Pa12, Pb12, Pc12, Pe9</i>	Skalbimas su plovikliu (60 °C, 60 min.) → centrifugavimas → džiovinimas laisvos būklės	
M		<i>Ma6, Mb6, Ma9, Mb9, Ma12, Mb12, Me9, Mk9</i>	Skalbimas su plovikliu (60 °C, 60 min.) → minkštinimas (60 °C, 40 min.) → centrifugavimas → džiovinimas laisvos būklės	
K		<i>Ka9, Kb9</i>	Skalbimas su plovikliu (60 °C, 60 min.) → minkštinimas (60 °C, 40 min.) → centrifugavimas → kalandravimas	
T	T³⁰	<i>Ta6³⁰, Tb6³⁰, Ta9³⁰, Ta12³⁰, Tb12³⁰, Tc12³⁰, Te9³⁰, Tk9³⁰</i>	Skalbimas su plovikliu (60 °C, 60 min.) → minkštinimas (60 °C, 40 min.) → centrifugavimas → tumbleravimas įvairiais laiko intervalais → džiovinimas laisvos būklės (paprastai reikalingas, jei tumble-ruojama 30, 60 ir 90 min.)	30 min.
	T⁶⁰	<i>Ta6⁶⁰, Tb6⁶⁰, Ta9⁶⁰, Ta12⁶⁰, Tb12⁶⁰, Te9⁶⁰, Tk9⁶⁰</i>		60 min.
	T⁹⁰	<i>Ta6⁹⁰, Tb6⁹⁰, Ta9⁹⁰, Ta12⁹⁰, Tb12⁹⁰, Tc12⁹⁰, Te9⁹⁰, Tk9⁹⁰</i>		90 min.
	T¹²⁰	<i>Ta6¹²⁰, Tb6¹²⁰, Ta9¹²⁰, Tb9¹²⁰, Ta12¹²⁰, Tb12¹²⁰, Tc9¹²⁰, Tc12¹²⁰, Te9¹²⁰, Tk9¹²⁰</i>		120 min.
	T¹⁵⁰	<i>Ta6¹⁵⁰, Tb6¹⁵⁰, Ta9¹⁵⁰, Tb9¹⁵⁰, Ta12¹⁵⁰, Tb12¹⁵⁰, Tc12¹⁵⁰, Te9¹⁵⁰, Tk9¹⁵⁰</i>		150 min.

2.2. Tyrimo metodologija

Prieš atliekant bandymus visi bandiniai buvo kondicionuoti standartiniame bandymų klimate, kur $T_a = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$, $\varphi = (65 \pm 4)$ procentai. Kondicionavimo ir bandymo aplinka atitiko LST EN ISO 139: 2005 / A1: 2011 standarto keliamus reikalavimus.

Bandiniams fotografuoti buvo naudojama skaitmeninė kamera *Nikon Coolpix 4500* (*Nikon Corporation*, Japonija) ir stereomikroskopas *Nikon Stereoscopic Zoom microscope SMZ 800* (*Nikon Corporation*, Japonija), sujungti su personaliniu kompiuteriu.

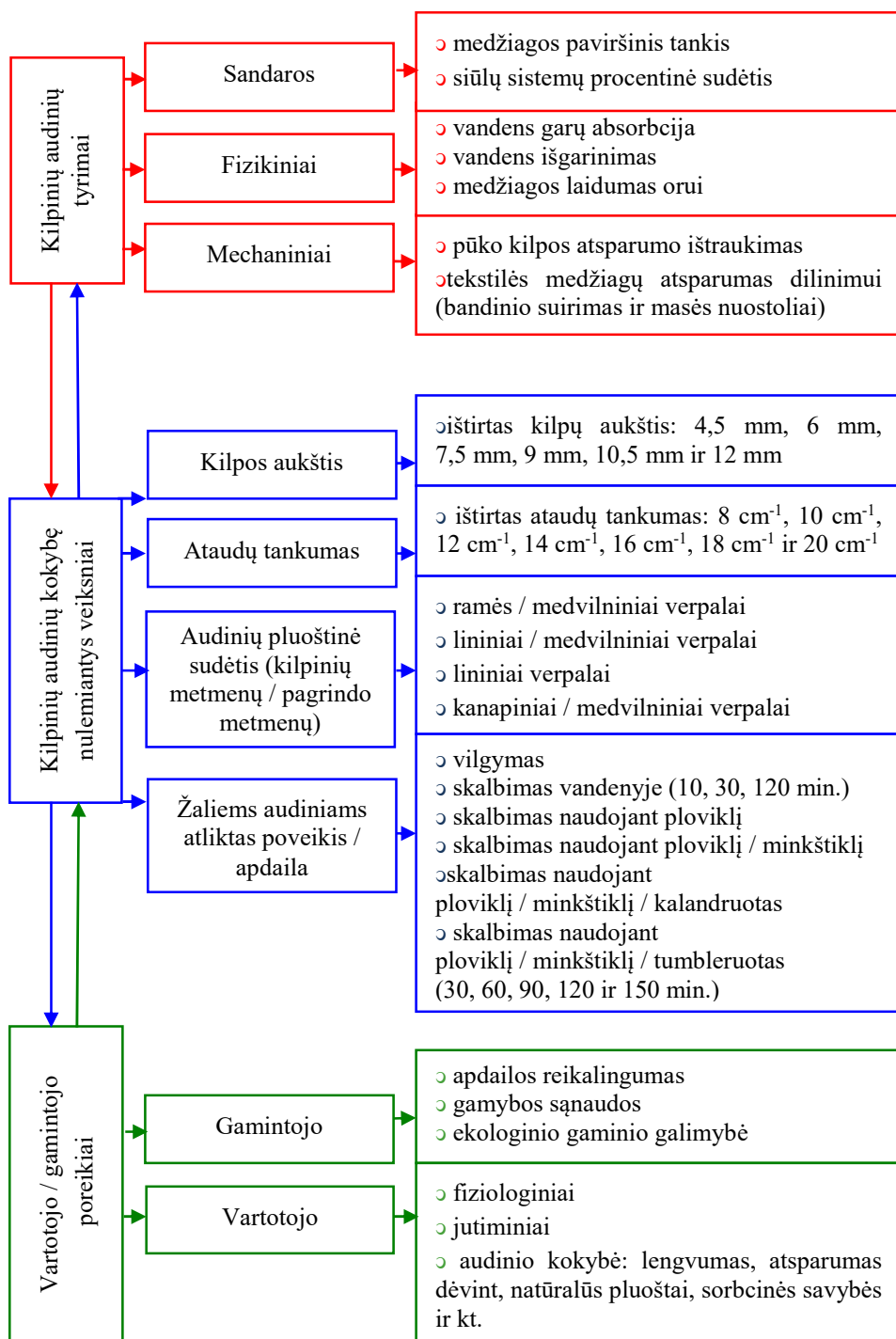
Su lininiais, medvilniniais, kanapiniais ir ramės audinių verpalais buvo atlikti išsamesni sandaros tyrimai skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu (*SEM*) *FEI Quanta 200 FEG* (JAV). Padarytos *SEM* nuotraukos buvo nagrinėjamos ir lyginamos tarpusavyje kaip verpalų paviršiaus vaizdavimo priemonė. Skenuojamojo elektroninio mikroskopo metodika: greitinančioji įtampa – 10 kV, detektoriaus tipas – LFD, darbinis atstumas apie 8,3 mm, didinimas – 3000 x, mastelis 40 μm (bandiniai buvo paruošti be papildomo jų apdorojimo).

Kilpinių audinių kokybę nulemiantys veiksniai gali būti kilpos aukštis, ataudų tankumas, pluoštinė sudėtis ir atlikta verpalų ar audinio poveikio / apdailos procedūra. **2.6 pav.** pavaizduotas kilpinių audinių savybių reikšmingumas ir tarpusavio sąsajos.

Siekiant nustatyti kilpinių audinių savybes, buvo ištirti šių audinių sandaros, fizikiniai, mechaniniai rodikliai, taip pat gamybai svarbūs ekonominiai (medžiagos sandaros) rodikliai. Tam buvo pritaikytos tyrimo metodikos, skirtos ištirti (2.2.1 – 2.2.3 posk.):

- audinių paviršinį tankį (*PT*);
- audinių siūlų procentinę sudėtį (*SPS*);
- audinių vandens garų absorbciją (*VGA*);
- audinių vandens išgarinimą (*VI*);
- audinių pūko kilpos atsparumą ištraukimui (*KAI*);
- audinių atsparumą dilinimui (*AD*): bandinio suirimą (*ADs*) ir masės nuostolius (*ADm*);
- audinių laidumą orui (*LO*).

6 priede 6.1 pav. pateikta schema nustatant audinių variantų bandymus. Visi eksperimentai buvo atliekami KTU Medžiagų inžinerijos katedroje, taip pat KTU *Santakos slėnyje*.



2.6 pav. Kilpinių audinių savybių reikšmingumas ir tarpusavio sąsajos

2.2.1. Kilpinių audinių sandaros ir geometriniai rodikliai

Audinio paviršinio tankio nustatymo metodika. Audinio paviršinis tankis (*PT*) nustatytas remiantis LST EN 12127: 1999 („Tekstilė. Tekstilės medžiagos. Paviršinio tankio nustatymas naudojant mažus bandinius“) standartu. Iškerpami 100 cm² ploto 6 elementarieji bandiniai. Bandinys pasveriamas elektroninėmis *KERN EW 150-3M* (*KERN & Sohn Gm Bh*, D-72336, max – 150 g, min. – 0,02 g) svarstyklėmis, svėrimo tikslumas – 0,001 g. Audinio *PT* apskaičiuojamas pagal formulę:

$$PT = \frac{m \times 10000}{A}; \quad (2.1)$$

čia *m* – kondicionuoto elementariojo bandinio masė, g; *A* – to paties elementariojo bandinio plotas, cm².

Siūlų sistemų procentinės sudėties nustatymo metodika. Buvo apskaičiuota kilpinių audinių siūlų sistemų procentinė sudėtis (*SPS*) remiantis pateikta tyrimo metodika (Karahana ir kt., 2005). Tai yra buvo nustatytos visų trijų siūlų sistemų – kilpinių metmenų, pagrindo metmenų ir pagrindo ataudų – dalys audinyje procentais. Tam iš kilpinio audinio buvo iškerpami penki pavyzdžiai, išardomi visų trijų sistemų siūlai, jie atskirai pasveriami elektroninėmis svarstyklėmis *KERN EW 150-3M*, 0,001 g tikslumu.

2.2.2. Kilpinių audinių fizikiniai tyrimai

Vandens garų absorbcijos tyrimo metodika. Vandens garų absorbcija (*VGA*) buvo tirta remiantis standartu LST EN 13515: 2004. Bandymų skaičius – 5. Sveriamą elektroninėmis svarstyklėmis *KERN EW 150-3M*. Bandymams tirti buvo naudojamas *eksikatorius* (cheminis indas medžiagoms), jame bandiniai išlaikomi 8 valandas. Vandens garų absorbcija apskaičiuojama (*VGA*, mg/cm²) apvalinant iki 0,1 mg/cm², pagal formulę:

$$VGA = \frac{v_s - v_{sl}}{A}; \quad (2.2)$$

čia *v_s* – sauso audinio masė, mg; *v_{sl}* – šlapio audinio masė, mg; *A* – bandinio plotas, cm².

Vandens išgarinimo tyrimo metodika. Vandens išgarinimo (*VI*) tyrimai buvo atlikti remiantis standartu FTTS-FA-004, kuriame nurodyta, kaip tirti skysčio išgarinimo procesą naudojant lašo metodiką. Bandiniai sveriami elektroninėmis svarstyklėmis *KERN EW 150-3M*. Matuojamas laiko intervalas nuo pradinio momento kas 10 minučių, bandymų riba yra 180-toji minutė. Sveriamą 0,001 g tikslumu, bandymai kartojami 5 kartus. Atlikus bandymus, apskaičiuojamas vandens likučio koeficientas (*VI*, proc.):

$$VI = \frac{v_i - v_s}{v_l - v_s} \times 100; \quad (2.3)$$

čia v_i – bandinio masė duotuoju laiko momentu, g; v_s – sauso bandinio masė, g;
 v_l – bandinio masė, su vandens lašu, g.

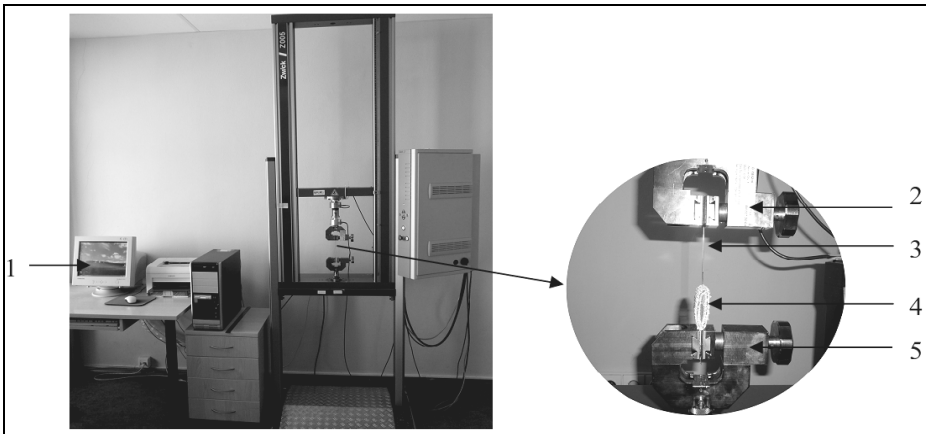
Medžiagų laidumo orui nustatymo metodika. Laidumo orui (LO) bandymai buvo atlikti remiantis LST EN ISO 9237: 1997 standartu, aprašančiu plokščių tekstilės medžiagų laidumo orui matavimo būdą. Bandymo metu matuojamas oro srauto, prasiskverbiantčio per nustatytą medžiagos plotą, esant nustatytam slėgių skirtumui, debitas. Laidumo orui bandymai atlikti prietaisu *LI4DR* (*Karl Schroder KG*, Vokietija). Bandymų skaičius – 6. Bandymo tikslas – išmatuoti laidumą orui prieš ir po dilinimo. Laidumas orui (LO), išreikštas mm / s, apskaičiuotas pagal formulę:

$$LO = \frac{\overline{q_v}}{A} 167; \quad (2.4)$$

čia $\overline{q_v}$ – oro srauto debito aritmetinis vidurkis, $\text{dm}^3/\text{min.}$; A – bandinio plotas, cm^2 ;
 167 – perskaičiavimo iš $\text{dm}^3/\text{cm}^2/\text{min.}$ arba į $\text{dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$) koeficientas.

2.2.3. Kilpinių audinių mechaniniai tyrimai

Pūko kilpos atsparumo ištraukimui nustatymo metodika. Bandymai atlikti remiantis LST EN 15598: 2008 standartu, kuriame nurodomas bandymo metodas nustatyti kilpinių audinių pūko kilpos atsparumą ištraukimui (*KAI*). Kilpos siūlo ištraukimo procesui nufilmuoti buvo naudojama fotokamera *LUMIX DMC-TZ3* (*PANASONIC*), gauti rezultatai apdoroti *METRIC* programa.



2.7 pav. Zwick / Z005 (Vokietija) tempimo mašina: 1 – kompiuteris,
 2 – viršutinis spaustuvas, 3 – adata, 4 – bandinys, 5 – apatinis spaustuvas

Pūko kilpos atsparumas ištraukimui nustatytas naudojant *Zwick / Z005* (*Zwick GmbH & Co. KG*, Vokietija) tempimo mašiną, *testXpert®* programinę įrangą (**2.7 pav.**). Tempimo mašinos atstumas tarp spraustuvų – 110 mm, tempimo greitis – 100 mm/min. Pasirinktas kilpos atsparumo ištraukimui intervalas: 5, 10, 15, 20 ir 25 mm. Eksperimentas buvo kartojamas 5–12 kartų, siekiant gauti reikiamą rezultatų tikslumą.

Tekstilės medžiagų atsparumo dilinimui nustatymo metodika. Tekstilės medžiagų atsparumas dilinimui (*AD*), t. y. suirimas (*ADs*), ir masės nuostolis (*ADm*) buvo nustatomas *Martindale'o* metodu. Metodika buvo paremta dviem standartais: LST EN ISO 12947-2: 2001 ir LST EN ISO 12947-3: 2001. Masės nuostolio nustatymo intervalai paimti iš standartų pagal galutinį medžiagos suirimo laiką – 5000, 7500, 10 000, 15 000, 25 000, 40 000 (50 000) sūkių. Sverta elektroninėmis svarstyklėmis *KERN EW 150-3M*, kur svėrimas atliekamas 0,001 g tikslumu, bandymai kartojami 6 kartus. Masės nuostoliai apskaičiuojami pagal formulę (*ADm*, proc.):

$$ADm = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100; \quad (2.5)$$

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

2.3. Eksperimentų rezultatų statistinė ir matematinė analizė

Atlikus bandymus buvo patikrintos abejotinių stebėjimo rezultatų atmetimo galimybės pagal *Grebso* (*F.S. Grubbs*) ar *Diksono* (*W.J. Dixon*) kriterijus. Atlikti visų gautų rezultatų statistiniai skaičiavimai: aritmetinis vidurkis (\bar{x}), vidutinė kvadratinė nuokrypa (S_x) ir dispersija (S^2). Taip pat bandymų patikimumui įvertinti buvo naudojamos paklaidos – tai absoliutinė atsitiktinė paklaida (2.6 formulė, proc.), santykinė atsitiktinė paklaida (2.7 formulė, proc.) bei variacijos koeficientas (2.8 formulė, proc.) (Milašius, 2011):

$$\Delta_\alpha = \frac{t_\alpha S_x}{\sqrt{n}} 100, \quad (2.6) \quad \delta_\alpha = \frac{\Delta_\alpha}{x} 100, \quad (2.7) \quad V_k = \frac{S_x}{x} 100; \quad (2.8)$$

čia t_α – *Stjudento* kriterijus; n – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

Matematinė analizė atlikta remiantis *Kočreno* (*W.G. Cochran*) kriterijumi (2.9 formulė). Patikrinama, ar eksperimentų taškų dispersijos yra vienaarūšės. Jei dispersijos vienaarūšės, galima apskaičiuoti eksperimento informatyvumą remiantis *Fišerio* (*R.A. Fisher*) kriterijumi (2.10 formulė) (Milašius, 2011):

$$G_k = \frac{S_{\max}^2}{\sum S^2}, \quad (2.9) \quad F_k = \frac{S_v^2}{S_y^2}; \quad (2.10)$$

čia S_{\max}^2 – maksimalioji eksperimento taškų dispersija; $\sum S^2$ – visų eksperimento taškų dispersijų suma.

Esant informatyviam eksperimentui, nustatytos empirinės lygtys tarp tekstilės gaminio savybės ir kintamojo veiksnio. Tai gali būti tiesinė, polinominė, eksponentinė, logaritminė ir laipsninė lygtis. Lygties atitikimui eksperimentiniams taškams įvertinti apskaičiuotas determinacijos (apibrėžties) koeficientas (2.11 formulė) (Milašius, 2011).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_{ei} - y_{ti})^2}{\sum y_{ei}^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}}; \quad (2.11)$$

čia y_{ei} – eksperimentinė savybės reikšmė; y_{ti} – apskaičiuota pagal lygtį (teorinė) savybės reikšmė.

Siekiant palyginti skirtingus audinio parametro ar kokybės rodiklio matavimo rezultatus tarpusavyje, buvo atliktas dviejų bandymų rezultatų lyginimas, t. y. ar skirtumas tarp nagrinėjamų rezultatų yra reikšmingas. Tam buvo tarpusavyje lygintos aritmetinių vidurkių vertės taikant *Stjudento* koeficientą (2.12 formulė) (Milašius, 2011):

$$t_{\alpha} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}; \quad (2.12)$$

čia n_1 ir n_2 – elementariųjų bandymų skaičius serijose.

Nustatyta rezultatų koreliacija, išreiškiama funkcija $y = f(x)$, kiek koreliacinė priklausomybė artima funkciniai priklausomybei. Tam apskaičiuojamas koreliacijos koeficientas pagal (2.13) formulę (Matukonis ir kt., 1976):

$$r_{xy} = \frac{k \times \sum_{i=1}^k (x_i \times \bar{y}_{xi}) - \sum_{i=1}^k x_i \times \sum_{i=1}^k \bar{y}_{xi}}{\sqrt{k \times \sum_{i=1}^k x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^k x_i\right)^2} \times \sqrt{k \times \sum_{i=1}^k \bar{y}_{xi}^2 - \left(\sum_{i=1}^k \bar{y}_{xi}\right)^2}}; \quad (2.13)$$

čia k – x_i ir \bar{y}_{xi} verčių porų skaičius.

3. TYRIMŲ REZULTATAI

Disertacinio darbo metu buvo atlikti kilpinių audinių tyrimai, atsižvelgiant į audiniams atliktą poveikio / apdailos būdą, audinių pluoštinę sudėtį, ataudų tankumą ir kilpos aukštį.

Nustatyta:

- žalių (be apdailos) ramės / medvilninių kilpinių audinių *PT*, *SPS*, *VGA*, *VI*, *KAI*, *AD* ir *LO* priklausomybė nuo audinio sandaros;
- žalių (be apdailos) ir vilgytų lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių *SPS*, *VGA*, *VI*, *KAI*, *AD* ir *LO* priklausomybė nuo audinio sandaros ir vandens poveikio;
- skalbtų (be ploviklio), skalbtų su plovikliu, skalbtų su plovikliu / minkštikliu lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių *SPS*, *VGA*, *VI* ir *KAI* priklausomybė nuo audinio sandaros ir poveikio / apdailos būdo;
- skalbtų su plovikliu / minkštikliu / kalandruotų ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių *SPS*, *VGA*, *VI*, *KAI*, *AD* ir *LO* priklausomybė nuo audinio sandaros ir apdailos būdo.

3.1. Kilpinių audinių sandaros ir geometrinių rodiklių analizė

Kilpinių audinių gaminiai yra naudojami daugelyje sričių, dažniausiai buityje, taip pat ir medicininėje tekstilėje. Todėl labai svarbu, kad kilpiniai audiniai tikėtų savo paskirčiai ir tenkintų gamybos ekonominius rodiklius. Tai galima atlikti prognozuojant kilpinių audinių siūlų procentinę sudėtį, paviršinį tankį ir kitus audinio rodiklius.

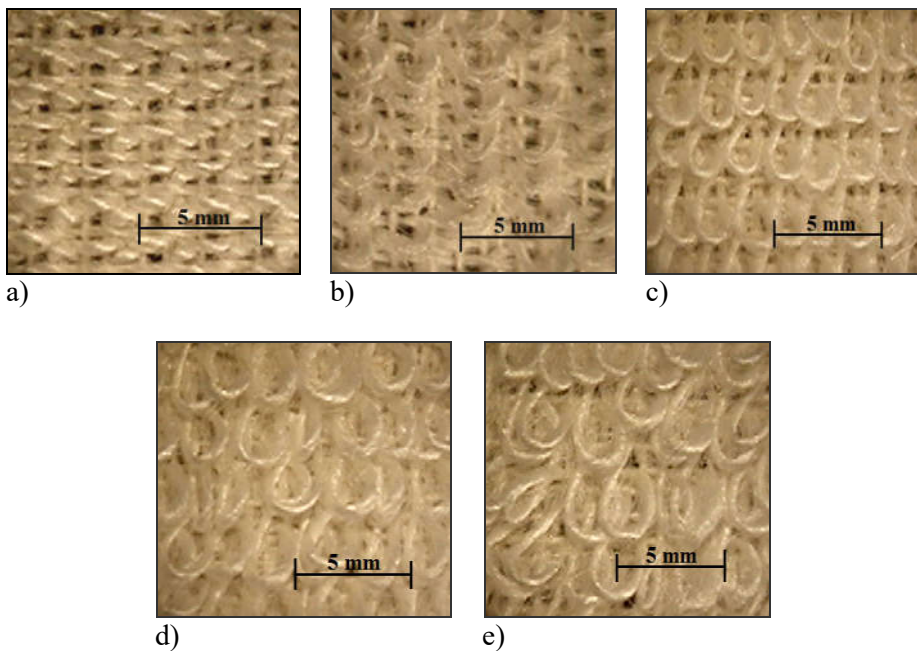
Kilpinio audinio paviršinis tankis yra labai svarbi audinio sandaros ypatybė, nes siekiama sukurti kompaktiškesnę medžiagos struktūrą, taip garantuojant patogų dėvėjimą ar naudojimą buityje (Baltakytė, 2009). Audinio paviršinis tankis turi įtakos įvairioms audinio savybėms: laidumui orui, vandens absorbcijai ir t. t. (Yang ir kt., 2008; Karahan, Eren, 2006). Koç ir Zervent (Koç ir Zervent, 2006) nustatė medvilninių kilpinių audinių ryšį tarp kilpos aukščio, paviršinio tankio bei audinio minkštumo laipsnio, t. y. tai, kad, didinant kilpinių audinių kilpos aukštį, padidėja audinio paviršinis tankis (Koç, Zervent, 2006). Baltakytė savo disertacinio darbo (2009) metu nustatė, kad lininių, lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių kilpinių audinių paviršiniam tankiui reikšmingiausią įtaką turi kilpos aukštis ir atliktas poveikis ar apdaila. Poveikių / apdailos kiekiui didėjant, vilgytų, įvairiai skalbtų bei po šlapiosios apdailos ir tumbleravimo procedūros audinių paviršinis tankis padidėjo nuo 527,3 iki 962,2 g/m² (Baltakytė, 2009). Karahan ir kt. (2005), atlikę kilpinių audinių sandaros parametrų tyrimus, teigia, kad, padidėjus kilpos aukščiui, padidėja kilpinio audinio paviršinis tankis, nes kilpiniai metmenys sudaro didžiausią kilpinio audinio masės dalį (Karahan ir kt., 2005).

Taigi minėti tyrimai yra aktualūs gamintojui, nes kilpinio audinio siūlų procentinės sudėties skaičiavimų duomenys leidžia prognozuoti svarbius ekonominius rodiklius, t. y. kilpinių audinių gamybos sąnaudas, apskaičiavus kilpinių metmenų,

pagrindo metmenų ir pagrindo ataudų siūlų sudėtį audinyje procentais. Taip pat minėtinas dar vienas labai svarbus dalykas: kilpinių audinių paviršinis tankis ir siūlų sistemų procentinė sudėtis (ypač kilpinių metmenų) nulemia audinio fizikinės ir mechaninės savybės (detali analizė pateikta tolesniuose skyriuose).

3.1.1. Kilpinių audinių paviršinio tankio rezultatai

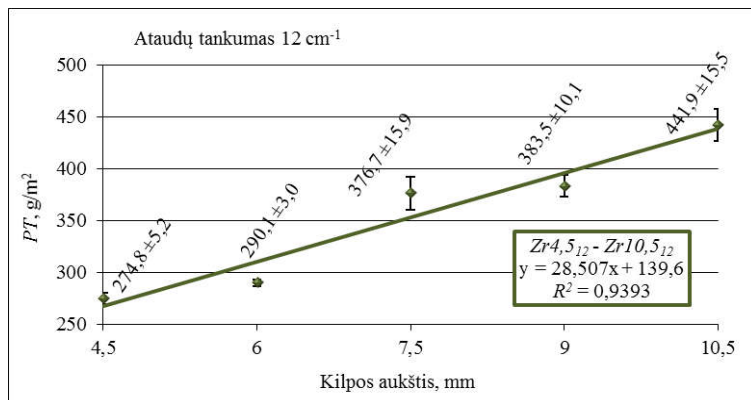
Žalių (be apdailos) ramės / medvilninių kilpinių audinių paviršinio tankio priklausomybė nuo audinio sandaros. Nustatant ramės / medvilninių kilpinių audinių paviršinį tankį (*PT*), buvo tarpusavyje lyginti audiniai su skirtingu kilpos aukščiu. Iš **3.1 pav.** matyti, kad, didėjant kilpai, audinio kilpos vis daugiau padengia audinio pagrindą, todėl didėja paviršinis tankis. Šiame darbe gauti rezultatai rodo, kad paviršinis tankis kito nuo 274,8 iki 441,9 g/m² (**3.2 pav.**). Gauti rezultatai sutampa su kitų tyrėjų rezultatais – jie taip pat nustatė, kad, didėjant audinio kilpos aukščiui, didėja ir audinio paviršinis tankis (Baltakytė, 2009; Karahan ir kt., 2005; Karahan, Eren, 2006; Koç, Zervent, 2006). Pavyzdžiui (Koç, Zervent, 2006), medvilninių kilpinių audinių paviršinis tankis didėjo nuo 358,8 iki 586 g/m², didėjant kilpai nuo 3,8 iki 7,4 mm.



3.1 pav. Kilpinių audinių *Zr* variantai su skirtingu kilpos aukščiu:
a) 4,5 mm, b) 6 mm, c) 7,5 mm, d) 9 mm, e) 10,5 mm

Nagrinėjant ramės / medvilninių kilpinių audinių priklausomybę nuo ataudų tankumo, rasta, kad kilpinių audinių *Zr68-16* variantų paviršinis tankis kito nuo 230,4 iki 413,2 g/m², o *Zr10,58-16* variantų – nuo 308,6 iki 574,2 g/m², didėjant ataudų tankumui. Taip pat atlikti paviršinio tankio tyrimai ne tik su ramės / medvilniniais kilpiniais audiniais (*Zr*) ir su audiniais be kilpinio pūko (*R8-16*). Šių audinių pluoštinė

sudėtis ir ataudų tankumai tokie patys, kaip ir kilpinių audinių. Ramės / medvilninių audinių (be kilpinio pūko) sandaros rodikliai pateikti 2.1 lentelėje (2.1 posk.). Taigi gauti rezultatai rodo, kad ramės / medvilninių audinių audinių R_{8-16} variantų paviršinis tankis kito nuo 189,3 iki 238,6 g/m², didėjant ataudų tankumui (8–16 cm⁻¹). Tai yra iki 2,4 karto gauti mažesni paviršinio tankio rezultatai nei ramės / medvilninių kilpinių audinių.



3.2 pav. Kilpinių audinių $Zr_{4,512}$ – $Zr_{10,512}$ variantų paviršinio tankio priklausomybė nuo ataudų tankumo

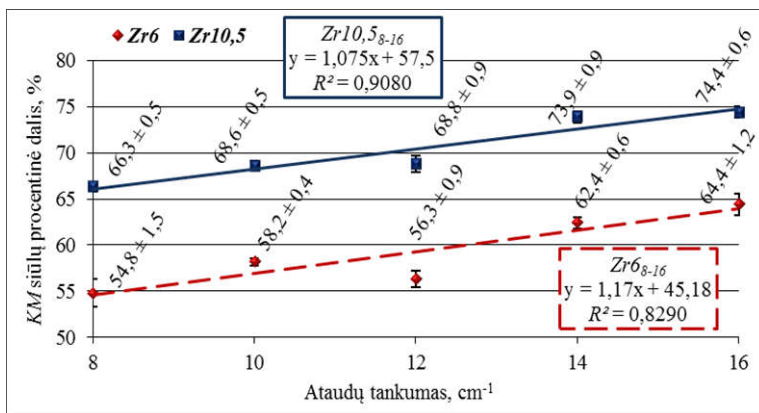
Baltakytė (2009) nustatė, kad žalių (be apdailos) lininių, lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių kilpinių audinių paviršinis tankis didėjo nuo 474,6 iki 834,0 g/m², didėjant kilpos aukščiui, ir kad audinio paviršinis tankis turi tendenciją didėti (Baltakytė, 2009). Lyginant rezultatus matyti, kad ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai yra iki 2,1 kartų lengvesni audiniai nei lininiai, lininiai / medvilniniai ir kanapiniai / medvilniniai kilpiniai audiniai. Kilpinio audinio masė iš esmės nulemia pasiūtų iš šių audinių drabužių masę. Audiniai, pasižymintys didesniu paviršiniu tankiu, yra mažiau laidūs orui (rezultatai 3.3.2.2 posk.), tačiau jie būna šiltesni ir storesni. Sunkūs drabužiai yra nepatogūs dėvėti, todėl audinio masė svarbi ne tik vartotojui, bet ir gamintojui, nes tai tiesiogiai susiję su audinio kaštais. Antra vertus, itin smarkiai gaminio masės mažinti negalima, nes gali pablogėti kitos audinio savybės, taip pat audinio išvaizda (**3.4 pav.** a, b, e). Pavyzdžiui, kilpinių audinių, kurių ataudų tankumas mažesnis, pablogėja mechaninės savybės (rezultatai 3.3 posk.) – tokie audiniai sukeltų problemų vartotojui (gaminį dėvinti) ir gamintojui (gaminimo metu).

Patikrinus ramės / medvilninių kilpinių audinių eksperimento informatyvumą, gauta, kad informatyvūs yra $Zr_{4,512}$ – $Zr_{10,512}$ ir $Zr_{10,58-16}$ audiniai: nustatytas stiprus ryšys tarp audinio sandaros (kilpos aukščio ir ataudų tankumo) ir paviršinio tankio. Gauti aukšti apibrėžties koeficientai aprašant tiesinėmis lygtimis, kur apibrėžties koeficientas R^2 yra 0,9393 ($Zr_{4,512}$ – $Zr_{10,512}$) ir 0,9755 ($Zr_{10,58-16}$). Prognozavimo tikslumo analizė parodė, kad paviršinio tankio apskaičiuotosios reikšmės nuo eksperimentinių skiriasi nuo 0,7 iki 7,1 proc. Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių ir audinių (be kilpinio pūko) paviršinio tankio rezultatų statistinę analizę nustatyta,

kad jų santykinė atsitiktinė paklaida yra nuo 1,0 iki 8,3 proc., o variacijos koeficientas: nuo 1,0 iki 7,9 proc.

3.1.2. Kilpinių audinių siūlų sistemų procentinės sudėties rezultatai

Žalių (be apdailos) ramės / medvilninių kilpinių audinių siūlų sistemų procentinės sudėties priklausomybė nuo audinio sandaros. Siūlų sistemos procentinės sudėties (SPS) tyrimai buvo atlikti su visais disertacijos darbe tirtais kilpiniais audiniais, tačiau išsamesni SPS tyrimai aprašomi su ramės / medvilniniais (Zr) kilpiniais audiniais. Gauti ramės / medvilninių kilpinių audinių siūlų procentinės sudėties duomenys gali būti labai naudingi gamintojui apskaičiuojant kilpinių metmenų, pagrindo metmenų ir pagrindo ataudų kiekį audinyje, gaminant skirtingos sandaros kilpinius audinius. Literatūroje teigiama (Karahana ir kt., 2005), kad gamyboje apskaičiuojant kilpinių audinių siūlų procentinę sudėtį kilpiniams metmenims tenka po 70 proc., pagrindo metmenims ir ataudams po 15 proc. žaliavos. Tačiau šioje disertacijoje nagrinėjant ramės / medvilninius kilpinius audinius su skirtingais kilpų aukščiais ($Zr_{4,5_{12}} - Zr_{10,5_{12}}$) rasta, kad kilpiniai metmenys (KM) sudaro nuo 55,5 iki 68,8 proc., pagrindo metmenys (PM) – nuo 24,3 iki 15,8 proc. ir pagrindo ataudai (PA) – nuo 21,8 iki 14,2 proc. kilpinio audinio siūlų procentinės dalies. Gauti rezultatai rodo, kad, didėjant kilpos aukščiui, didėja KM siūlų procentinė dalis, o PM ir PA siūlų procentinė dalis, didėjant kilpos aukščiui, mažėja. Kiti tyrėjai taip pat gauna panašius rezultatus, pavyzdžiui, Karahanas ir kt. (2005) atliko medvilninių kilpinių audinių sandaros parametrų tyrimus ir nustatė, kad kilpiniai metmenys sudaro nuo 65,0 iki 79,0 proc. kilpinio audinio, priklausomai nuo audinio konstrukcijos ir kilpos aukščio (nuo 6,6 iki 11,2 mm). Šių medvilninių kilpinių audinių ataudų siūlų santykis svyravo nuo 15,0 iki 9,0 proc., o pagrindo metmenų – nuo 20,0 iki 11,0 proc. (Karahana ir kt., 2005).

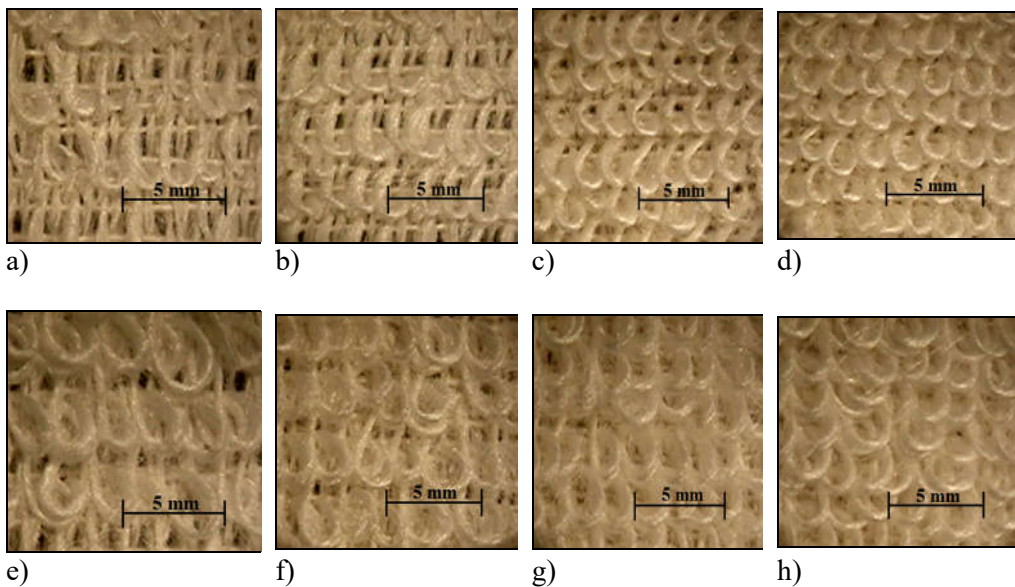


3.3 pav. Kilpinių metmenų siūlų procentinės dalies priklausomybė nuo ataudų tankumo ($Zr_{6_{8-16}}$ ir $Zr_{10,5_{8-16}}$)

Nagrinėjant ramės / medvilninių ($Zr_{4,5_{12}} - Zr_{10,5_{12}}$) kilpinių audinių siūlų sistemų procentinę sudėtį, nustatytos informatyvių rezultatų empirinės priklausomybės tarp kilpos aukščio ir siūlų procentinės sudėties (KM, PM, PA) aprašant rezultatus

įvairaus pobūdžio lygtimis. Pavyzdžiui, *KM* siūlų procentinės dalies tiesinės lygties koeficientas gautas $R^2 = 0,9066$.

Analizuojant ramės / medvilninių (*Zr6₈₋₁₆* ir *Zr10,5₈₋₁₆*) kilpinių audinių *SPS* nustatyta, kad ataudų tankumas (nuo 8 iki 16 cm⁻¹) taip pat turi įtakos siūlų procentinės sudėties rezultatams. Audinių *Zr6₈₋₁₆* variantų: *KM* sudaro nuo 54,8 iki 64,4 proc. audinio siūlų procentinės dalies, *PM* – nuo 27,2 iki 15,9 proc. ir *PA* – nuo 17,9 iki 19,9 proc. O nagrinėjamų audinių *Zr10,5₈₋₁₆* variantų kilpiniai metmenys sudaro patį didžiausią *SPS* dalį, palyginti su visais ramės / medvilniniais kilpiniais audiniais, t. y. nuo 66,3 iki 74,4 proc., o šių kilpinių audinių pagrindo metmenys ir pagrindo ataudai sudaro mažiausią *SPS* dalį – nuo 20,5 iki 11,4 proc. (*PM*) ir nuo 13,2 iki 15,8 proc. (*PA*), keičiantis ataudų tankumui. Gauti rezultatai rodo, kad, ramės / medvilninių kilpinių metmenų siūlų procentinei dalei didėjant, pagrindo metmenų siūlų procentinė dalis mažėja, o pagrindo ataudų siūlų procentinė dalis didėja, didėjant ataudų tankumui audinyje. Kilpinių audinių *Zr6₈₋₁₆* ir *Zr10,5₈₋₁₆* variantų *KM* siūlų procentinės dalis galima aprašyti matematiškai, nes gauti aukšti apibrėžties koeficientai: $R^2 = 0,8290 - 0,9080$ (**3.3 pav.**).



3.4 pav. Kilpinių audinių *Zr* variantai su skirtingu ataudų tankumu, kurių kilpos aukštis 6 mm: a) 8 cm⁻¹, b) 10 cm⁻¹, c) 14 cm⁻¹, d) 16 cm⁻¹; kurių kilpos aukštis 10,5 mm: e) 8 cm⁻¹, f) 10 cm⁻¹, g) 14 cm⁻¹, h) 16 cm⁻¹

Prognozuojant kilpinių metmenų siūlų procentinę dalį, apskaičiuotos reikšmės buvo lyginamos su eksperimentinėmis, kur nustatytas iki 5,2 proc. skirtumas.

Atlikus visų ramės / medvilninių kilpinių audinių siūlų procentinės sudėties rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad audinių santykinė atsitiktinė paklaida yra nuo 0,6 iki 4,4 proc.

Lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių siūlų sistemų procentinės sudėties priklausomybė nuo audinio sandaros ir poveikio / apdailos būdo. Atliekant lininių lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių kilpinių audinių siūlų procentinės sudėties tyrimus nustatyta, kad kilpiniai metmenys sudaro nuo 60,1 iki 76,9 proc., pagrindo metmenys nuo 9,1 iki 16,7 proc. ir pagrindo ataudai nuo 13,5 iki 23,6 proc., priklausomai nuo kilpos aukščio (6, 9 ir 12 mm), pluoštinės sudėties ir atlikto poveikio / apdailos kiekio (**1 priedas, 1.1 lent.**). Išsamesni siūlų sistemos procentinės sudėties tyrimai atlikti tik su kilpiniais metmenimis (*KM*).

Atlikti lininių / medvilninių (*a*, *e*) kilpinių audinių su nebalintais lininiais kilpiniais metmenimis *KM* siūlų procentinės dalies rezultatai rodo, kad kilpiniai metmenys sudarė nuo 66,7 iki 76,9 proc., priklausomai nuo atlikto poveikio / apdailos būdo ir kilpos aukščio. Nagrinėjant *KM* siūlų procentinės dalies rezultatus buvo pastebėta, kad audinių su šlapiąja apdaila (*P*, *M*, *T*) rezultatai buvo daug mažesni negu audinių be minėtos apdailos (*Z*, *V*, *S*). Manoma, kad, atliekant audinių apdailą su plovikliais, minkštikliais, taip pat su specialiais apdailos įrenginiais (kalandrai, tumblerinė džiovyklė ir kt.), iš pluošto pasišalina daugiau pavienių plaukelių, todėl pluoštas tampa lengvesnis. Analizuojant lininius / medvilninius (*b*) kilpinius audinius su balintais lininiais kilpiniais metmenimis gauta, kad *KM* siūlų procentinė dalis buvo nuo 60,1 iki 71,2 proc., priklausomai nuo atlikto poveikio / apdailos būdo ir kilpos aukščio. Gauti rezultatai patvirtina apdailos įtaką siūlų procentinei sudėčiai. Taip pat audinių, kurių kilpiniai metmenys buvo balinti, *KM* siūlų procentinės dalies rezultatai mažesni negu audinių su nebalintais kilpiniais metmenimis.

Žali lininiai (*c*) ir kanapiniai / medvilniniai (*k*) kilpiniai audiniai pasižymi didesne absorbcine geba (3.2.1 posk.), palyginti su ramės / medvilniniais ar lininiais / medvilniniais kilpiniais audiniais, nes žalių lininių ir kanapinių / medvilninių kilpinių metmenų siūlų procentinė sudėtis yra didesnė, t. y. 71,1 proc.

Atlikus lininių (*c*), lininių / medvilninių (*a*, *b*, *e*) ir kanapinių / medvilninių (*k*) audinių kilpinių metmenų siūlų procentinės sudėties rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad santykinė atsitiktinė paklaida buvo iki 1,6 proc.

Kilpinių audinių paviršinio tankio ir siūlų sistemų procentinės sudėties skyriaus apibendrinimas. Remiantis atliktais kilpinių audinių paviršinio tankio ir siūlų sistemos procentinės sudėties tyrimais, galima tiksliau apskaičiuoti gamybos žaliavos resursus. Taip pat gautais rezultatais galima paaiškinti kai kurias fizikines ir mechanines savybes.

Nagrinėjant ramės / medvilninių kilpinių audinių paviršinio tankio priklausomybę nuo audinio sandaros matyti, kad paviršinis tankis didėjo, didėjant kilpinio audinio kilpoms nuo 274,8 iki 441,9 g/m² ir ataudų tankumui nuo 230,4 iki 574,2 g/m². Nagrinėjant ramės / medvilninių kilpinių audinių siūlų procentinę sudėtį nustatyta, kad kilpiniai metmenys sudaro nuo 54,8 iki 74,4 proc., o pagrindo metmenys – nuo 11,4 iki 27,2 proc. ir pagrindo ataudai – nuo 13,2 iki 21,8 proc. kilpinio audinio, keičiantis kilpos aukščiui nuo 4,5 iki 10,5 mm ir ataudų tankumui nuo 8 iki 16 cm⁻¹. Didėjant kilpai ir ataudų tankumui, didėja kilpinių metmenų siūlų procentinė dalis audinyje. Prognozavimo tikslumo analizė parodė, kad ramės / medvilninių kilpinių

audinių apskaičiuotosios paviršinio tankio ir kilpinių metmenų siūlų procentinės dalies reikšmės yra artimiausios eksperimentinėms ir neviršija 7,1 proc.

Nagrinėjant lininių, lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių kilpinių audinių siūlų procentinę sudėtį gauta, kad kilpiniai metmenys sudaro nuo 60,1 iki 76,9 proc., pagrindo metmenys sudaro nuo 9,1 iki 16,7 proc. ir pagrindo ataudai nuo 13,5 iki 23,6 proc. audinio sudėties. Tyrimai parodė, kad kilpinių audinių siūlų procentinei sudėčiai reikšmingiausią įtaką turi kilpos aukštis ir atlikta audinių apdaila, t. y., apdailos kiekiui didėjant, kilpinių metmenų siūlų procentinė dalis mažėja, o, kilpos aukščiui didėjant, kilpinių metmenų siūlų procentinė dalis didėja.

3.2. Kilpinių audinių fizikinių tyrimų analizė

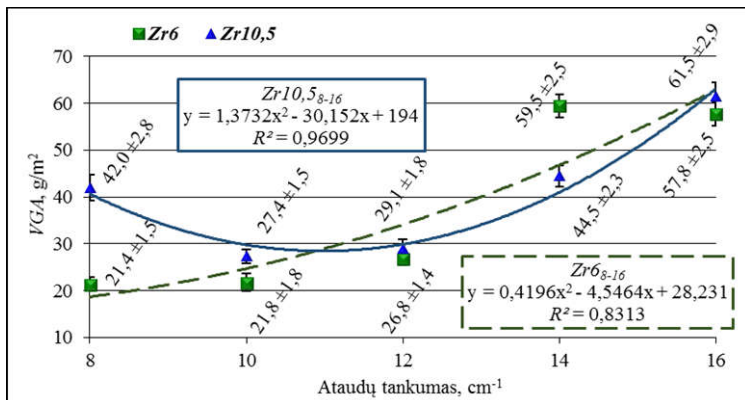
3.2.1. Kilpinių audinių vandens garų absorbcijos tyrimai

Kilpiniai audiniai dažniausiai naudojami namų tekstilės gaminiams, todėl viena iš svarbiausių šių audinių savybių yra statinė ir dinaminė vandens absorbcija (Karahan ir kt., 2005). Nustatyta, kad, didėjant medvilninių kilpinių audinių tankumui, statinė vandens absorbcija mažėja, tačiau, didėjant kilpos aukščiui, vandens absorbcija didėja. Vadinasi, statinei vandens absorbcijai kilpos aukštis turi tiesioginę įtaką (Karahan, 2007; Karahan, Eren, 2006). Absorbcijos metu yra svarbu ne tik tai, kiek vandens yra absorbuojama, bet ir laikas, per kurį tekstilės medžiaga absorbuoja skystį, t. y. dinaminė vandens absorbcija. Frontczak-Wasiak ir Snycerski (2004), tyrę kilpinius audinius, pabrėžė, kad vandens absorbciją didina kilpos, suformuotos audinio paviršiuje, ir didesnis audinio tankumas (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004), t. y. audinių dinaminis absorbcijos procesas kilpiniuose audiniuose pirmiausia priklauso nuo audinio sandaros. Taip pat yra ištirta, kad skysčio judėjimui per tekstilės medžiagą didelę reikšmę turi medžiagos paviršinis tankis, audinio storis ir medžiagos aktyumas.

Absorbcija yra labai svarbus reiškinys, kuris aktualus norint garantuoti dėvėjimo komfortą. Ypač dėvint drabužius šiltose ir drėgnose patalpose, pavyzdžiui, vonios kambaryje, saunoje, pirtyje, taip pat svarbus medicinai (Das ir kt., 2007; Petrulytė, 2008). Kilpiniams audiniams yra svarbu ne tik sugeriamas vandens kiekis / laikas, bet ir vandens garų absorbcija. Šioje disertacijoje, siekiant nustatyti kilpinių audinių vandens garų absorbciją, buvo ištirta įvairios sandaros, pluoštinės sudėties (ramės / medvilninių, lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių), taip pat skirtingais poveikiais / apdaila paveikti kilpiniai audiniai.

Žalių (be apdailos) ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens garų absorbcijos priklausomybė nuo audinio sandaros. Daugelis tyrėjų tvirtina, kad audinio sandara turi reikšmingą poveikį kilpinių audinių statinei vandens absorbcijai. Didėjant žalio audinio kilpos aukščiui, didėja ir audinio paviršinis tankis, o tai lemia statinės absorbcijos didėjimą; didėjant ataudų ir metmenų tankumui, statinė absorbcija mažėja (Karahan, Eren, 2006; Petrulytė, Baltakytė, 2009). Tokias tendencijas patvirtina ir šiame darbe atlikti ramės / medvilninių kilpinių audinių su skirtingu ataudų tankumu ir kilpos aukščiu vandens garų absorbcijos (VGA) tyrimai.

Iš **3.5 pav.** matyti, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr6$ variantų, esant 8–14 cm^{-1} ataudų tankumui, vandens garų absorbcija padidėjo nuo 21,4 iki 59,5 g/m^2 . Taigi gautas net 64,0 proc. VGA padidėjimas, lyginant mažiausiai ir daugiausia vandens garų absorbavusius audinius. Nustatyta, kad vandens garų absorbcija didėja, didėjant ataudų tankumui. Tačiau, esant 16 cm^{-1} ataudų tankumui, vandens garų absorbcijos kiekis šiek tiek sumažėjo. Šį atvejį galima paaiškinti tuo, kad, esant didesniai ataudų tankumui, audinio kilpos išsidėsto viena prie kitos, tuo sudarydamos mažai pralaidų vandens garams audinio paviršių (didelio tankumo audinio sandaros variantas pateiktas **3.4 pav.**(d)), todėl toks kilpinis audinys sugeria vandens garus tik kilpų paviršiumi.



3.5 pav. Kilpinių audinių $Zr6_{8-16}$ ir $Zr10,5_{8-16}$ variantų vandens garų absorbcijos priklausomybė nuo ataudų tankumo

Kilpinių audinių, kurių kilpos aukštis 10,5 mm, VGA kito nuo 42,0 iki 61,5 g/m^2 , keičiant ataudų tankumą nuo 8 iki 16 cm^{-1} . Iš **3.5 pav.** matyti, kad audinių $Zr10,5$ vandens garų absorbcija, esant 8 cm^{-1} ataudų tankumui, buvo 53,3 proc. didesnė nei 10 cm^{-1} ataudų tankumą turinčio kilpinio audinio. Manoma, kad daugiausia vandens garų sugeria medvilniniai verpalai, kurie sudaro kilpinio audinio pagrindą. Todėl, esant mažesniai ataudų tankumui, kilpos iki galo neuždengia audinio pagrindo (**3.4 pav.** e). Toks audinys gali laisvai absorbuoti vandens garus visu kilpinio audinio pagrindu. Karahan ir Eren (2006) taip pat patvirtina, kad medvilninio kilpinio audinio pluoštinė sudėtis yra vienas iš svarbiausių veiksnių, keičiančių audinių statinę vandens absorbciją. Nagrinėjant audinių $Zr10,5$ variantus, kurių ataudų tankumas nuo 10 iki 16 cm^{-1} , ir juos lyginant tarpusavyje, gauta net 55,4 proc. VGA padidėjimas. Taigi matyti, kad, toliau didinant ataudų tankumą, vandens garų absorbcija intensyviai didėja. Manoma, kad tam jau svarbią įtaką turi didelės kilpinio audinio kilpos (10,5 mm), kurių taip pat daugėja esant didesniai ataudų tankumui.

Lyginant audinių $Zr6_{8-16}$ ir $Zr10,5_{8-16}$ rezultatus matyti, kad didesne vandens garų absorbcija pasižymi 10,5 mm kilpas turintys audiniai. Didžiausias skirtumas nustatytas esant 8 cm^{-1} ataudų tankumui: $Zr10,5_8$ varianto VGA didesnė net 96,3 proc., palyginti su $Zr6_8$ variantu. Analizuojant kilpinius audinius, kurių kilpos aukštis 6 ir 10,5 mm, tikslinga rezultatus aprašyti matematiškai polinomineis lygtimis,

kurių gauti apibrėžties koeficientai: $R^2 = 0,8313 - 0,9699$ (**3.5 pav.**). O prognozavimo tikslumo analizė parodė, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr10,5_{8-16}$ variantų apskaičiuotos vandens garų absorbcijos reikšmės yra artimesnės eksperimentinėms nei $Zr6_{8-16}$ variantų.

Karahan ir Eren (2006) teigia, kad medvilninių kilpinių audinių ataudų tankumo padidėjimas nulemia didesnį vandens absorbcijos didėjimą nei metmenų tankumo didėjimas (Karahan, Eren, 2006). Tai, kad vandens garų absorbcijos didėjimas priklauso nuo ataudų tankumo didėjimo, įrodo atlikti tyrimai su ramės / medvilniniais audiniais be kilpinio pūko – R_{8-16} . Gauti rezultatai rodo, kad vandens garų absorbcija didėja nuo 15,2 iki 48,5 g/m², keičiant ataudų tankumą nuo 8 iki 16 cm⁻¹. Taip pat rezultatus galima aprašyti polinominiu empiriniu lygtimi, kuri parodo matematinį ryšį tarp ataudų tankumo ir vandens garų absorbcijos. Gautas aukštas apibrėžties koeficientas ($R^2 = 0,8678$) rodo, kad nustatytas ryšys yra stiprus. Tai patvirtina, kad, kuo ataudų tankumas didesnis, tuo audinys gali daugiau sugerti vandens garų.

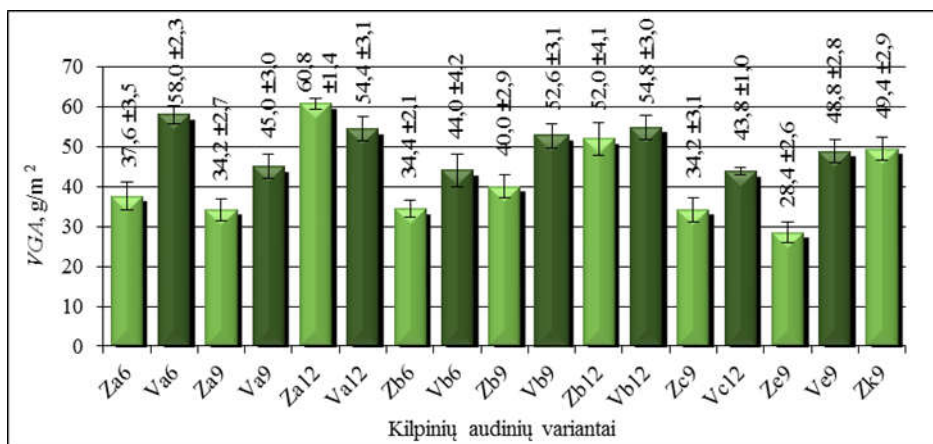
Nustatyta, kad vandens garų absorbcija didėja, didėjant ramės / medvilninių kilpinių audinių kilpos aukščiui. Tai patvirtino ir kito straipsnio (Karahan, Eren, 2006; Petrulytė, Baltakytė, 2009) autoriai, kurie nustatė, kad statinė absorbcija turi tendenciją didėti, didėjant kilpos aukščiui, nes didėja audinio paviršinis tankis. Šiame darbe buvo atlikti ramės / medvilninių kilpinių audinių tyrimai su 12 cm⁻¹ ataudų tankumu ($Zr4,5_{12} - Zr10,5_{12}$), esant skirtingam kilpos aukščiui. Rezultatai parodė, kad vandens garų absorbcija padidėjo nuo 24,5 g/m² iki 58,0 g/m², 4,5–9 mm kilpos aukštį turinčių kilpinių audinių. Lyginant tarpusavyje minėtus audinių variantus gauta, kad VGA padidėjo iki 57,8 proc. Rezultatai taip pat rodo, kad kilpinio audinio su 10,5 mm kilpos aukščiu VGA sumažėjo iki 29,1 g/m². Manoma, kad tam įtakos turėjo didelės 10,5 mm kilpos, kurios dėl didelio kilpos aukščio ir ramės verpalo pūkuotumo padengia visą audinio paviršių, todėl vandens garams yra sunkiau prasiskverbti į kilpinio audinio pagrindą (**3.1 pav. e**). Gauti rezultatai rodo, kad iš pradžių vandens garų absorbcija mažėjo, o vėliau vandens garų absorbcija padidėjo. Taip pat ir Boguslawska-Bączek, Hes (2013) teigia, kad, didėjant vilnonio audinio paviršiaus masei, santykinis vandens garų pralaidumas mažėja nuo 74,50 iki 51,50 g/m². Vandens garų atsparumas, didėjant audinio paviršiniam tankiui, padidėjo nuo 2,20 iki 5,50 g/m² (Boguslawska-Bączek, Hes, 2013).

Atlikus visų ramės / medvilninių audinių vandens garų absorbcijos rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad variacijos koeficientas yra iki 6,9 proc., o santykinė paklaida siekia iki 8,3 proc.

Žalių ir vilgytų lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių vandens garų absorbcijos priklausomybė nuo audinio sandaros ir vandens poveikio. Atlikus lininių / medvilninių $Za6 - Za12$ žalių (be apdailos) kilpinių audinių tyrimus matyti, kad vandens garų absorbcija kito nuo 37,6 iki 60,8 g/m² (**3.6 pav.**). Daugiausia vandens garų absorbuoja audinys, turintis 12 mm kilpas. Šio audinio VGA yra 77,8 proc. didesnė, palyginti su vidutinės kilpas turinčiu audiniu. Taip pat Petrulytė ir Baltakytė (2009), tirdamos žalius lininius / medvilninius kilpinius audinius, nustatė, kad statinė vandens absorbcija turi tendenciją didėti, didėjant kilpos aukščiui, t. y. kilpinių audinių su nebalinto lino 12 mm kilpomis statinė ab-

sorbcija yra 1,2 karto didesnė, palyginti su audinių, turinčių 9 mm kilpas, vandens absorbcija (Petrulytė, Baltakytė, 2009). Lyginant tarpusavyje vilgytus vandenys audinių *Va6–Va12* variantus gauta, kad daugiausia vandens garų sugėrė 6 mm kilpos aukštį turintis audinys – 58,0 g/m², t. y. 28,0 proc. daugiau nei turintys vidutines kilpas.

Žalių lininių / medvilninių su balinto lino verpalų kilpomis *Zb6–Zb12* variantų vandens garų absorbcija padidėjo nuo 34,4 iki 52,0 g/m², t. y. 51,2 proc., lyginant *Zb12* su *Zb6* variantais. Po vilgymo procedūros gauta, kad *Vb6–Vb12* variantų vandens garų absorbcija padidėjo nuo 44,0 iki 54,8 g/m², t. y. tik 24,5 proc., lyginant *Vb12* su *Vb6* variantus (**3.6 pav.**). Taigi rezultatai rodo, kad vilgytų audinių *VGA* didėjimas ne toks ryškus, kaip žalių (be apdailos) kilpinių audinių, esant skirtingiems kilpų aukščiams.



3.6 pav. Žalių (be apdailos) ir vilgytų kilpinių audinių *Za6–Za12*, *Va6–Va12*, *Zb6–Zb12*, *Vb6–Vb12*, *Zc9*, *Vc12*, *Ze9*, *Ve9* ir *Zk9* variantų vandens garų absorbcija

Vilgymas yra pasyvi procedūra. Ja paveikti kilpiniai audiniai patiria trumpalaikį vandens poveikį, tačiau audinių vilgymas turi įtakos vandens garų absorbcijos rezultatams. Atlikti tyrimai parodė, kad vilgyti kilpiniai audiniai gali sugerti nuo 5,4 iki 54,3 proc. daugiau vandens garų nei žali (be apdailos) audiniai. Šią tendenciją pastebėjo ir tyrėjos (Baltakytė, 2009; Petrulytė, Baltakytė, 2009), kurios, tirdamos vilgytų kilpinių audinių statinę vandens absorbciją, nustatė, kad ji padidėjo nuo 7,0 iki 48,4 proc., palyginti su žaliais audiniais. Taigi ir menkas skysčio poveikis turi įtakos verpalų ir audinių sandaros bei fizikinių savybių pokyčiams, palyginti su nepaveiktais verpalais ar audiniais.

Tikslinga tarpusavyje lyginti skirtingų pluoštinių sudėčių kilpinius audinius, paveiktus vienoda apdaila. Ši analizė labai svarbi ir vartotojui, nes išgydamas prekę jis atsižvelgia ne tik į gaminio paskirtį, bet ir į estetines audinio ypatybes ir išvaizdą (audinio grifą). Audinio grifas – kompleksinis gaminio įvertinimas pagal lietimo pojūtį (audinio purumas, švelnumas, šiurkštumas, tvirtumas ir kt.) (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004, Grinevičiūtė ir kt., 2005). Beje, autoriai teigia, kad ši audinio ypatybė labai subjektyvi, nes kiekvienas žmogus gali skirtingai apibūdinti au-

dinio lietimą pojūčius. Taip pat vieni vartotojai teikia pirmenybę minkštiesiems kilpiniams audiniams (<http://www.agrupe.lt>), šie audiniai po šlapiosios apdailos būna specialiai džiovinti – tumbleruoti (džiovinti vartojamuoju džiovintumu). Kitiems vartotojams labiau patinka šiurkštūs audiniai, masažuojamąjį poveikį turintys audiniai, šie audiniai yra gaminami iš natūralių pluoštų be jokios apdailos.

Manoma, kad kilpinių audinių grifą nulemia ir jų pluoštinė sudėtis, siūlų apdaila, o pastarosios ypatybės siejasi su įvairiomis fizikinėmis medžiagų savybėmis. Tai, kad pluoštinė sudėtis turi įtakos vandens garų absorbcijai, rodo šio darbo metu atlikti tyrimai. Pavyzdžiui, lyginant lininį audinio *Zc9* variantą su lininiu / medvilniniu audinio *Zb9* variantu nustatyta, kad *VGA* yra didesnė 14 proc. lininio / medvilninio kilpinio audinio. Tam galėjo turėti įtakos ne tik skirtinga pluoštinė sudėtis, bet ir audinio *Zb9* varianto kilpiniai metmenys, kurie yra balinti lininiai verpalai. Lyginant lininį žalią (be apdailos) audinio *Zc9* variantą su lininiu / medvilniniu audinio *Za9* variantu matyti, kad jų vandens garų absorbcija yra vienoda: po 34,2 g/m². Minėtų audinių kilpos yra tos pačios pluoštinės sudėties, kilpos statmenos audinio pagrindui ir gerai geba sugerti vandens garus savo paviršiumi. Tačiau lyginant vilgytą lininį audinio *Vc12* variantą su lininiu / medvilniniu audinio *Val2* variantu matyti, kad 19,5 proc. daugiau vandens garų sugėrė mišriapluostis audinys. Čia vandens garų daugiau absorbavo audinys, kurio audinio pagrindas yra medvilnės verpalai, t. y. *Val2* variantas. Kilpiniai audiniai su kanapės pluoštu pasižymėjo labai gera vandens garų absorbcija – 49,4 g/m² (**3.6 pav.**). Lyginant kanapinį / medvilninį audinio *Zk9* variantą su lininiais / medvilniniais *Za9*, *Zb9*, *Ze9* ir lininiais *Zc9* kilpinių audinių variantais nustatyta, kad vandens garų daugiausia absorbavo audinys su kanapiniais kilpiniais verpalais: nuo 23,5 iki 73,9 proc. Apibendrinant galima teigti, kad kilpinių audinių vandens garų absorbcijai turi įtakos ne tik atlikta kilpiniams audiniams poveikio / apdailos procedūra, kilpos aukštis, bet ir pluoštinė sudėtis. Kiti autoriai (Boguslawska-Bączek, Hes, 12013) taip pat teigia, kad nuo audinių pluoštinės sudėties (vilna / viskozė, vilna / PES) priklauso vandens garų absorbcijos rezultatai: sudėtyje sumažinus vilnos pluošto mišinio, gebėjimas perduoti vandens garus sumažėja.

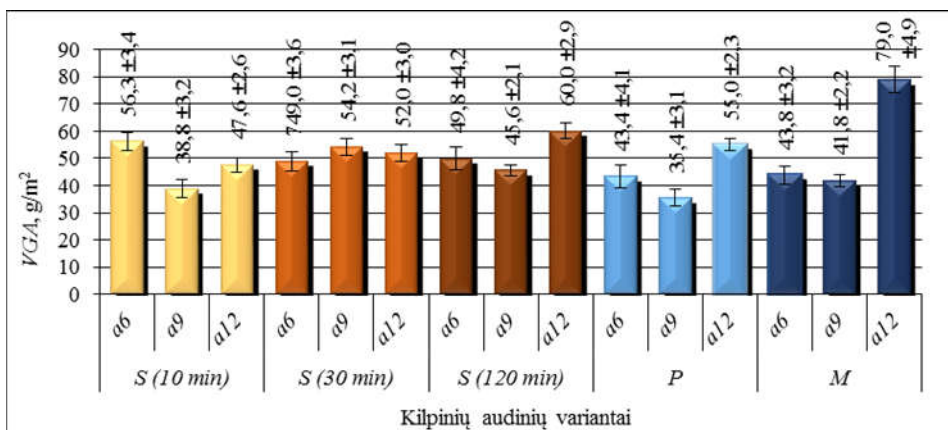
Vandens garų absorbcijos rezultatų statistinė analizė rodo, kad žalių (be apdailos) ir vilgytų vandeniu audinių (*a*, *b*, *c*, *e* ir *k* variantų) variacijos koeficientas svyravo nuo 1,8 proc. iki 7,7 proc., o šių variantų santykinė paklaida yra 2,3–9,5 proc.

Skalbty (be ploviklio), skalbtų su plovikliu ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu kilpinių audinių vandens garų absorbcijos priklausomybė nuo audinio sandaros ir poveikio / apdailos būdo. Tekstilės audinių apdaila atliekama labai įvairiais būdais, vienas iš jų – pramoninis skalbimas. Skalbant pramoniniu būdu yra labai svarbu žinoti, kaip audinį veikia vienoks ar kitoks skalbimas, kad tai nepablogintų baigtos produkcijos kokybės (Jucienė ir kt., 2006). Skalbant pramoniniu būdu kilpiniai audiniai patiria vandens, mechaninį, šilumos ir cheminį poveikį – tai turi įtakos audinio sandarai. Netgi paprasta skalbimo operacija, nenaudojant jokių cheminių medžiagų, keičia kilpos formą ir išvaizdą.

Siekiant ištirti vandens garų absorbcijos procesą, ištirti kilpiniai audiniai, kurie buvo skalbti vandeniu skirtingą laiko trukmę 10, 30 ir 120 min. (*S*), skalbti su plo-

vikliu (*P*) ir skalbti su plovikliu / minkštinti (*M*), be to, audiniai skyrėsi kilpos aukščiu (6, 9 ir 12 mm) ir pluoštine sudėtimi (*a*, *b*, *c*, *e* ir *k*).

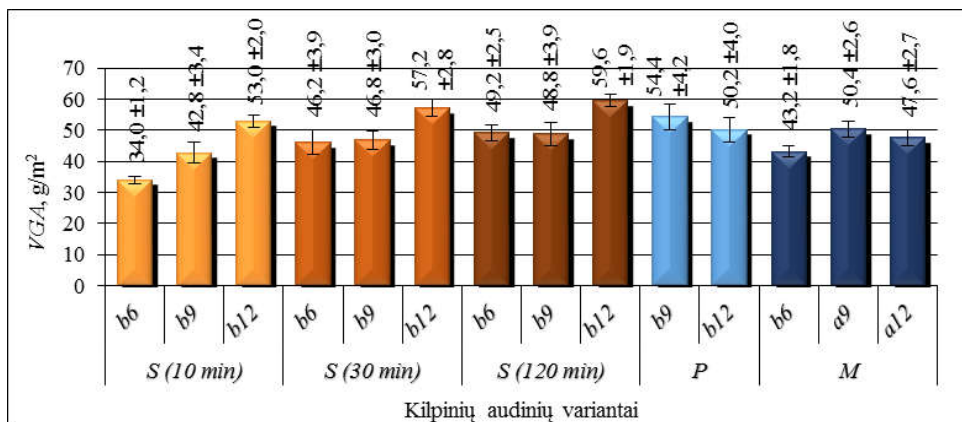
Skalbimas yra dažniausiai taikoma kilpinių audinių apdailos procedūra, kurios metu nenaudojamos cheminės medžiagos. Lyginant kilpinius audinius su nebalintais kilpiniais metmenimis (*a*), skalbtais vandenyje 10 min. laiko intervalu, matyti, kad daugiausia vandens garų absorbuoja audinys, kurio kilpos aukštis 6 mm, – 56,6 g/m², t. y. 45,9 proc. daugiau, palyginti su mažiausiai absorbavusiu variantu (**3.7 pav.**). Po 30 min. skalbimo vandenyje daugiausia vandens garų absorbuoja audinys su 9 mm kilpomis: iki 54,2 g/m². Pažymėtina tai, kad *Sa*³⁰ audinių variantų, esant skirtingam kilpų aukščiui, *VGA* kinta statistiškai nereikšmingai. Analizuojant kilpinius audinius, kurie buvo skalbti vandenyje 120 min., daugiausia vandens garų absorbuoja 12 mm kilpas turintis audinys (*Sa12*¹²⁰) – iki 60,0 g/m² (31,6 proc. daugiau, palyginti su *Sa9*¹²⁰ variantu). Tai didžiausias iš visų nagrinėjamų audinių *Sa* variantų vandens garų absorbcijos kiekis. Tam galėjo turėti įtakos didžiausios audinio kilpos ir ilga skalbimo trukmė, po kurios audinio kilpų danga suminkštėjo, padidėjo tūris, tai ir galėjo nulemti didesnę vandens garų absorbcijos gebą. Kilpinio audinio apdailos ir kilpos aukščio įtaką statinei vandens absorbcijai patvirtina ir kiti tyrėjai (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004; Petrulytė, Baltakytė, 2009). Šiuose straipsniuose rašoma, kad svarbų vaidmenį statinės vandens absorbcijos dydžiui turi kilpos, kurios, patyrusios tam tikrą apdailą, gali pasižymėti didesne absorbcine geba.



3.7 pav. Kilpinių audinių *Sa6*¹⁰⁻¹²⁰, *Sa9*¹⁰⁻¹²⁰, *Sa12*¹⁰⁻¹²⁰, *Pa6*–*Pa12*, *Ma6*–*Ma12* variantų vandens garų absorbcija

Pramoninis skalbimas su plovikliu (*Pa*) ir skalbimas su plovikliu / minkštintimas (*Ma*) kur kas labiau pakeičia audinio sandarą negu skalbimas vandenyje. Šių apdailos operacijų metu yra naudojamos cheminės medžiagos, po tokios apdailos audinio sandara smarkiai pasikeičia. Taip pat reiktų pažymėti, kad pramoniniu skalbimo metu audinį veikia ne tik cheminės medžiagos, bet ir temperatūra bei kiti mechaniniai procesai. Tai lemia ir fizikinių kilpinio audinio savybių pokyčius. Žinoma, šias apdailas vertina ir vartotojai, nes pagerėja audinio išvaizda, audiniui suteikiamas minkštumas ir purumas. Analizuojant audinių *Ma* ir *Pa* variantus, turinčius 6, 9 ir 12 mm kilpas, gauta, kad didžiausia *VGA* buvo audinių, turinčių 12 mm

kilpas, t. y. 55,0 (*Pa12*) ir 79,0 g/m² (*Ma12*) (**3.7 pav.**). Audiniai su vidutinėmis kilpomis vandens garų absorbavo mažiausiai. Gautas net 55,4 proc. (*Pa*) ir 89,0 proc. (*Ma*) vandens garų padidėjimas, palyginti su mažiausiai absorbavusiais variantais. Ypač ryškus vandens garų absorbcijos padidėjimas gautas tiriant kilpinio audinio *Ma12* variantą, kuris daugiausia absorbavo vandens garų, palyginti su visais nagrinėjamais *Sa*, *Pa* ir *Ma* variantais. Šis audinys yra daugiausia paveiktas apdailos operacijų ir turi didžiausias audinio kilpas. Taip pat, lyginant *Ma12* variantą su žaliu (be apdailos) *Za12*, gauta, kad vandens garų absorbcija padidėjo 29,9 proc. Manoma, kad *Pa* ir *Ma* kilpiniai audiniai yra paveikiami vandens, šilumos, mechaninių poveikių ir cheminių medžiagų, dėl to suminkštėja ir padidėja tūrio kilpinė danga, kuri geba sugerti daugiau vandens garų. Tai patvirtina ir kitų tyrėjų (Frontczak-Wasiak, Snyckerski, 2004), kurie nagrinėjo, kaip statinė vandens absorbcija priklauso nuo audinio sandaros ir apdailos procesų, gauti rezultatai. Jie teigia, kad po skalbimo procedūros audinių vandens absorbcija padidėja daugiau kaip 10 proc., palyginti su neskalbtais audiniais. Skalbiant iš audinio pašalinama smulkios priemaišos, audinio pūko danga tampa minkštesnė, audinys – pūkuotesnis, švelnesnis, tai lemia didesnę statinės absorbcijos gebą.

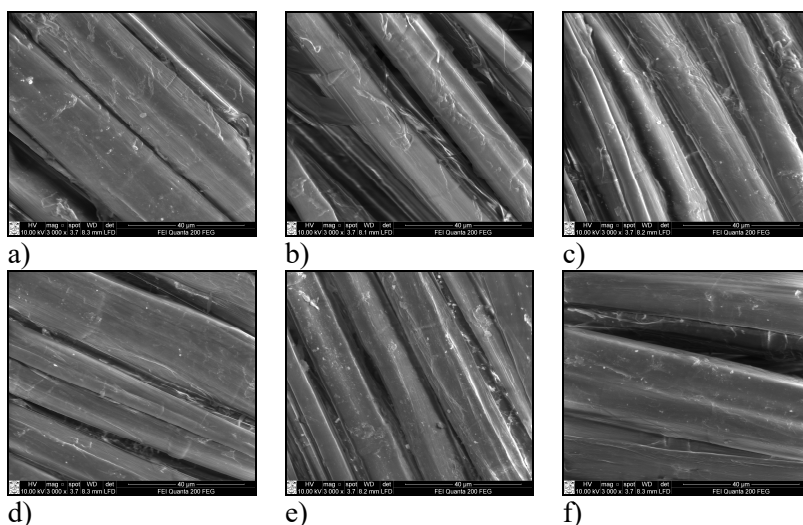


3.8 pav. Kilpinių audinių *Sb6*¹⁰⁻¹²⁰, *Sb9*¹⁰⁻¹²⁰, *Sb12*¹⁰⁻¹²⁰, *Pb9*, *Pb12*, *Mb6*–*Mb12* variantų vandens garų absorbcija

Nagrinėjant kilpinių audinių su balinto (*b*) lino verpalų kilpomis, skalbtų vandenįje 10, 30 ir 120 min. laiko intervalais, matyti, kad daugiausia vandens garų taip pat absorbuoja audiniai, turintys džiąusią kilpų aukštį – 12 mm (**3.8 pav.**). Gauti rezultatai patvirtina kitų tyrėjų išvadas, kad, didėjant audinio kilpos aukščiui, kartu didėjant audinio paviršiniam tankiui, didėja vandens absorbcijos geba (Baltakytė, 2009; Karahan, Eren, 2006). Šiame darbe nustatyta, kad audiniai, skalbti vandenįje 10 min. (*Sb*¹⁰), daugiausia absorbavo vandens garų, t. y. net 53,0 g/m² (*Sb12*¹⁰), palyginti su mažiausiu kilpos aukščiu, *VGA* padidėjo net 55,9 proc. Pailginus skalbimo vandenįje (*Sb*³⁰) trukmę iki 30 min., vandens garų absorbcija išlieka audiniuose su didžiausiomis kilpomis, *Sb12*³⁰ varianto iki 57,2 g/m², t. y. 23,8 proc. (palyginti su *Sb6*³⁰) ir po 120 min. skalbimo – *Sb12*¹²⁰ varianto *VGA* net 59,6 g/m², t. y. 21,0 proc. (palyginti su *Sb12*³⁰). Gauti rezultatai rodo, kad audinių *Sb* variantų vandens garų

absorbcija yra didžiausia, esant ilgiausiai skalbimo vandenyje trukmei ir esant didžiausioms audinio kilpoms.

Kilpinių audinių *Sb*, *Pb* ir *Mb* variantų kilpos sudarytos iš balinto lino verpalų. Pažymėtina tai, kad kilpiniai metmenų balinti verpalai (*b*) patiria dvigubą apdailą, t. y. jų balinimas atliekamas prieš kilpinio audinio gamybą. Antrą kartą – po audimo, taikant tam tikrą kilpinio audinio apdailą. Todėl audinių su balintais kilpiniais metmenimis vandens garų absorbcijos rezultatai gali skirtis nuo tos pačios rūšies (vienoda sandara, pluoštine sudėtis ir apdaila) audinių, kurių kilpinė danga iš nebalintų kilpinių metmenų. Taip pat ir iš *SEM* nuotraukų matyti, kad balintų kilpinių verpalų paviršius yra lygesnis ir švaresnis, palyginti su nebalintais verpalais (**3.9 pav.** a ir d). Baltakytė (2009) plačiai aprašo kilpinių audinių su balintais ir nebalintais kilpiniais metmenimis sandaros ir fizikines savybes. Ji teigia, kad, balinimo metu veikiant balikliui, iš pluošto pašalinamas ligninas, vaškas ir įvairios priemaišos, todėl padidėja verpaluose esančios ertmės, oro tarpai, per kuriuos gali praeiti didesnis oro srautas.



3.9 pav. Kilpinių audinių pluoštų paviršiaus vaizdas, *SEM* nuotraukos (40 μ m):

a) *Sa*³⁰, b) *Pa*, c) *Ma*, d) *Sb*³⁰, e) *Pb*, f) *Mb*

Toliau atliekant vandens garų absorbcijos kilpinių audinių, skalbtų su plovikliu (*Pb*), tyrimus nustatyta, kad didžiausia *VGA* pasižymėjo audinys, turintis 9 mm kilpas – iki 54,4 g/m², t. y. daugiau kaip 8,4 proc., palyginti su mažiausiai absorbavusiu *Pb* audiniu (**3.8 pav.**). Išskalbtų su plovikliu / minkštintų (*Mb*) audinių *VGA* buvo didžiausia, taip pat audinio, turinčio 9 mm kilpas – 50,4 g/m², daugiau kaip 16,7 proc. (palyginti su *Mb6* audiniu).

Tekstilės medžiagų perdirbimui ir tolesniam naudojimui ypatingą reikšmę turi pluoštų savybė sugerti vandenį ir vandens garus (Matukonis ir kt., 1976). Tai ypač aktualu kilpiniams audiniams, tačiau vandens garų absorbavimas priklauso ne tik nuo pluoštinės sudėties, bet ir nuo audinio apdailos būdo, apdailos trukmės, taip pat nuo sudedamųjų apdailos medžiagų. Tai rodo ir skirtingi audinių su balintais (*Pb*,

Mb) ir nebalintais (*Pa*, *Ma*) kilpiniais metmenimis vandens garų absorbcijos rezultatai. Išanalizavus *SEM* nuotraukas matyti, kad, esant balinto lino verpalų paviršiui, lygesniam ir švaresniam po verpalų balinimo, labiau išryškėja ploviklio / minkštiklio dalelės (**3.9 pav. e, f**) nei nebalinto lino verpalų (**3.9 pav. b, c**) paviršiuje.

Išanalizavus grynų lininių, lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių audinių, skalbtų vandenyje įvairiais laiko intervalais, vandens garų absorbcijos rezultatus matyti, kad daugiausia *VGA* audinių, kurie skalbti vandenyje 30 minučių. Taigi lininių kilpinių audinių (*Sc12*) vandens garų absorbcija, ilgėjant skalbimo trukmei nuo 10 iki 30 min., padidėjo iki 48,0 g/m². Lininių / medvilninių kilpinių audinių *Se9*¹⁰⁻¹²⁰ variantų *VGA* didėjo ilgėjant skalbimo trukmei (65,2 g/m²), tačiau, esant ilgiausiai skalbimo trukmei (120 min.), vandens garų absorbcija smarkiai sumažėjo.

Tokia pat tendencija buvo pastebėta išnagrinėjus audinius su kanapiniais kilpiniais metmenimis (*Sk9*¹⁰⁻¹²⁰), kur daugiausia vandens garų absorbavo kilpiniai audiniai po 30 min. skalbimo vandenyje (68,6 g/m²). Manoma, kad, skalbiant audinius vandenyje 10 ir 30 min., vandens garų absorbcija turi tendenciją didėti. Tačiau, skalbiant jau 120 min., iš pluošto paviršiaus pasišalina trumpi plaukeliai, kurie menkai įsitvirtinę, todėl padidėja audinio akytumas, ir audinys mažiau sugeria vandens garų.

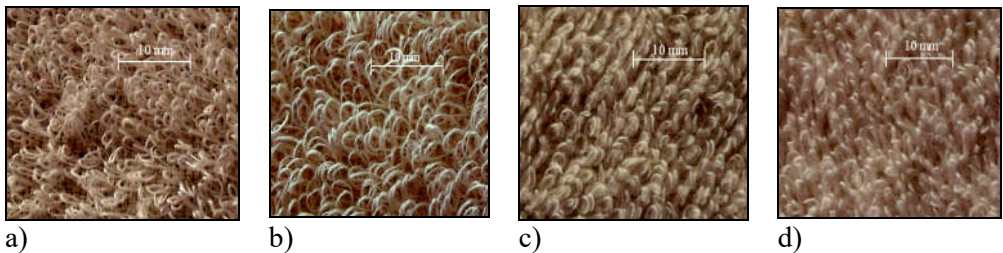
Skalbiant su plovikliu (*P*), taip pat su plovikliu / minkštikliu (*M*), kur kas labiau pakeičiama audinio sandara nei skalbiant vandenyje. Tai parodo lininio (*Pc12*) kilpinio audinio didesnis *VGA* rezultatas (49,2 g/m²) lyginant lininius kilpinius audinius, kurie nebuvo paveikti cheminėmis medžiagomis (*Vc12*, *Sc12*). Analizuojant lininių / medvilninių audinių *Pe9* ir *Me9* variantus nustatyta, kad audinio *Pe9* vandens garų absorbcija yra tik 16,5 proc. didesnė už audinio *Me9*. Tačiau, lyginant audinius *Pe9* ir *Me9* su žaliu (be apdailos) audiniu *Ze9*, gautas *VGA* atitinkamai didesnis iki 54,2 proc. Kanapinių / medvilninių kilpinių audinių *Mk9* vandens garų absorbcija buvo iki 55,8 g/m². Šio audinio *VGA* rezultatas didesnis taip pat už žalią (be apdailos) audinį ir net didesnis už skalbtus su plovikliu / minkštikliu / tumble ruotus (*Tk9*³⁰⁻¹⁵⁰) audinius įvairiais laiko intervalais. Taip pat ir kitų straipsnių (Baltakytė, 2009; Chatterjee, Singh, 2014) autoriai teigia, kad po intensyvesnių audinio poveikių / apdailos operacijų pasikeičia jo sandara. Pakinta akučių dydis ir išsidėstymas, ir tai turi įtakos skysčio judėjimui ir jo išsilaikymui siūluose.

Atlikus vandens garų absorbcijos rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad skalbtų įvairiais laiko intervalais, skalbtų su plovikliu ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu kilpinių audinių variacijos koeficientas iki 7,6 proc., o šių audinių santykinė paklaida – iki 9,4 proc.

Skalbtų su plovikliu / minkštikliu / kalandruotų ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumble ruotų kilpinių audinių vandens garų absorbcijos priklausomybė nuo audinio sandaros ir apdailos būdo. Daliai kilpinių audinių po skalbimo su plovikliu / minkštikliu buvo atlikta kalandravimo procedūra (*K*). Anandjiwala ir Boguslavsky (2008), Baltakytė (2009) akcentuoja pasikeitusią tekstilės medžiagų sandarą, nes po kalandravimo apdailos kinta akučių forma, ir tai lemia laidumo orui sumažėjimą, palyginti su žaliais (be apdailos) audiniais. Kalandravimo metu kilpiniai audiniai yra spaudžiami tarp dviejų karštų metalinių velenų, todėl kilpos prig-

lunda prie audinio pagrindo, sumažėja oro tarpai centrinėje kilpos dalyje, dėl to sumažėja kilpinių audinių laidumas orui (Anandjiwala, Boguslavsky, 2008; Baltakytė, 2009). Manoma, kad todėl sumažėja K kilpinių audinių vandens garų absorbcija – tai rodo šiame darbe atlikti tyrimai, kur kilpinių audinių $Ka9$ ir $Kb9$ variantų vandens garų absorbcija buvo $35,2 \text{ g/m}^2$ ir $37,4 \text{ g/m}^2$, t. y. ženkliai mažesni VGA rezultatai už patyrusių poveikį ar apdailą kilpinių audinių.

Buvo atlikta skalbtų su plovikliu / minkštintų kilpinių audinių tumbleravimo operacija (T). Šios operacijos metu audinys oro srautu purtomas ir sukamas pagal pasirinktą tumbleravimo laiko trukmę, t. y. 30, 60, 90, 120 ir 150 minučių. Po šlapiosios apdailos ir tumbleravimo audinių kilpos praranda taisyklingą formą, o pats audinys tampa purus ir minkštas, taip pat aiškiai matyti sandaros skirtumai, esant skirtingai tumbleravimo trukmei. Kaip matyti iš **3.10 pav.**, didžiausias skirtumas matomas lyginant skalbtus su plovikliu / minkštintus / tumbleruotus kilpinius audinius (c, d) su žaliais (be apdailos) kilpiniais audiniais (a, b), taip pat akivaizdus skirtumas tarp 6 ir 12 mm kilpų. Žalių kilpinių audinių kilpos yra taisyklingos formos, statmenos audinio pagrindui. T kilpinių audinių kilpos persisuka, persidengia, o, esant didelėms kilpoms, gali persisukti net į garankštį.



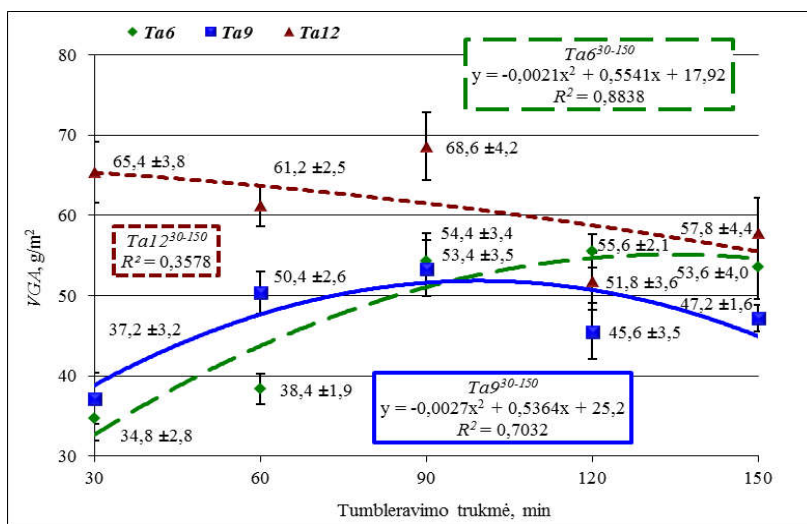
3.10 pav. Kilpinių audinių nuotraukos: a) $Zb6$, b) $Zb12$, c) $Tb6^{90}$, d) $Tb12^{90}$

Atlikus skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų kilpinių audinių vandens garų absorbcijos tyrimus ir esant informatyviam eksperimentui, tikslinga rezultatus aprašyti matematiškai. Kilpinių audinių Ta , Tb ir Te variantams nustatytos empirinės priklausomybės tarp tumbleravimo trukmės ir vandens garų absorbcijos, aprašant rezultatus antro laipsnio polinominėmis lygtimis, kur R^2 yra iki 0,8838 (**3.11** ir **3.12 pav.**). Šiomis lygtimis remiantis galima prognozuoti šių kilpinių audinių vandens garų absorbciją.

Analizuojant lininių / medvilninių audinių $Ta6$, $Ta9$ ir $Ta12$ variantų vandens garų absorbciją, priklausomą nuo kilpos aukščio, matyti, kad VGA rezultatai kinta ne tik nuo kilpos aukščio, bet ir nuo tumbleravimo trukmės – nuo 30 iki 150 minučių. Iš **3.11 pav.** matyti, kad didžiausia vandens garų absorbcija pasižymi $Ta12$ varianto audiniai, turintys 12 mm kilpas, t. y. $65,4\text{--}57,8 \text{ g/m}^2$, palyginti su 6 ir 9 mm kilpas turinčiais audiniais. Nors šis kilpinis audinys ($Ta12$) geba daugiausia absorbuoti vandens garų, tačiau dėl didelių VGA rezultatų svyravimų esant skirtingam tumbleravimo laikui gautas mažas apibrėžties koeficientas. O nagrinėjant audinius $Ta6$ ir $Ta9$ matyti, kad, didėjant tumbleravimo trukmei nuo 30 iki 90 min., VGA didėjo, t. y. net 59,8 proc. ($Ta6$) ir 43,5 proc. ($Ta9$), palyginti su 30 min. tumbleruotais audiniais. Tačiau po 90 min. tumbleravimo audinių $Ta6$ ir $Ta9$ variantų VGA sumažėjo.

Šių kilpinių audinių apibrėžties koeficientai gauti pakankamai geri ($R^2 = 0,8838$ ir $0,7032$) (**3.11 pav.**).

Manoma, kad kuo ilgiau kilpinis audinys yra tumbleruojamas, tuo jis tampa minkštesnis, todėl geba sugerti daugiau vandens garų. Tačiau, pernelyg ilgai tumbleruojant, iš audinio pradeda atsiskirti ir iškristi pavieniai labai trumpi plaukeliai, audinys retėja, todėl jo absorbcinė geba gali sumažėti. Ši tendencija yra pastebėta analizuojant ir kitus šlapiąja apdaila paveiktus ir tumbleruotus kilpinius audinius. Paminėtina ir tai, kad kilpiniai audiniai, kuriems atlikta tumbleravimo operacija, labai skiriasi nuo žalių (be apdailos) kilpinių audinių ne tik išvaizda, bet ir aukštesniais vandens garų absorbcijos rezultatais: lyginant po šlapiosios apdailos tumbleruotus audinių *Ta6* ir *Ta9* variantus su žaliais (be apdailos) audinių *Za6* ir *Za9* variantais gauta atitinkamai iki 47,9 proc. ir 56,1 proc. *VGA* padidėjimas.

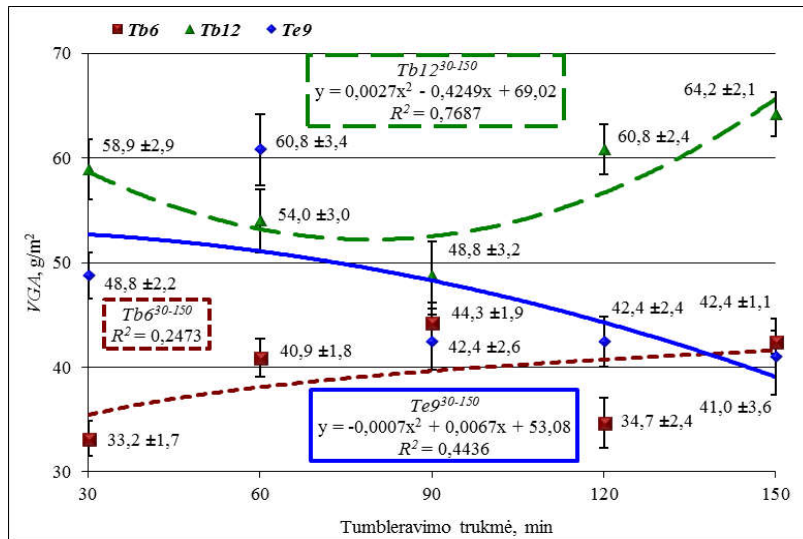


3.11 pav. Kilpinių audinių *Ta6*³⁰⁻¹⁵⁰, *Ta9*³⁰⁻¹⁵⁰ ir *Ta12*³⁰⁻¹⁵⁰ variantų vandens garų absorbcijos priklausomybė nuo tumbleravimo laiko

Skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų (**3.12 pav.**) kilpinių audinių *Tb6* ir *Tb12* variantų su balintais kilpiniais metmenimis analizė parodė, kad ir audiniai su 12 mm kilpomis absorbavo daugiausia vandens garų: lyginant *Tb12* su *Tb6* tarpusavyje, gauta nuo 10,2 iki 77,4 proc. vandens garų absorbcijos padidėjimas. Šie rezultatai rodo vandens garų absorbcijos proceso kitimą, priklausomą nuo tumbleravimo trukmės ir nuo kilpos aukščio. Audinio *Tb6* varianto rezultatai rodo, kad audinio *VGA* didėjo po nuo 30 iki 90 min. tumbleravimo, o nuo 90 min. *VGA* smarkiai sumažėjo. Tačiau dėl didelių vandens garų absorbcijos pokyčių tiriant audinį *Tb6* gauta maža tarpusavio vandens garų absorbcijos ir tumbleravimo trukmės priklausomybė. O audinio *Tb12* varianto vandens garų absorbcijos rezultatai yra atvirkštiniai *Tb6* variantui, t. y. vandens garų absorbcija mažėjo iki 90 min., o vėliau pradėjo sparčiai didėti. Taip pat *Tb12* varianto tarpusavio vandens garų absorbcijos ir tumbleravimo laiko priklausomybė aprašyta polinomine lygtimi, kurios apibrėžties koeficientas yra $R^2 = 0,7687$. Taip pat iš matematinių priklausomybių (**3.11** ir **3.12 pav.**)

atlikus prognozavimą gauta, kad kilpinių audinių $Tb12^{30-150}$ variantų apskaičiuotos vandens garų absorbcijos reikšmės yra artimiausios eksperimentinėms (iki 7,8 proc.).

Nagrinėjant kilpinių audinių $Te9$ variantus su nebalintais kilpiniais metmenimis matyti, kad, didėjant tumbleravimo trukmei nuo 30 iki 60 min., vandens garų absorbcija didėjo, tačiau tolimesni rezultatai rodo ryškų vandens garų sumažėjimą, t. y. iki 43,4 proc., palyginti su 90 min. tumbleruotu audiniu. Dėl didelių VGA pokyčių gautas vidutinis determinacijos koeficientas (3.12 pav.). Lyginant daugiausia vandens garų sugėrusio audinio $Te9^{60}$ variantą su žaliu (be apdailos) $Ze9$ variantu, gautas net iki 114,1 proc. vandens garų absorbcijos kiekio padidėjimas.



3.12 pav. Kilpinių audinių $Tb6^{30-150}$, $Tb12^{30-150}$, $Te9^{30-150}$ variantų vandens garų absorbcijos priklausomybė nuo tumbleravimo laiko

Lyginant tarpusavyje lininius / medvilninius kilpinius audinius su balintais audiniais kilpiniais metmenimis $Tb9$, kurie po šlapiosios apdailos buvo tumbleruoti 120 ir 150 min., matyti, kad daugiausia vandens garų absorbavo audinys, veiktas 150 min. tumbleravimu ($Tb9^{150}$). Manoma, kad tam turėjo įtakos balinti kilpiniai metmenys ir ilga tumbleravimo trukmė: audinys tapo minkštas, todėl galėjo daugiau sugerti vandens garų. Įdomu lyginti kilpinius audinius, kurių skirtinga pluoštinė sudėtis, pavyzdžiui, lininį / medvilninį $Tb9^{120}$ variantą ir lininį $Tc9^{120}$ variantą. Gauta, kad daugiausia vandens garų sugeria lininis kilpinis audinys – $Tc9^{120}$ (69,4 g/m²). Lyginant $Tc9^{120}$ su žaliu (be apdailos) variantu gauta, kad vandens garų absorbcija padidėjo labai daug – net iki 102,9 procentų. Analizuojant visus gautus skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų kilpinių audinių VGA rezultatus, šis minėtas variantas daugiausia iš visų absorbavo vandens garų. Manoma, kad tai nulėmė pluoštinė sudėtis (lininis) ir 9 mm kilpos aukštis. Atliekant įvairius fizikinius, mechaninius ir kitus bandymus su kilpiniais audiniais, buvo pastebėta, kad kilpiniai audiniai, turintys 9 mm kilpas, pasižymi labai išskirtiniais rodikliais. Tai patvirtina

Baltakytės (2009) tyrimo išvados. Manoma, kad tai lemia vidutinio dydžio (9 mm) kilpos, kurios yra statmenos audinio pagrindui, todėl gali sugerti vandens garus visu savo paviršiumi.

Nagrinėjant lininius kilpinius audinius su 12 mm kilpomis (*Tc12*) gauta, kad daugiausia vandens garų absorbuoja audinys, kuris buvo tumbleruotas 120 min. – 55,2 g/m², o mažiausiai vandens garų absorbuoja audiniai, kurie buvo tumbleruoti trumpiausiai (30 min.) ir ilgiausiai (150 min.). Manoma, kad kuo ilgiau kilpinis audinys yra tumbleruojamas, tuo jis tampa minkštesnis, todėl gali daugiau sugerti vandens garų. Tačiau pernelyg ilgai tumbleruojant iš audinio pradeda kristi pavieniai plaukeliai, audinys retėja, todėl vandens garų absorbcija sumažėja. Kanapinių / medvilninių *Tk9* kilpinių audinių vandens garų absorbcija buvo nuo 53,4 iki 54,0 g/m², priklausomai nuo tumbleravimo trukmės. Gauti rezultatai rodo, kad audinys su kanapinėmis kilpomis geba sugerti gana nemažai vandens garų. Tačiau tiriant pokyčius, esant skirtingai tumbleravimo trukmei, gauti rezultatai neperžengia paklaidos ribų.

Skalbtų naudojant ploviklį / minkštiklį / kalandruotų ir skalbtų naudojant ploviklį / minkštiklį / tumbleruotų kilpinių audinių vandens garų absorbcijos santykinė paklaida iki 8,8 proc., variacijos koeficientas yra iki 7,1 procentų.

Kilpinių audinių vandens garų absorbcijos skyriaus apibendrinimas. Sudėtinga kilpinio audinio struktūra, keičiant kilpos aukštį ir ataudų tankumą, suformuoja savitą audinio paviršių, kuris turi reikšmingą poveikį vandens garų absorbcijai. Atlikus eksperimentinius tyrimus su ramės / medvilniniais kilpiniais audiniais buvo nustatyta, kad vandens garų absorbcija didėja, didėjant ataudų tankumui ir kilpos aukščiui. Nagrinėjant ramės / medvilninių kilpinių audinių su 6 mm kilpomis priklausomybę nuo ataudų tankumo, buvo nustatyta, kad vandens garų absorbcija didėja, esant didesniai ataudų tankumui, išskiriant sumažėjimą, kai audinio ataudų tankumas didžiausias (16 cm⁻¹). Tai galėjo nulemti itin tankus ataudų išsidėstymas audinyje – audinio kilpos priglunda viena prie kitos, todėl vandens garams yra sunkiau prasiskverbti į audinio vidų. Nagrinėjant ramės / medvilninius kilpinius audinius, turinčius 10,5 mm kilpas, gauta, kad audinių, kurių ataudų tankumas buvo nuo 10 iki 16 cm⁻¹, vandens garų absorbcija didėjo. O audinio su 8 cm⁻¹ ataudų tankumu vandens garų absorbcija buvo itin didelė, t. y. siekė net 42,0 g/m². Manoma, kad tam įtakos turėjo labai mažas ataudų tankumas ir didelės kilpos, laisvai išsidėsčiusios audinio paviršiuje, todėl šis audinys intensyviau vandens garus absorbavo ne tik kilpomis, bet ir audinio pagrindu. Nagrinėjant ramės / medvilninius kilpinius audinius su 12 cm⁻¹ ataudų tankumu, kurie tarpusavyje skyrėsi kilpų aukščiais, nustatyta vandens garų absorbcijos didėjimo tendencija esant didesnėms kilpoms. Tačiau kai šio audinio kilpos buvo didžiausios (10,5 mm), nustatytas ryškus vandens garų absorbcijos sumažėjimas. Manoma, kad tam turėjo įtakos specifinė audinio paviršiaus sandara: didelės, viena kitą uždengiančios kilpos, todėl vandens garai buvo absorbuoti tik kilpų paviršiumi.

Išanalizavus žalių ir vilgytų lininių / medvilninių kilpinių audinių rezultatus nustatyta, kad daugiausia vandens garų absorbuoja audiniai su 12 mm kilpomis. Lyginant tarpusavyje žalius (be apdailos) ir vilgytus vandeniu kilpinius audinius nusta-

tyta, kad net menkas vandens poveikis turi įtakos vandens garų absorbcijos rezultatams. Taip pat buvo pastebėta, kad lininiai / medvilniniai kilpiniai audiniai geba daugiau sugerti vandens garų nei lininiai kilpiniai audiniai. Žalias (be apdailos) kanapinis / medvilninis kilpinis audinys sugeria daugiausia vandens garų, palyginti su lininiais, lininiais / medvilniniais kilpiniais audiniais, kai jo kilpų aukštis yra 9 mm.

Taip pat vandens garų absorbcija priklauso nuo apdailos poveikių ir procedūros trukmės. Išnagrinėjus lininius / medvilninius kilpinius audinius su nebalintais kilpiniais metmenimis nustatyta, kad kuo daugiau kilpiniai audiniai patiria vandens, šilumos, mechaninių poveikių (*Sa*), taip pat cheminių medžiagų poveikio (*Pa* ir *Ma*), tuo gali daugiau sugerti vandens garų. Taip pat didesnį vandens garų absorbcijos kiekį audinyje nulemia didžiausias kilpos aukštis. Mažiausiai vandens garų absorbuoja kilpinių audinių *Sa*, *Pa* ir *Ma* variantai su 9 mm kilpomis.

Išnagrinėjus vandenyje skalbtus lininius / medvilninius kilpinius audinius su balintais kilpiniais metmenimis (*Sb*), nustatyta, kad vandens garų daugiausia absorbuoja audiniai, turintys 12 mm kilpas. O iš kilpinių audinių, kuriems buvo atlikta šlapioji apdaila (*Pb* ir *Mb*), daugiausia vandens garų absorbuavo audiniai, turintys 9 mm kilpų aukštį. Šiuo atveju tokius rezultatus lėmė ne tik kilpos aukštis, bet ir kilpinių metmenų balinimo procedūra.

Lininių (*Sc12*), lininių / medvilinių (*Se9*) ir kanapinių / medvilinių (*Sk9*) audinių vandens garų absorbciją lemia apdailos trukmė. Tyrimai parodė, kad skalbiant audinius vandenyje 10 ir 30 min., vandens garų absorbcija turi tendenciją didėti, tačiau skalbiant 120 min. iš pluošto paviršiaus pasišalina trumpi plaukeliai, todėl padidėja audinio akytumas, ir audinys mažiau sugeria vandens garų. Rezultatai parodė, kad kilpiniai audiniai, kurių kilpiniai metmenys yra balinti (*Pb*, *Mb*, *Sb*), geba sugerti daugiau vandens garų negu kilpiniai audiniai su nebalintais kilpiniais metmenimis. Manoma, kad tam įtakos galėjo turėti padidėjęs šių siūlų ir pluošto akytumas po kilpinių metmenų balinimo ir šlapiosios audinio apdailos.

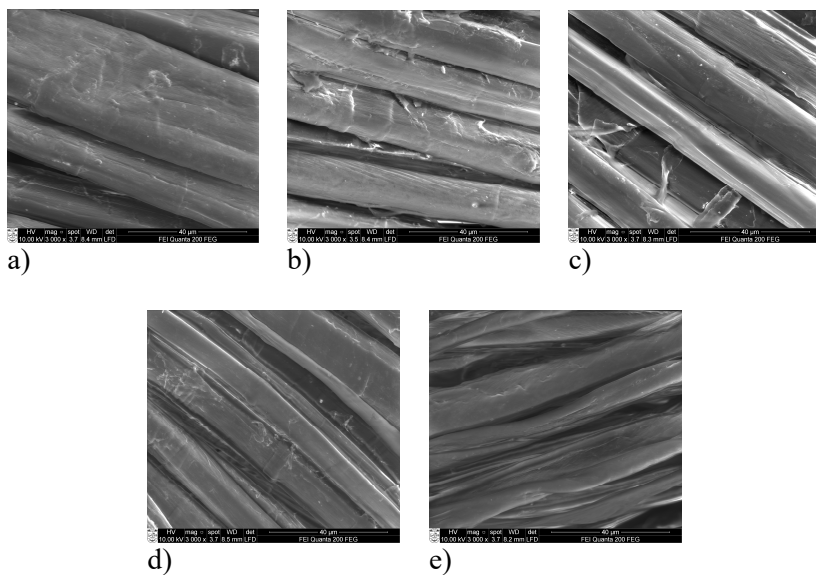
Kilpinių audinių, kuriems po šlapiosios apdailos atlikta tumbleravimo operacija, pasikeičia ne tik išvaizda, bet tai turi įtakos ir vandens garų absorbcijos rezultatams. Atlikus lininių / medvilinių audinių (*Ta*, *Tb*, *Te*) vandens garų absorbcijos tyrimus, buvo nustatyta empirinė priklausomybė tarp tumbleravimo trukmės ir vandens garų absorbcijos. Gauti rezultatai rodo, kad daugiausia vandens garų absorbuavo kilpiniai audiniai, turintys 12 mm kilpas. Be to, vandens garų absorbcijos rezultatams turi įtakos ir kilpinio audinio apdailos trukmė, t. y. atliktos įvairios tumbleravimo trukmės. Manoma, kad kuo ilgiau kilpinis audinys yra tumbleruojamas, tuo jis tampa minkštesnis, todėl gali daugiau sugerti vandens garų. Tačiau pernelyg ilgai tumbleruojant iš audinio pasišalina pavieniai plaukeliai, audinys retėja, tampa laidusnis orui ir vandens garams, todėl gali absorbuoti vis mažiau vandens garų.

3.2.2. Vandens išgarinimo iš kilpinių audinių tyrimų rezultatai

Kilpinių audinių vandens išgarinimo tyrimas buvo atliktas užlašinus vandens lašą ant audinio paviršiaus. Nukritęs vandens lašas prasiskverbia pro kilpas į kilpinio audinio pagrindą ir į patį verpalą. Vadinasi, pirmiausia vandens lašas yra sugeriamas, o tik vėliau pradedamas garinti, kol susidaro sorbcinė pusiausvyra. Vandens

lašo elgsena audinyje priklauso nuo daugelio dalykų, pirmiausia – nuo pluošto morfologinės sandaros. Taip pat Ozturk ir kt. (2012) teigia, kad fizikinės medžiagos savybės pirmiausia priklauso nuo pluošto savybių.

Visi šiame darbe tirti pluoštai yra higroskopiški – tai ramės, kanapių, linų ir medvilnės pluoštai. Ramės, kanapės ir linų pluoštai yra panašios struktūros, t. y. pagaminti iš stiebų, jų plaukeliai apskritos formos ir tuščiaviduriai, tačiau jų paviršiaus vaizdai skirtingi (**3.13 pav.**). Iš šių *SEM* nuotraukų matyti, kad ramės plaukelių paviršius yra reljefinis (a), o kanapės pluošto plaukeliai pasižymi lygesniu paviršiumi (d), balinto lino paviršius daug lygesnis (c) nei nebalinto lino paviršius (b), o medvilnės plaukelis yra suploto, susisukusio skersmens (e). Dėl skirtingos pluošto morfologinės sandaros liečiantis su vandens garais ar skysčiu minėtų pluoštų elgsena skiriasi. Kitų tyrėjų rezultatai tai patvirtina, pavyzdžiui (Abramavičiūtė ir kt., 2011), medvilnės medžiagų elgsena yra kitokia nei kitų natūralios kilmės pluoštų: bambuko, sojos baltymo, dumblių ir pan. Manshahia ir Das (2013) tyrė medžiagos džiovimo laiką ir nustatė, kad tie pluoštai, kurių plaukelių skerspjūvio forma yra šešiakampė, džiuvo ilgiau nei pluoštai, sudaryti iš trikampių, elipsės ir plokščių formų plaukelių.



3.13 pav. Kilpinių audinių pluoštų paviršiaus vaizdas, *SEM* nuotraukos (40 μm):

a) ramės pluošto plaukeliai (KM), b) nebalinto lino pluošto plaukeliai (KM), c) balinto lino pluošto plaukeliai (KM), d) kanapės pluošto plaukeliai (KM), e) medvilnės pluošto plaukeliai (PM)

Atlikus kilpinių audinių bandymus, apskaičiuotas vandens likučio koeficientas (VI, proc.). Nagrinėjant kilpinių audinių vandens išgarinimo rezultatus, buvo atsižvelgta ne tik į vandens išgarinimo trukmę, bet ir į vandens išgarinimo proceso intensyvumą, t. y. kuriuo džiovimo laiko metu buvo sparčiausia garinamas vanduo. Taip pat nustatytos empirinės priklausomybės tarp vandens džiovimo laiko ir vandens

likučio koeficiento, aprašant rezultatus įvairaus pobūdžio lygtimis. Detalesnei analizei pasirinktos logaritminės priklausomybės. Siekiant pakankamo rezultatų tikslumo, nustatant matematinę ryšį VI rezultatai panaudoti iki šio rodiklio vertės, kai santykinė paklaida neviršija 15–20 procentų.

Žalių (be apdailos) ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens išgarinimo priklausomybė nuo audinio sandaros. Siekiant nustatyti skysčio išgarinimo procesą, ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai su skirtingais kilpų aukščiais ($Zr4,5_{12}$ – $Zr10,5_{12}$) buvo lyginti tarpusavyje. Gauti rezultatai parodė, kad vandenį greičiausiai išgarino audiniai su 4,5–9 mm kilpomis – po 110 min., o audinys su 10,5 mm kilpomis – po 120 min. (**2 priedas, 2.1 lent.**). Gauti rezultatai rodo, kad kilpos aukštis turi labai mažai įtakos vandens išgarinimo trukmei.

Tiriant audinių elgseną veikiant vandeniui nustatyta, kad vandens išgarinimas iš kilpinių audinių susideda iš kelių procesų: pirmiausia vandens lašas yra absorbuojamas audinio, o tik vėliau prasideda garinimo procesas, todėl per pirmąsias 10 min. skystis garinamas lėtai, po to intensyviau. Rasta, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr4,5_{12}$ – $Zr10,5_{12}$ variantai per pirmąsias dešimt minučių išgarino iki 5,6 proc. vandens, tarp 20 ir 60 min. vandens išgarindavo net iki 13,1 procentų. Po 60 min. vandens garinimo procesas sulėtėjo, kol buvo pasiekta pradinė bandinio masė. Taip pat Wang ir kt. (2009) tyrė vandens lašo išgarinimą iš audinių; tyrimo rezultatai parodė, kad vandens likučio koeficientas po 40 min. buvo mažesnis nei 35 proc.

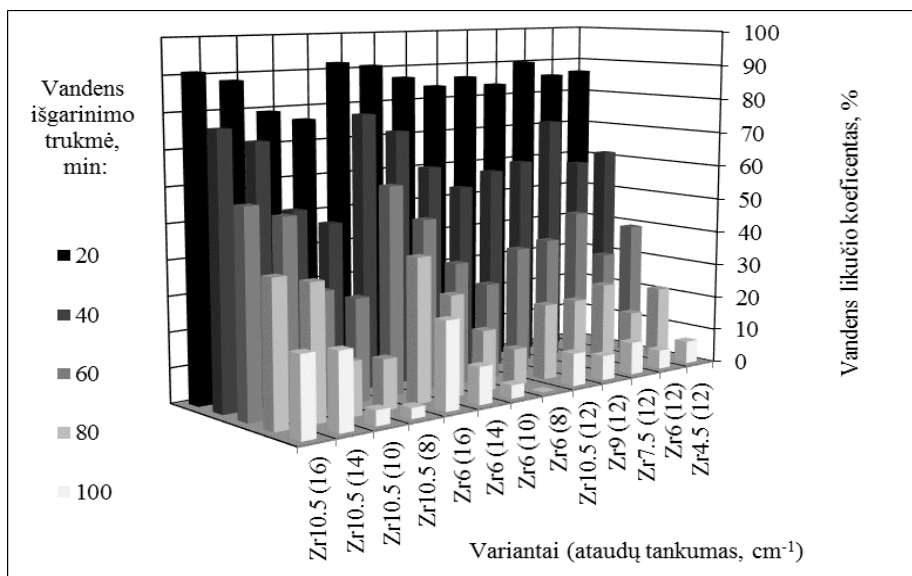
Ištyrus ramės / medvilninių kilpinių audinių ($Zr4,5_{12}$ – $Zr10,5_{12}$) eksperimento rezultatų informatyvumą, gautas F_k : 42,31–372,64, F_{lent} tik 5,91 ir 5,94 ($\alpha = 0,95$). Vadinas, atlikti tyrimai rodo, kad egzistuoja ryšys tarp tiriamo rodiklio vandens likučio koeficiento ir kintamo vandens išgarinimo trukmės. Todėl gauti aukšti apibrėžties koeficientai aprašant tiesine, polinimine, eksponentine ir laipsnine lygtimis. Detalesnei analizei pasirinktos logaritminės priklausomybės, parodančios vandens likučio koeficiento ir vandens išgarinimo trukmės matematinę priklausomybę ($R^2 = 0,8704$ – $0,9324$). Gauti rezultatai rodo skirtingą skysčio išgarinimo iš kilpinių audinių, turinčių skirtingą kilpos aukštį, proceso eigą. Šių kilpinių audinių prognozavimo tikslumo analizė parodė, kad apskaičiuotosios vandens likučio koeficiento reikšmės yra artimesnės eksperimentinėms reikšmėms esant 50 ar 60 min. vandens džiūvimui.

Tyrimai parodė, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių kilpos aukštis turi labai mažai įtakos vandens išgarinimo trukmei, tačiau ataudų tankumas minėtam procesui turi reikšmingą įtaką. Tai rodo gauti kilpinių audinių vandens išgarinimo trukmės esant skirtingam ataudų tankumui rezultatai: $Zr6_{16}$, $Zr10,5_{14}$ ir $Zr10,5_{16}$ audiniai vandenį išgarino po 140 min., $Zr6_{14}$ ir $Zr10,5_{12}$ – po 120 min., audiniai $Zr6_{12}$ ir $Zr10,5_{10}$ – po 110 min., $Zr6_{11}$ ir $Zr10,5_8$ – po 110 min. ir $Zr6_8$ – po 90 minučių. (**2 priedas, 2.1 lent.**). Taigi kuo ataudų tankumas didesnis, tuo ilgiau vyksta vandens išgarinimo procesas.

Manoma, kad, nukritus lašui ant kilpinio audinio paviršiaus, dalį jo absorbuoja kilpos, o kita dalis prasiskverbia gilyn į audinio pagrindą. Taigi vandens išgarinimo procesas priklauso nuo audinio sandaros, šiuo atveju – labiau nuo ataudų tankumo. Pavyzdžiui, audinyje su mažesniu ataudų tankumu esančios kilpos yra statmenos

audinio pagrindui, tarpeliai tarp kilpų yra didesni, todėl, prasidėjus garavimo procesui, pro šio kilpinio audinio kilpas lengviau praeina oras srautas, ir greičiau yra išgarinamas vanduo. Esant didesniam audinių tankumui, audinio kilpos labiau yra prisispaudžiamos viena prie kitos, todėl orui sunkiau prasiskverbti pro kilpinį pūką. Dėl šių priežasčių vanduo yra išgarinamas per ilgesnį laiką.

Taip pat tiriant vandens išgarinimo rezultatus buvo pastebėta, kad kilpinių audinių vandens garinimo intensyvumas skiriasi, t. y. vieni audiniai vandenį garina pakankamai greitai nuo pat pirmų minučių, laikui bėgant šis procesas sulėtėja; kiti audiniai vandenį pradeda intensyviau garinti tik nuo 20 ar 30 min. (ar dar vėliau), vėliau vandens garinimo intensyvumas sumažėja. Iš **3.14 pav.** matyti skirtingos sandaros ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens likučio koeficiento kitimas skirtingu vandens išgarinimo laiku (20, 40, 60, 80 ir 100 min.). Taigi kilpiniuose audiniuose, kurių vandens išgarinimas trunka maždaug iki 80–120 min., vandens išgarinimo proceso intensyvumas vyksta nuo pat pirmų minučių. O kilpiniuose audiniuose, kurių vandens išgarinimo trukmė buvo ilgesnė, apie 120–180 min., vandens išgarinimo proceso intensyvumas vyko tik nuo 20 iki 60 minučių.



3.14 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių Zr variantų vandens likučio koeficiento kitimas

Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių Zr₆₋₁₆ ir Zr_{10,5-16} variantų džiovimo eigą nustatyta, kad yra stiprus ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento. Jų logaritminės lygčių priklausomybės yra nuo 0,8634 iki 0,9655. Taip pat galima pabrėžti ir tai, kad, aprašant kitų rūšių lygtimis, gauti labai aukšti R^2 koeficientai, net iki 0,9992.

Atlikti tyrimai rodo, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens išgarinimo trukmė labai priklauso nuo ataudų tankumo, tačiau ramės / medvilninių audinių be kilpinio pūko (R_{8-16}), vandens išgarinimo trukmei ataudų tankumas turi ma-

žesnę įtaką. Tačiau audiniuose be kilpinio pūko *VI* procesas vyksta greičiau nei kilpiniuose audiniuose. Gauti rezultatai rodo, kad audiniai (be kilpinio pūko) vandenį išgarino pirmiausia su 8 ir 10 cm⁻¹ ataudų tankumu – po 90 min., o audiniai su 12–16 cm⁻¹ ataudų tankumu vandenį išgarino po 100 minučių. Analizuojant audinių *R₈₋₁₆* variantų vandens džiūvimo eigą taip pat nustatytas stiprus ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento. Jų logaritminės lygčių priklausomybės yra nuo 0,9191 iki 0,9691.

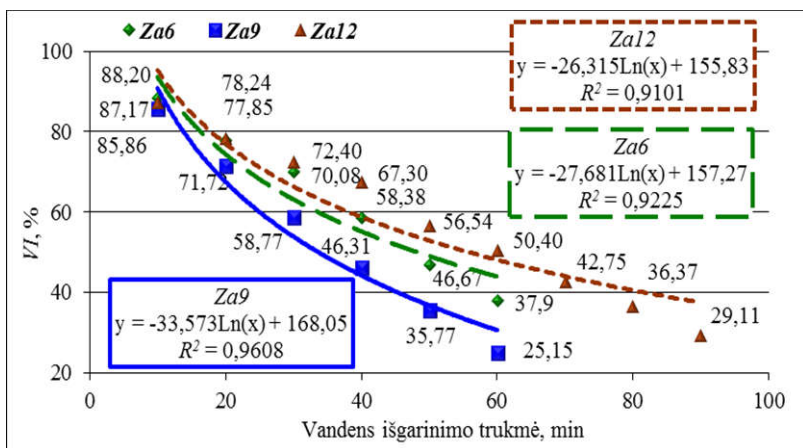
Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių (*Zr*) ir audinių be kilpinio pūko (*R₈₋₁₆*) vandens išgarinimo rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad šių audinių *V_k* nuo 0,33 proc. iki 16,01 proc., o jų δ_α nuo 0,42 proc. iki 19,86 proc.

Žalių ir vilgytų lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių vandens išgarinimo priklausomybė nuo audinio sandaros ir vandens poveikio. Ištyrus kilpinių audinių vandens išgarinimo proceso eigą lyginti žali (be apdailos) (*Za*) ir suvilgyti vandeniu (*Va*) kilpiniai audiniai su 6, 9 ir 12 mm kilpomis. Šių audinių vandens išgarinimo procesas parodytas **3.15** ir **3.16 pav.**, čia pateiktos kreivės atspindi vandens išgarinimo kitimą nuo 10 iki 50–100 min. kas 10 minučių. Iš pateiktų kreivių matyti, kad audiniai su 9 mm kilpomis vandenį išgarino greičiau, šie audiniai vandenį išgarino pirmiausia – po 90 min. (*Za9*) ir po 110 min. (*Va9*). Lyginant tarpusavyje žalių (be apdailos) ir vilgytų kilpinių audinių vandens likučio koeficientus gauta, kad žali kilpiniai audiniai vandenį išgarino greičiau.

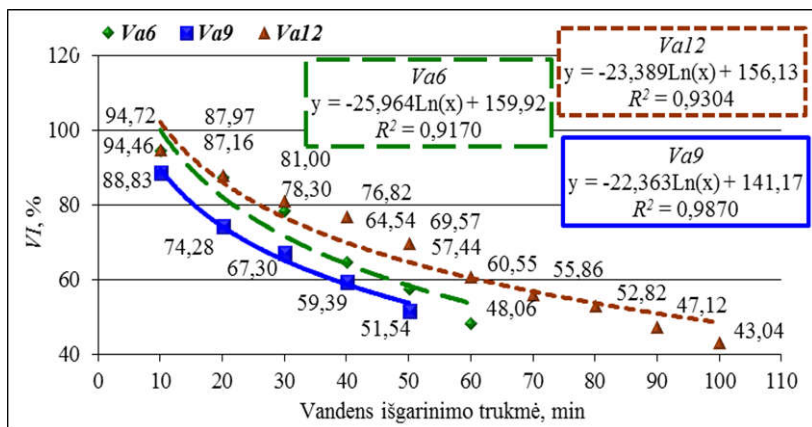
Buvo atlikta kilpinių audinių su lininiais balintais kilpiniais metmenimis vandens išgarinimo lyginamoji analizė: žali (be apdailos) (*Zb*) ir suvilgyti vandeniu (*Vb*) kilpiniai audiniai, turintys skirtingus kilpų aukščius (**2 priedas, 2.1** ir **2.2 pav.**). Gauti rezultatai rodo, kad greičiausiai iš žalių (be apdailos) audinių vandenį išgarino audinys su 12 mm kilpomis – po 120 min., o iš suvilgytų vandeniu audinių greičiausiai išgarino vandenį audiniai, turintys 9 ir 12 mm kilpas, – po 100 minučių. Taip pat buvo atlikta lyginamoji žalių ir vilgytų kilpinių audinių su balintais kilpiniais metmenimis, turinčių vienodą kilpų aukštį, analizė. Rezultatai parodė, kad visais atvejais vandens išgarinimas greičiau vyko iš audinių, kai buvo atlikta vilgymo procedūra.

Gauti rezultatai interpretuoti – įvertintas eksperimento informatyvumas (remiantis *Fišerio* kriterijumi). Gauta, kad eksperimentas pasižymi dideliu informatyvumu. Analizuojant žalius ir vilgytus vandeniu kilpinius audinius, džiūvimo eigos rezultatus tikslinga aprašyti matematiškai, nes nustatytas stiprus ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento: gauti aukšti apibrėžties koeficientai aprašant tiesine, logaritmine, polinomine, eksponentine ir laipsnine lygtimis, gautas determinacijos (apibrėžties) koeficientas R^2 net iki 0,9999. O *Za* ir *Va* (**3.15** ir **3.16 pav.**), taip pat *Zb* ir *Vb* (**2 priedas, 2.1** ir **2.2 pav.**) pateiktos logaritminės priklausomybės, kur audinių R^2 yra nuo 0,8860 iki 0,9870. Žalių (*a*, *b*) ir vilgytų (*a*, *b*) kilpinių audinių prognozavimo tikslumo analizė parodė, kad apskaičiuotosios vandens likučio koeficiento reikšmės yra artimesnės eksperimentinėms reikšmėms vilgytų kilpinių audinių.

O atlikus lininių / medvilninių kilpinių audinių lyginamąją analizę su žaliu (be apdailos) (*Ze9*) ir vilgytu vandeniu (*Ve9*) nustatyta, kad vandens išgarinimo trukmė baigėsi vienu metu – po 160 minučių. Tai rodo, kad žalio lininio / medvilninio kilpinio audinio (*e*) vandens išgarinimo trukmei vandens poveikis neturi įtakos. Lyginan skirtingos pluoštinės sudėties kilpinius audinius nustatyta, kad kanapinis / medvilninis (*Zk9*) kilpinis audinys vandenį išgarino greičiau nei lininis / medvilninis (*Ze9*) kilpinis audinys. Visi gauti rezultatai pasižymi taip pat dideliu informatyvumu.



3.15 pav. Žalių (be apdailos) kilpinių audinių *Za6–Za12* variantų vandens likučio koeficientai



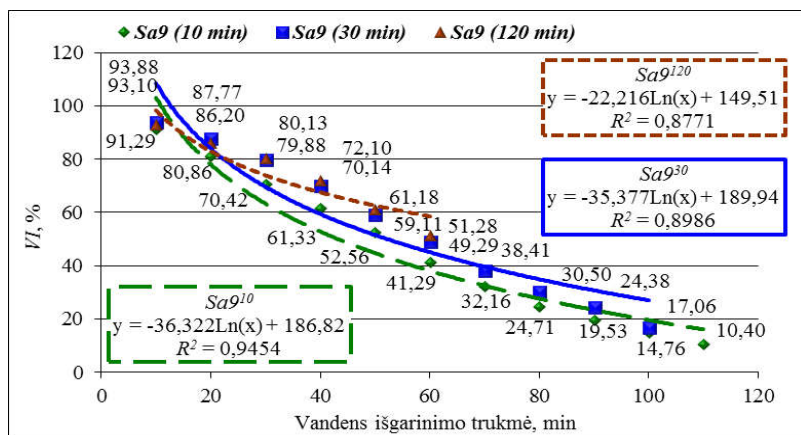
3.16 pav. Vilgytų vandeniu kilpinių audinių *Va6–Va12* variantų vandens likučio koeficientai

Apibendrinus žalių ir vilgytų kilpinių audinių vandens išgarinimo tyrimus nustatyta, kad vandens išgarinimo procesui turi įtakos ne tik audiniams atliktas vandens poveikis, skirtinga sandara, bet ir skirtinga pluoštinė sudėtis. Karahan (2007), atlikęs medvilninių kilpinių audinių dinaminę vandens absorbciją, nustatė, kad kilpinių audinių dinaminei vandens sugerčiai reikšmingiausią įtaką turi siūlų rūšis, naudojama kilpoms sudaryti. Priklausomai nuo verpalų rūšies per pirmąsias 10 sekundžių suger-

tis siekia apie 26–40 proc., praėjus 30 sekundžių – nuo 50 iki 65 procentų. Praėjus daugiau nei 30 sekundžių, sugerties greitis sumažėja, o po 100 sekundžių siekia nuo 8 iki 10 proc., vėliau – dar mažiau (Karahana, 2007). Vertinant šiame darbe žalių ir vilgytų skirtingų pluoštinių sudėčių (*a*, *b*, *c*, *k*, *e*) kilpinių audinių vandens išgarinimo rezultatus nustatyta, kad per pirmąsias 10 min. audiniai vandenį išgarindavo apie 7,2 proc., po 50 min. – apie 40,1 proc. ir po 90 min. – apie 75,7 proc.

Atlikus vandens išgarinimo rezultatų statistinę analizę gauta, kad žalių ir vilgytų vandeniu lininių, lininių / medvilninių ir kanapinių / medvilninių kilpinių audinių santykinė paklaida – nuo 0,71 proc. iki 19,92 proc., o variacijos koeficientas nuo 0,57 proc. iki 16,07 procentų.

Skalbtų (be ploviklio), skalbtų su plovikliu ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu kilpinių audinių vandens išgarinimo priklausomybė nuo audinio sandaros ir poveikio / apdailos būdo. Skalbimas yra pirmoji kilpinių audinių apdailos operacija. Skalbimas vandenyje nenaudojant jokių cheminių medžiagų taip pat pakeičia audinio išvaizdą, todėl daro didesnę ar mažesnę įtaką audinio sandaros pasikeitimui, palyginti su žaliais (be apdailos) audiniais. Tai matyti iš gautų rezultatų: lyginant skalbtus vandenyje įvairiais laiko intervalais (*Sa*) audinius su žaliais (*Za*) audiniais gauta, kad greičiausiai vandenį išgarina žali (be apdailos) kilpiniai audiniai. Tokią tendenciją galima paaiškinti tuo, kad žalių kilpinių audinių kilpos yra standžios, taisyklingos formos ir statmenos audinio pagrindui, todėl ir vandens lašai greičiau yra išgarinami. Taip pat tyrėjai (Zampetakis, Katsaros ir Dumitrescu, 2009) argumentuoja, kad skalbimo metu vyksta intensyvus medvilnės audinio susitraukimas, keičiantis audinio akytumą, akučių dydį. Be to, šių audinių skalbimo metu dalis trumpų pluošto plaukelių, sudarančių verpalus, iškrenta.



3.17 pav. Įvairiais laiko intervalais skalbtų vandenyje kilpinių audinių $Sa9^{10-120}$ variantų vandens likučio koeficientai

Eksplloatuojant gaminį svarbu žinoti, kaip audinį veiks skalbimas vienu ar kitu režimu, kad tai nepablogintų gaminio kokybės. Galimą savybių pokytį būtina numatyti jau pradinėse gaminio projektavimo stadijose, o, norint gauti optimalių estetinių bei funkcinių savybių, gaminiui būtina parinkti tinkamą pramoninio skalbimo būdą.

Analizuojant lininius / medvilninius nebalintus kilpinius audinius, turinčius 6 mm kilpas, kuriems atlikta skalbimo apdailos operacija skirtingais laiko intervalais – 10, 30 ir 120 min. (*Sa6*), nustatyta, kad visų variantų vandens išgarinimo trukmė baigėsi kartu – po 140 minučių. Vadinas, skalbimo trukmė neturi įtakos šių audinių vandens išgarinimo trukmei. Iš kilpinių audinių, turinčių 9 mm kilpas, skalbtų skirtingais laiko intervalais (*Sa9¹⁰⁻¹²⁰*), vandens išgarinimo trukmė pirmiausia pasibaigė kilpinio audinio, kuris buvo skalbtas vandenių 30 min. (*Sa9³⁰*), – po 120 min. (**3.17 pav.**). Analizuojant kilpinius audinius, turinčius 12 mm kilpas, skalbtus skirtingais laiko intervalais (*Sa12¹⁰⁻¹²⁰*), nustatyta, kad vandens išgarinimo trukmė pirmiausia pasibaigė kilpinio audinio, kuris buvo skalbtas vandenių 10 min. (*Sa12¹⁰*), – po 140 minučių. Taip pat buvo lyginti *Sa* kilpiniai audiniai, skalbti vienoda skalbimo vandenyje trukme, kurių kilpų aukštis buvo skirtingas. Gauti rezultatai parodė, kad visais nagrinėtais atvejais greičiausiai vandenį išgarindavo audiniai su 9 mm kilpomis.

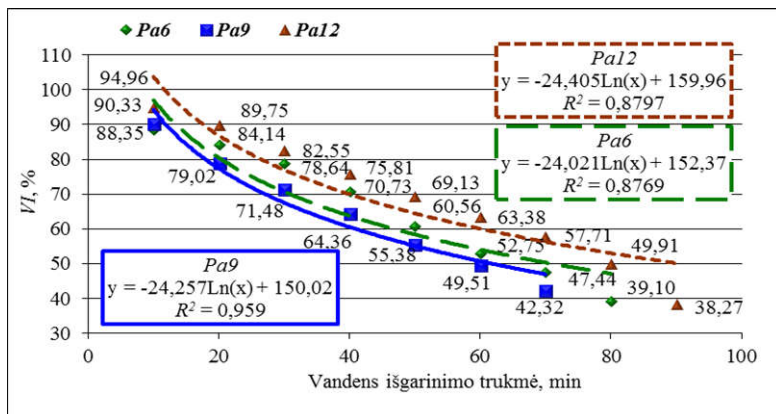
Analizuojant kilpinius audinius su balintais kilpiniais metmenimis *Sb6¹⁰*, *Sb6³⁰* ir *Sb6¹²⁰* ir 6 mm kilpomis nustatyta, kad *VI* trukmė baigėsi visų variantų kartu – po 120 min., taip pat kaip *Sa6* audinių, atliekant tą pačią lyginamąją analizę. Vadinas, skalbimas įvairiais laiko intervalais neturi įtakos kilpinių audinių *Sa6* ir *Sb6* vandens išgarinimo trukmei. Analizuojant kilpinius audinius *Sb9* su skirtingomis skalbimo trukmėmis nustatyta, kad po 30 ir 120 min. skalbimo trukmės (*Sb9³⁰* ir *Sb9¹²⁰*) audiniai vandenį išgarino po 130 minučių. Taip pat iš **2 priedo 2.3 pav.** matyti, kad džiūvimo intensyvumas tarp nagrinėjamų variantų (*Sb9¹⁰⁻¹²⁰*) yra nedidelis, rezultatai neperžengia paklaidų ribų. O analizuojant kilpinių audinių *Sb12* variantus nustatyta, kad audinio (*Sb12¹⁰*), kuris buvo skalbtas vandenių 10 min., vandens išgarinimas buvo trumpiausias – 130 minučių. Taip pat lyginant tarpusavyje balintus kilpinių audinių variantus su skirtingais kilpų aukščiais, bet skalbtais vienodais laiko intervalais, gauti rezultatai rodo, kad vandenį greičiausiai išgarino visi audiniai, turintys 6 mm kilpas.

Visi nagrinėjami kilpinių audinių variantai, kurie buvo skalbti (*S³⁰⁻¹²⁰*) įvairiais laiko intervalais, pasižymi dideliu informatyvumu. Nustatytas stiprus ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento. Nagrinėjamų kilpinių audinių logaritminės priklausomybės R^2 yra nuo 0,8589 iki 0,9531. Paminėtina ir tai, kad, aprašant kitų rūšių lygtimis, gauti aukšti apibrėžties koeficientų rezultatai.

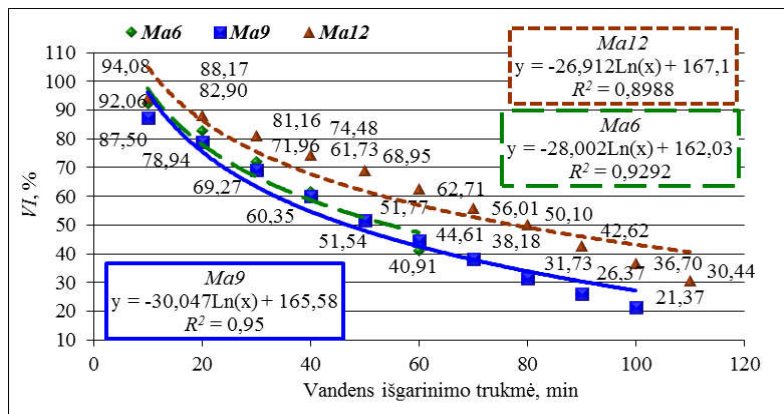
Skalbiant pramoniniu būdu, t. y. su plovikliu, kilpiniai audiniai patiria vandens, šilumos ir cheminį poveikį, kurie turi įtakos audinių sandaros pokyčiams. Analizuojant lininius / medvilninius kilpinius audinius (**3.18 pav.**) nustatyta, kad vandens išgarinimo laikas pirmiausia baigėsi kilpinio audinio *Pa9* – po 120 minučių. Tačiau nagrinėjant lininius / medvilnės kilpinius audinius jau su balintais kilpiniais metmenimis (*Pb*) nustatyta, kad vandens išgarinimo procesas vyko greičiau kilpiniame audinyje su 12 mm kilpomis – po 90 min., o audinys su 9 mm kilpomis vandenį išgarino po 100 minučių. Taigi gauti rezultatai patvirtina ir tai, kad kilpiniai audiniai, turintys balintus kilpinius metmenis, vandenį išgarina greičiau nei audiniai su nebalintais kilpiniais metmenimis.

Kilpinių audinių minkštinimas yra svarbus veiksnys, darantis įtaką gaminio patogumui. Išskalbus su plovikliu ir minkštikliu, audinys intensyviau ir ilgesnį laiką

yra veikiamas cheminių medžiagų, tai lemia didesnius audinio sandaros pokyčius (Baltakytė, 2009; Jucienė ir kt., 2006). Šiame darbe atlikta minkštinimo apdaila nulėmė tikslesnius vandens išgarinimo rezultatus: iš kilpinių audinių su nebalintais (*Ma*) (3.19 pav.) ir balintais (*Mb*) kilpiniais metmenimis *VI* trukmė pirmiausia pasibaigė, kai audiniai buvo su 6 mm kilpomis.



3.18. pav. Skalbtų su plovikliu kilpinių audinių *Pa6–Pa12* variantų vandens likučio koeficientai



3.19 pav. Skalbtų su plovikliu / minkštinimu kilpinių audinių *Ma6–Ma12* variantų vandens likučio koeficientai

Analizuojant lininius / medvilninius kilpinius audinius, skalbtus įvairiais laiko intervalais (*Se9*), greičiausiai vandens lašus – po 140 min. – išgarino tie audiniai, kurie buvo skalbti ilgiausiai ir trumpiausiai, t. y. *Se9*¹⁰ ir *Se9*¹²⁰ variantai. Išskalbus šiuos audinius pramoniniu būdu naudojant ploviklį (*Pe9*), vandens išgarinimo trukmės rezultatas nepasikeitė. Atlikus kanapinių / medvilninių kilpinių audinių (*Sk9*), skalbtų skirtingais laiko intervalais, tyrimus nustatyta, kad audinių skalbimas skirtingais laiko intervalais neturi įtakos vandens išgarinimo trukmei. Žali (be apdailos) (*Zk9*) ir skalbti su plovikliu / minkštikliu (*Mk9*) kanapiniai / medvilniniai audiniai vandens lašą išgarino tuo pačiu metu. Apžvelgus lininių / medvilninių (*e*) ir kanapi-

nių / medvilninių (*k*) kilpinių audinių rezultatus galima teigti, kad šių kilpinių audinių apdaila ar atliktos apdailos trukmė neturi didelės įtakos vandens išgarinimo rezultatams.

Gauta, kad rezultatai pasižymi dideliu informatyvumu. Analizuojant audinių *Zk, Pa, Pb, Pe, Ma, Mb, Mk Se* ir *Sk* variantų džiūvimo eigą nustatyta, kad yra stiprus ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento. Logaritminės priklausomybės R^2 yra nuo 0,8769 iki 0,9590. O atlikus skalbtų (be ploviklio) (*S*), skalbtų su plovikliu (*P*) ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu (*M*) kilpinių audinių vandens išgarinimo statistinę analizę nustatyta, kad jų santykinė paklaida nuo 0,23 proc. iki 19,76 proc. ir variacijos koeficientas nuo 0,18 proc. iki 15,90 proc.

Skalbtų su plovikliu / minkštikliu / kalandruotų ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų kilpinių audinių vandens išgarinimo priklausomybė nuo audinio sandaros ir apdailos. Analizuojant lininius / medvilninius skalbtus su plovikliu / minkštikliu / kalandruotus kilpinius audinius su balintais (*Kb*) ir nebalintais (*Ka*) kilpiniais metmenimis nustatyta, kad greičiausiai vandenį išgarino audinys su balintais kilpiniais metmenimis, t. y. *Kb9* – po 100 min., o audinys su nebalintais kilpiniais metmenimis (*Ka9*) vandenį išgarino tik po 140 minučių. Iš to galima daryti išvadą, kad vandens išgarinimui didžiausią įtaką turi balinti kilpiniai metmenys, kurie lemia įvairių priemonių iš verpalų pasišalinimą, todėl leidžia greičiau išgaruoti vandens lašui. Taip pat gauti rezultatai pasižymi dideliu informatyvumu: logaritminės priklausomybės, kur R^2 yra iki 0,9538 (**2 priedas, 2.4 pav.**).

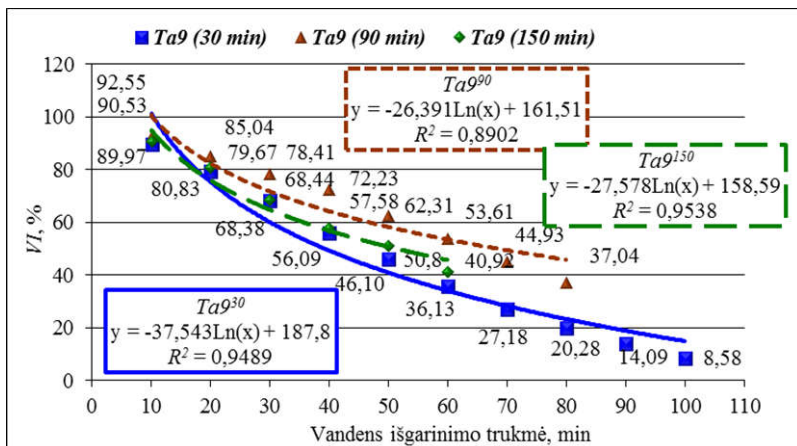
Po skalbimo naudojant ploviklį / minkštiklį / tumbleravimą, pakinta audinių sandara, todėl keičiasi ir vandens išgarinimo laikas. Taigi, lyginant lininius (*Tc*), lininius / medvilninius (*Ta*), kanapinius / medvilninius (*Tk*) kilpinius audinius po šlapios apdailos esant skirtingai tumbleravimo trukmei, nustatyta, kad vanduo greičiausiai išgaravo iš audinių, tumbleruotų trumpiausiai (30, 60 min.) ir ilgiausiai (150 min.), o ilgiausiai vandens išgarinimo procesas vyko, kai audiniai buvo tumbleruoti 90 ir 120 minučių. Tai galima paaiškinti tuo, kad per trumpą tumbleravimo laiką verpalai yra dar nesuveltai, tad iš jų galima greičiau išgarinti vandenį, tumbleravimo trukmei didėjant, verpalai labiau susivelia, ir iš jų vanduo išgaruoja sunkiau. Tačiau, tumbleravimą tęsiant dar ilgiau, iš suveltų verpalų iškrenta trumpi plaukeliai, todėl iš tokių audinių vanduo išgaruoja greičiau. Ši tendencija yra pastebima atliekant kitų audinių skalbimo tyrimus, o tai labai aktualu ir kilpiniams audiniams. Pavyzdžiui, teigiama (Matukonis ir kt. 1976), kad viso skalbimo ciklo metu gaminiai veikiami įvairių veiksnių: skalbimo tirpalu, dilinimo, glamžymo, šviesos, šilumos ir t. t. Todėl, šiems veiksniams vienas kitą papildant, vyksta intensyvi pluoštus sudarančių polimerų destrukcija, vadinasi, ir intensyvus gaminių dėvėjimasis. Tačiau, kaip rodo tyrimai, po pirmųjų 5–15 skalbimo ciklų gaminiai paprastai nesusilpnėja. Atvirkščiai, jie net pasidaro stipresni ir atsparesni dilinimui. Tai paaiškinama tuo, kad traukdamiesi gaminiai iš pradžių sutankėja. Intensyviai jie pradeda irti tik vėliau – po 40–50 skalbimo ciklų (Matukonis ir kt., 1976).

Vandens išgarinimo trukmė priklauso ne tik nuo tumbleravimo apdailos trukmės, bet ir nuo kilpos aukščio. Taigi, lyginant *Ta6–Ta12* kilpinius audinius, turinčius skirtingą kilpų aukštį, bet tumbleruotus vienodą laiką, gauta, kad vandenį išga-

rindavo greičiau audiniai su vidutinio aukščio kilpomis. Taip pat atlikus lyginamąją analizę su *Tb6–Tb12* ir *Tc9–Tc12* audiniais gauta, kad kilpiniai audiniai su mažiausiomis kilpomis vandenį išgarindavo greičiau.

Analizuojant *Ta* audinių vandens džiūvimo eigą nustatyta, kad yra ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento. Informatyvių kilpinių audinių logaritminės lygčių priklausomybės R^2 yra nuo 0,8902 iki 0,9656 (**3.20 pav.; 2 priedas, 2.5 ir 2.6 pav.**). Iš pateiktų kreivių matome, kad pradžioje vandenį garina daugmaž vienodai, o laikui bėgant vandens garinimo laikas išsiskiria. Taip pat gautus lininių (*Tc*), lininių / medvilninių (*Tb*, *Te*) ir kanapinių / medvilninių (*Tk*) kilpinių audinių vandens išgarinimo rezultatus galima aprašyti matematiškai, nes yra labai stiprus ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento. Jų logaritminės lygčių priklausomybės yra nuo 0,8632 iki 0,9294.

Atlikus skalbtų su plovikliu / minkštikliu / kalandruotų ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų kilpinių audinių vandens išgarinimo rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad minėtų kilpinių audinių santykinė paklaida yra nuo 0,03 proc. iki 19,28 proc., o variacijos koeficientas – nuo 0,02 proc. iki 15,53 proc.



3.20 pav. Kilpinių audinių $Ta9^{30}$, $Ta9^{90}$ ir $Ta9^{150}$ variantų vandens likučio koeficientai

Kilpinių audinių vandens išgarinimo skyriaus apibendrinimas. Atliekant kilpinių audinių vandens išgarinimo tyrimus buvo atsižvelgta į vandens išgarinimo trukmę ir vandens išgarinimo intensyvumą. Kilpiniai audiniai vandenį išgarindavo per 80–180 min., tai priklausė nuo audinio sandaros, pluoštinės sudėties, atlikto poveikio ar apdailos ir jos trukmės. Kilpinio audinio vandens garinimo intensyvumas priklauso nuo audinio vandens išgarinimo trukmės, t. y. jei audinys vandenį išgarindavo iki 120 min., tai vandens išgarinimo procesas intensyvus nuo pat pirmųjų minučių. Tačiau kai vandens išgarinimo procesas užsitęsavo ilgiau, tai intensyviai šis procesas vyko nuo 20 minutės.

Išanalizavus žalių (be apdailos) ramės / medvilninių (*Zr*) kilpinių audinių vandens išgarinimo priklausomybę nuo audinio sandaros nustatyta, kad didžiausią įtaką išgarinimo trukmei turi kilpinių audinių ataudų tankumas, t. y. kuo audinys tankesnis, tuo ilgiau trunka vandens išgarinimo procesas. Įvertinus žalių (be apdailos) (*Za*,

Zb) ir suvilgytų vandeniu (*Va*, *Vb*) lininių / medvilninių kilpinių audinių vandens išgarinimo priklausomybę nuo kilpos aukščio nustatyta, kad greičiausiai vandenį išgarino audiniai, kurių kilpos buvo 9 ir 12 mm. Lininių / medvilninių kilpinių audinių, skalbtų vandenyje įvairiais laiko intervalais (*Sa6-Sa12*, *Sb6-Sb12*), vandens išgarinimo trukmei įtakos neturi nei skalbimo laikas, nei kilpos aukštis. Skalbtų naudojant ploviklį lininių / medvilninių (*Pa*, *Pb*) kilpinių audinių su vidutinėmis ir didelėmis kilpomis (9 ir 12 mm) vandens išgarinimas vyko greičiau. O skalbti naudojant ploviklį / minkštiklį (*Ma*, *Mb*) audiniai, turintys 6 mm kilpas, vandenį išgarino greičiausiai.

Analizuojant lininius / medvilninius skalbtus su plovikliu / minkštikliu / kalandruotus (*K*) kilpinius audinius nustatyta, kad greičiausiai vandenį išgarino audiniai su balintais kilpiniais metmenimis. Po skalbimo naudojant ploviklį / minkštiklį / tumbleravimą pasikeičia ne tik kilpinių audinių išvaizda, bet ir kitos audinio savybės. Taigi lyginant lininius (*Tc*), lininius / medvilninius (*Ta*), kanapinius / medvilninius (*Tk*) kilpinius audinius, tumbleruotus skirtingais laiko intervalais, nustatyta, kad vanduo greičiausiai buvo išgarintas iš audinių per trumpiausią (30, 60 min.) ir ilgiausią tumbleravimo (120, 150 min.) trukmę. O ilgiausiai vanduo buvo išgarintas iš audinių, tumbleruotų vidutine trukme (90 min.).

Šlapia apdaila apdirbtų audinių vandens išgarinimo trukmė priklauso ne tik nuo tumbleravimo trukmės, bet ir nuo kilpos aukščio. Taigi lyginant *Ta* kilpinius audinius, tumbleruotus vienodą laiką, bet turinčius skirtingą kilpų aukštį, gauta, kad greičiau vandenį išgarindavo audiniai su vidutinėmis kilpomis. Taip pat atlikus minėtą lyginamąją analizę audinių *Tb* su *Tc* variantais gauta, kad kilpiniai audiniai su mažiausiomis kilpomis vandenį išgarindavo greičiausiai.

Išanalizavus lininių / medvilninių (*e*), kanapinių / medvilninių (*k*), lininių (*c*) kilpinių audinių vandens išgarinimo rezultatus nustatyta, kad audinių poveikis / apdaila (ar apdailos trukmė) neturi įtakos vandens išgarinimo trukmei. Tačiau tiriant beveik visų kilpinių audinių vandens išgarinimo rezultatus buvo nustatytas labai stiprus ryšys tarp vandens likučio koeficiento ir vandens išgarinimo trukmės (R^2 net iki 0,9999).

3.3. Kilpinių audinių mechaninių tyrimų analizė

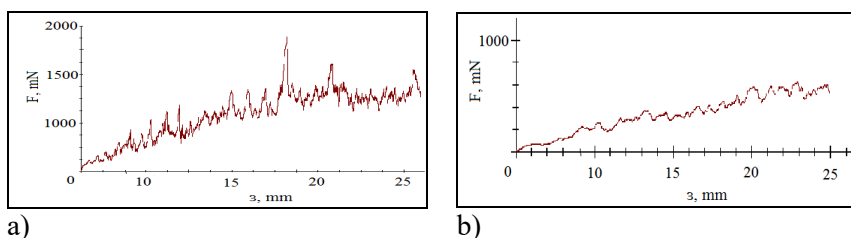
3.3.1. Pūko kilpos atsparumo ištraukimui iš kilpinio audinio analizė

Iš visų audinių mechaninių savybių dažniausiai nustatomos tempimo charakteristikos. Kilpinių audinių tempimo charakteristikoms nustatyti buvo pasirinkti kilpos ištraukimo iš audinio jėgos matavimo eksperimentai, t. y. iš kilpinio audinio metmenų kryptimi buvo tempiamas kilpinis metmuo (kilpa). Literatūroje teigiama, kad audinio deformacinėms savybėms labai svarbūs audinių pynimai, metmenų ir ataudų tankumai, pluoštinė sudėtis, sukris ir apdailos poveikis (Kauzonienė, 2000; Kawabata, 1975; Kovačević, Gordoš, 2009; Pan, Yoon, 1993).

Kilpinio siūlo strigimo ir slydimo reiškinyms ir svarba. Atliekant kilpinių audinių tyrimus buvo nustatoma kilpinio siūlo elgsena esant skirtingiems pluoštams, skirtingai sandarai ir atliktai apdailai. Taip pat buvo nustatytas audinių kilpos siūlo

taškų poslinkis esant 5, 10, 15, 20 ir 25 mm ištraukimo dydžiui. Gauti rezultatai parodė, kad skirtingiausi kilpos taškų poslinkiai buvo tiriant lininius / medvilninius kilpinius audinius ir ramės / medvilninius kilpinius audinius. Manoma, kad tam turėjo įtakos verpalų nevienodumas. Tai patvirtino atlikti audinių tempimų diagramų vaizdai (**3.21 pav.**). Lininis verpalas turi daug stormenų ir plonmenų, verpalas traukimo metu periodiškai stringa ir slysta iš bandinio. Kreivėje (a) esantys slydimo ir strigimo taškai labai intensyviai kinta didėjant ištiesai. Taip pat šie rezultatai patvirtina gana didelį kilpos atsparumo ištraukimui nevienodumą. O ramės verpalas, traukiamas iš audinio, judėjo tolygiai, kreivės (b) gautos tolygiai didėjančios didėjant ištiesai. Tikėtina, kad tam turi įtakos ramės pluošto savybės, nes šis pluoštas yra švelnus, minkštas, elastingas, neturi nei stormenų ar plonmenų.

Paminėtina ir tai, kad pūko kilpos atsparumas ištraukimui taip pat priklauso nuo kilpinio audinio konstrukcijos, t. y. nuo sankirtos taškų skaičiaus audinyje. Sankirta – tai audinio vieta, kurioje siūlas keičia padėtį – pereidamas iš metmens perdangos į ataudų perdangą arba atvirkščiai (Čiukas ir kt., 2001). Tiriamuosiuose ramės / medvilniniuose kilpiniuose audiniuose kilpos sudaromos kiekvienoje audinio pusėje atskirai (**2.3 pav. b**), o lininių, lininių / medvilninių kilpinių audinių kilpos sudaromos iš karto abiejose audinio pusėse (**2.3 pav. a**).

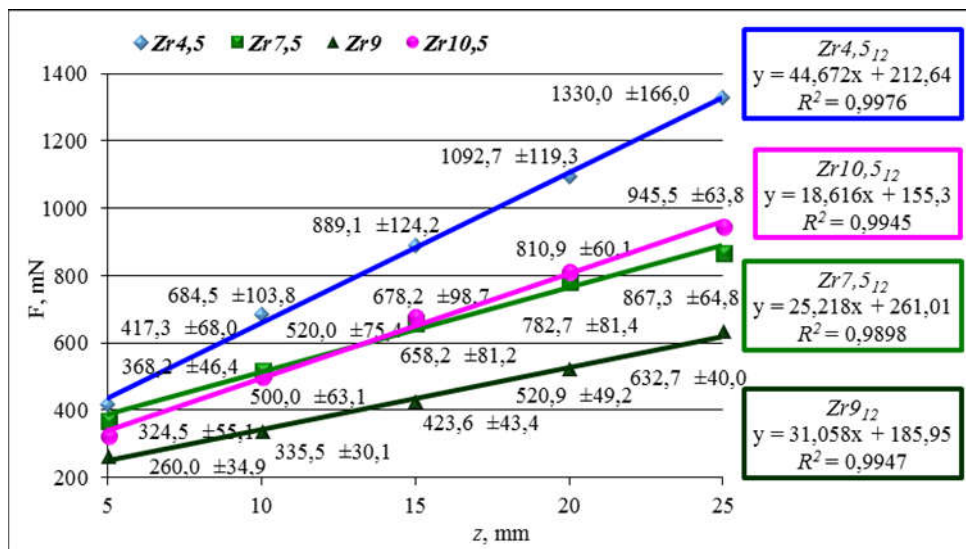


3.21 pav. Kilpiams audiniams būdingos tempimo kreivės: a) lininiams / medvilniniams ($Ta6^{120}$), b) ramės / medvilniniams ($Zr6_{12}$)

Žalių (be apdailos) ramės / medvilninių kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui priklausomybė nuo audinio sandaros. Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių, turinčių 12 cm^{-1} ataudų tankumą, $Zr4,5_{12}$ – $Zr10,5_{12}$ variantus su skirtingu kilpos aukščiu gauta, kad pūko kilpos atsparumas ištraukimui visame intervale buvo nuo 229,2 mN iki 1330,0 mN. Iš **3.22 pav.** matyti, kad didžiausia kilpos ištraukimo jėga, nuo 5 iki 25 mm, buvo audinio $Zr4,5_{12}$ su mažiausiomis kilpomis – nuo 417,3 iki 1330,0 mN, o mažiausia ištraukimo jėga buvo su 9 mm kilpomis – $Zr9_{12}$ varianto – nuo 260,0 iki 632,7 mN.

Manoma, kad traukiant trumpą kilpą iš audinio reikalinga didesnė jėga, nes intervalai tarp sankirtos taškų yra dažnesni negu traukiant ilgesnę kilpą. Pan (1993), Pan ir Yoon (1993) daug dėmesio skyrė analizuodami sąveiką tarp statmenų audinio siūlų sistemų jų sankirtos zonose. Jie teigia, kad kuo daugiau yra sankirtos taškų audinio pynime, tuo sunkiau ištraukti siūlą. Disertaciniame darbe taip pat buvo nustatytas audinių $Zr4,5_{12}$ ir $Zr9_{12}$ variantų procentinis pasiskirstymas, jis buvo nuo 60,5 iki 110,2 proc. Gauti rezultatai didėja esant didesniai kilpos ištraukimo intervalui. Įvertintinus ramės / medvilninių $Zr4,5_{12}$ – $Zr10,5_{12}$ kilpinių audinių eksperimento in-

formatyvumą, gautas stiprus ryšys tarp ištraukimo atstumo ir pūko kilpos atsparumo ištraukimui. Aprašant rezultatus įvairaus pobūdžio lygtimis, apibrėžties koeficientas R^2 yra nuo 0,9105 iki 1. Detalesnei pūko kilpos atsparumo ištraukimui analizei pasirinktos tiesinės lygtys (3.22 pav.).

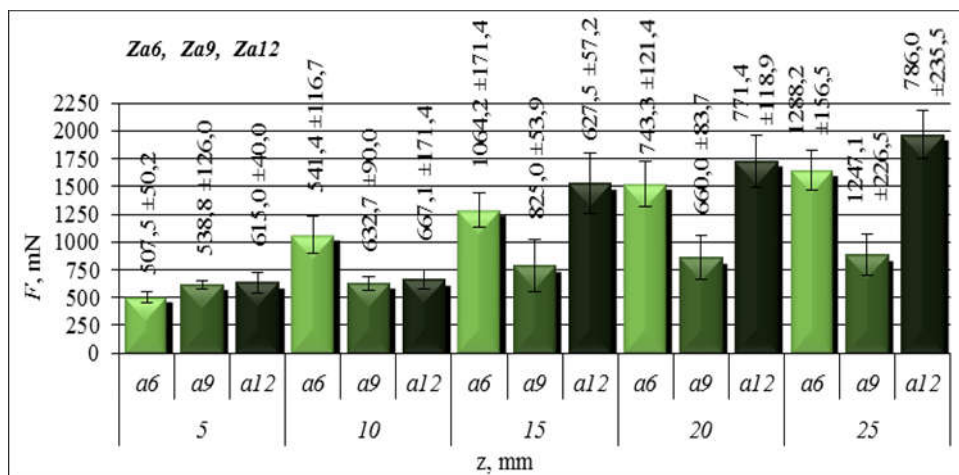


3.22 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių Zr4,5₁₂, Zr7,5₁₂ – Zr10,5₁₂ variantų F rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui

Tinkamai pasirinktas kilpinių audinių ataudų tankumas garantuoja mechaninį audinio atsparumą (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004). Panas, Yoonas (1993) nustatė, kad, didėjant tankumui drobinio ir ruoželinio pynimų audiniuose, didėja ir siūlo ištraukimo jėga. Šis teiginys tinka ir disertaciniame darbe atliktiems ramės / medvilniniams audiniams, turintiems skirtingą ataudų tankumą. Kilpinių audinių, kurių kilpos 6 mm (Zr6₈₋₁₆), intervale nuo 5 iki 25 mm ištisos tempimo jėga yra nuo 151,7 mN iki 1728,3 mN, kurių kilpos 10,5 mm (Zr10,5₈₋₁₆), – nuo 99,0 mN iki 1258,2 mN, esant skirtingam ataudų tankumui (8–16 cm⁻¹). Taigi gauti rezultatai rodo, kad didžiausia kilpos F buvo audinių su didžiausiu ataudų tankumu – 16 cm⁻¹, o mažiausia pūko kilpos ištraukimo jėga buvo audinių su mažiausiu ataudų tankumu – 8 cm⁻¹. Manoma, kad, esant laisvesnei audinio konstrukcijai, pakanka ir mažesnės ištraukimo jėgos, o, esant tvirtesnei audinio konstrukcijai, traukiamas verpalas susiduria su didesne pasipriešinimo jėga. Gauti rezultatai patvirtino, kad audiniai su mažesnėmis kilpomis (6 mm) yra atsparesni pūko kilpos ištraukimui nei audiniai su didesnėmis kilpomis (10,5 mm). Audinių Zr6₈₋₁₆ variantų procentinis pasiskirstymas buvo nuo 217,5 iki 113,2 proc., šis skirtumas mažėjo esant didesniai kilpos ištraukimo intervalui. Audinių Zr10,5₈₋₁₆ variantų procentinis pasiskirstymas buvo nuo 161,7 iki 254,4 proc., jis didėjo esant didesniai kilpos ištraukimo intervalui. O šių kilpinių audinių gautos F rodiklio priklausomybės nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui R^2 yra nuo 0,9807 iki 0,9947 (3 priedas, 3.1 pav.).

Prognozuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių pūko kilpos atsparumą ištraukimui, apskaičiuotos reikšmės nuo eksperimentinių skiriasi nuo 0,1 iki 5,8 proc. (išskyrus pavienius atvejus, kai šis rodiklis buvo didesnis). Atlikus šių kilpinių audinių statistinę analizę nustatyta, kad variacijos koeficientas yra nuo 8,0 proc. iki 20,0 proc., o šių variantų santykinė paklaida – nuo 4,0 proc. iki 19,4 proc.

Žalių ir vilgytų lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui priklausomybė nuo audinio sandaros ir vandens poveikio. Žalių (be apdailos) ir vilgytų vandeniu lininių / medvilninių su nebalintais kilpiniais metmenimis (*a*) kilpinių audinių atsparumo ištraukimui rezultatai pateikti **3.23 pav.** ir **3 priedo 3.2 pav.** Taigi, analizuojant pūko kilpos atsparumą ištraukimui intervalu nuo 5 iki 25 mm, esant 6 mm kilpoms, gauta *F* nuo 507,5 mN iki 1975,0 mN, esant 9 mm kilpoms, – nuo 541,4 mN iki 1347,1 mN ir, esant 12 mm kilpoms, – nuo 632,7 mN iki 1966,4 mN. Iš to matyti, kad, esant 5 mm ištįsai, tempimo jėga buvo maždaug vienoda, tačiau, didėjant ištįsos intervalui *F*, rezultatai išsiskyrė. Taigi atspariausi pūko kilpos ištraukimui yra audiniai su 6 ir 12 mm kilpų aukščiais, o audiniui su 9 mm kilpomis reikalinga iki 1,5 karto mažesnė ištraukimo jėga.



3.23 pav. Kilpinių audinių *Za6–Za12* variantų *F* rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui

Analizuojant kilpinių audinių su balintais (*b*) kilpiniais metmenimis pūko kilpos atsparumą ištraukimui visame intervale, esant 6 mm kilpoms, gauta, kad kilpos ištraukimas yra nuo 418,0 mN iki 1100,8 mN, esant 9 mm kilpoms, kilpos atsparumas ištraukimui yra nuo 436,3 mN iki 1013,8 mN, o 12 mm kilpoms – iki 1224,0 mN. Gauti rezultatai atitinka nagrinėtus kilpinius audinius su nebalintais (*a*) kilpiniais metmenimis, nes atspariausi kilpos ištraukimui yra kilpiniai audiniai, turintys 12 mm kilpas, o neatspariausias *KAI* buvo audinys su 9 mm kilpomis. Nagrinėjamų kilpinių audinių *F* rodiklio procentinis pasiskirstymas visame stebėjimo intervale buvo nuo 0,2 proc. iki 28,2 proc.

Taip pat, lyginant žalius ir suvilgytus kilpinius audinius su nebalintais kilpiniais metmenimis, pūko kilpos atsparumas buvo iki 1975,0 mN, o audiniai su balintais kilpiniais metmenimis *KAI* buvo iki 1224,0 mN. Gauti rezultatai rodo, kad kilpinių audinių su nebalintais kilpiniais metmenimis yra iki 1,6 kartų didesnė tempimo jėga nei audinių su balintais kilpiniais metmenimis. Vadinas, kilpinių metmenų balinimas mažina verpalų stiprumą.

Analizuojant lininių / medvilninių kilpinių audinių *Ze9* ir *Ve9* variantų *KAI* visame intervale *F* buvo nuo 364,5 mN iki 1290,0 mN. Taip pat rezultatai parodė, kad atsparesni yra žali (*Za9*) kilpiniai audiniai nei vilgyti vandeniu audiniai (*Va9*). Lyginant žalius audinius su suvilgytais vandeniu kilpiniais audiniais *F* rodiklio procentinis pasiskirstymas visame stebėjimo intervale kito nedaug – nuo 15,8 proc. iki 36,5 proc. O lininio kilpinio audinio *Zc9* varianto tempimo jėga, esant tik pradinei ištįsai (5 mm), buvo labai didelė – 748,9 mN. Manoma, kad tam turėjo įtakos šio kilpinio audinio pluoštinė sudėtis, kur audinio pagrindą ir kilpas sudarė lininiai verpalai, kurie pasižymi dideliu verpalų nevienodumu. Taip pat kanapių / medvilninių kilpinio audinio *Zk9* varianto kilpos tempimo jėga, esant 25 mm ištįsai, yra labai didelė – iki 1927,3 mN. Taip pat iš ankstesnių tyrimų yra žinoma, kad šis audinys su kanapiniais kilpiniais metmenimis turi išskirtines sandaros ir fizikines savybes.

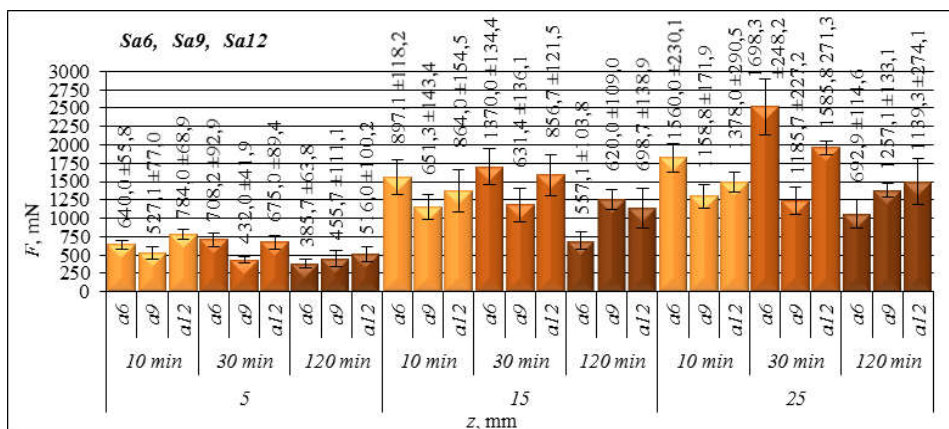
Įvertinus žalių ir vilgytų vandeniu kilpinių audinių eksperimento informatyvumą gauta, kad ne visi rezultatai yra informatyvūs, tačiau, esant informatyviems pūko kilpos atsparumo ištraukimui rezultatams, galima aprašyti apibrėžties koeficientus ne tik tiesinėmis lygtimis (kur R^2 nuo 0,8192 iki 0,9898), bet ir logaritmėmis, polinominėmis, eksponentinėmis ir laipsninėmis lygtimis.

Taip pat atlikus *Z* ir *V* audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad lininių ir puslininių kilpinių audinių (*Z* ir *V*) variacijos koeficientas yra nuo 4,1 proc. iki 19,8 proc., o šių audinių santykinė paklaida – nuo 6,5 proc. iki 19,8 proc.

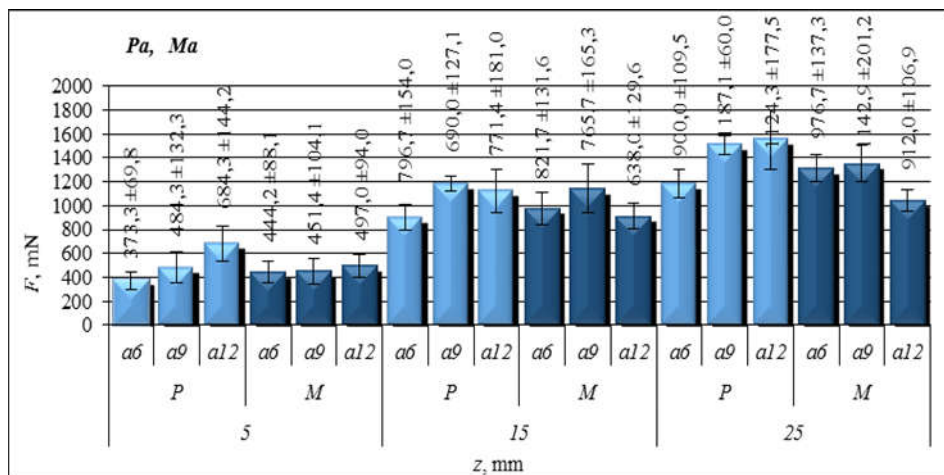
Skalbtų (be ploviklio), skalbtų su plovikliu ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui priklausomybė nuo audinio sandaros ir poveikio / apdailos būdo. Gaminių skalbimas taip pat turi įtakos dėvėjimui. Viso skalbimo ciklo (skalbimas, džiovinimas ir laidymas) metu (Matukonis ir kt., 1976) gaminiai veikiami įvairių veiksnių: skalbimo tirpalo, dilinimo, glamžymo, šviesos, šilumos ir kt. Taigi audinių *Sa* variantų, skalbtų įvairiais laiko intervalais, *KAI* rodiklis: kilpinių audinių su 6 mm kilpomis yra nuo 385,7 mN iki 2518,3 mN, su 9 mm kilpomis – nuo 432,0 mN iki 1377,1 mN ir 12 mm kilpomis – iki 1960,8 mN (**3.24 pav.** pateikti charakteringi kilpos atsparumo ištraukimui atvejai). Gauti rezultatai rodo, kad atspariausias pūko kilpos ištraukimui buvo audinys, turintis 6 mm kilpas. Taip pat buvo lyginti kilpinių audinių *Sa* variantai atsižvelgiant į skalbimo trukmę. Rezultatai parodė, kad atspariausi kilpos ištraukimui buvo audiniai, skalbti 30 minučių.

Tavčer (2013) teigia, kad kilpiniai audiniai dažnai ir intensyviai plaunami, todėl turi būti atsparūs vandeniui, šarmams, skalbimo priemonėms, nes nuo to priklauso audinio stiprumas, atsparumas dilinimui, šlampumas, audinio grifas ir kt. (Tavčer, 2013). Todėl būtina parinkti tinkamus apdailos procesus ir žinoti, kaip jie vienaip ar

kitaip veikia kilpinius audinius. Analizuojant kilpinių audinių *Pa* ir *Ma* variantų atsparumą pūko kilpos ištraukimui esant šlapiai apdailai, atsižvelgiant į kilpos aukštį visame stebėjimo intervale, gauta, kad, esant 6 mm kilpoms, *KAI* yra nuo 373,3 mN iki 1310,0 mN, esant 9 mm kilpos aukščiui, – nuo 451,4 mN iki 1507,1 mN ir, esant 12 mm kilpoms, – nuo 497,0 mN iki 1554,3 mN (**3.25 pav.** pateikti charakteringi kilpos atsparumo ištraukimui atvejai).



3.24 pav. Kilpinių audinių *Sa6*¹⁰⁻¹²⁰, *Sa9*¹⁰⁻¹²⁰, *Sa12*¹⁰⁻¹²⁰ variantų *F* rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui



3.25 pav. Kilpinių audinių *Pa6–Pa12*, *Ma6–Ma12* variantų *F* rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui

Iš **3.25 pav.** matyti, kad atsparesni kilpos ištraukimui yra audiniai su 12 mm kilpomis (*Pa12* ir *Ma12*). Lyginant kilpinius audinius pagal atliktas apdailas (*Pa* ir *Ma*) gauta, kad *Pa* variantų *KAI* buvo iki 1,1 karto didesnė nei audinio *Ma* varianto. Taip pat ir kitų straipsnių (Ravandi ir kt., 2004; Sebastian ir kt., 1987) autoriai tvirtina, kad koreliaciją tarp statinės ir dinaminės ištraukimo jėgos intensyvumo lemia tam tikra atlikta apdaila.

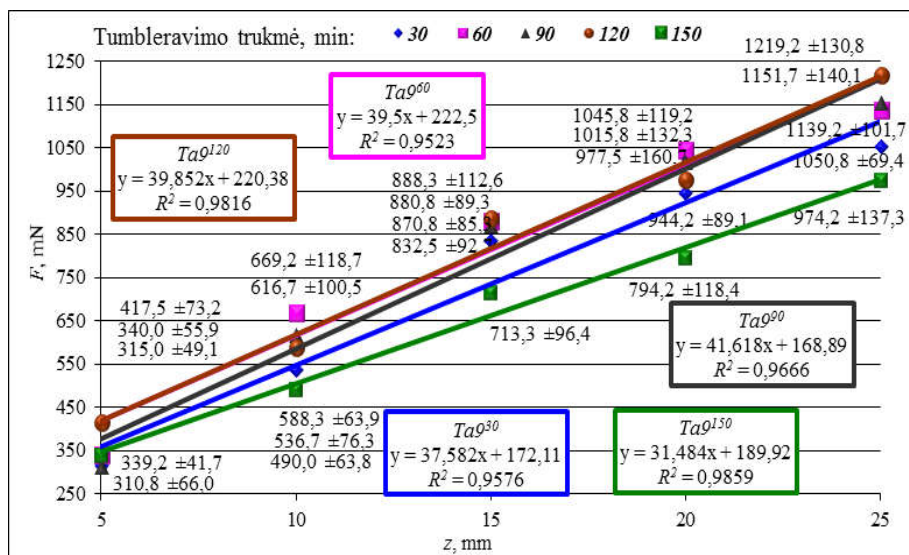
Analizuojant kilpinių audinių su balintais kilpiniais metmenimis (*Sb*) pūko kilpos atsparumą ištraukimui, atsižvelgiant į kilpos aukštį visame stebėjimo intervale, gauta, kad, esant 6 mm kilpai, pūko kilpos atsparumas ištraukimui yra iki 1214,6 mN, esant 9 mm kilpos aukščiui, – iki 1730,0 mN, o, esant 12 mm kilpoms, – iki 1222,3 mN. Iš to galime daryti išvadą, kad atspariausi šiuo atveju buvo kilpiniai audiniai su vidutiniu kilpų aukščiu. Lyginant kilpinius audinius *Sb* tarpusavyje, atsižvelgiant į skalbimo trukmę, gauti rezultatai parodė, kad audinio *Sb*¹²⁰ variantas buvo atspariausias tempimo jėgai. Analizuojant audinių *Pb* ir *Mb* variantų pūko kilpos atsparumą ištraukimui visame intervale gauta, kad, esant 6 mm kilpoms, *KAI* yra iki 1190,8 mN, esant 9 mm kilpoms, – iki 1570,8 mN, o, esant 12 mm kilpoms, – iki 1218,3 mN. Atsparesni kilpos ištraukimui buvo audiniai su 9 mm kilpomis. Audiniai su balintais kilpiniais metmenimis, skalbti su plovikliu, yra atsparesni kilpos ištraukimui nei skalbti su plovikliu / minkštikliu kilpiniai audiniai. Minėti audinių *Pb* ir *Mb* variantų rezultatai tokie pat, kaip ir audinių su nebalintais kilpiniais metmenimis (*Pa* ir *Ma*).

Analizuojant, kaip kinta skalbtų vandeniu lininių (*Sc*12^{10,30}) kilpinių audinių *F* rodiklis, nustatyta, kad didžiausias pūko kilpos atsparumas ištraukimui buvo audinio, kuris skalbtas 10 min., – iki 1126,4 mN. Tam turėjo įtakos šio kilpinio audinio pluoštinė sudėtis, kaip rodo ankstesni tyrimai, lininio kilpinio audinio fizikinės savybės taip pat skyrėsi nuo mišriapluoščių kilpinių audinių savybių. Tai rodo atlikti *KAI* tyrimai su lininiais / medvilniniais (*Se*9¹⁰⁻¹²⁰) kilpiniais audiniais, kur didžiausia *F* buvo audinio, skalbto 30 min., – iki 1529,2 mN. Manoma, kad, pailginus skalbimo trukmę iki 30 min., audinio pūko danga suminkštėja, pluošto plaukeliai susivelia, todėl yra sunkiau traukiama audinio kilpa. Skalbiant kilpinį audinį 120 min., pasišalina vis daugiau trumpo pluošto plaukelių, todėl iš audinio yra lengviau traukiama kilpa. O, nagrinėjant jau kanapinius / medvilninius (*Sk*9¹⁰⁻¹²⁰) kilpinius audinius, gauta, kad pūko kilpos atsparumas ištraukimui buvo iki 2262,7 mN. Gauti rezultatai rodo, kad, didėjant skalbimo intervalo trukmei, didėja ir kilpos ištraukimo jėga. Šiuos rezultatus, manoma, nulėmė taip pat šių audinių pluoštinė sudėtis, t. y. kilpiniai metmenys sudaryti iš kanapių verpalų. Taigi gauti lininių (*Sc*) lininių / medvilninių (*Se*) ir kanapinių / medvilninių (*Sk*) kilpinių audinių *KAI* rezultatai rodo, kad pūko kilpos atsparumui ištraukimui turi įtakos skalbimo trukmė ir audinio pluoštinė sudėtis.

Analizuojant paveiktus pramonine apdaila lininių / medvilninių kilpinių audinių *Pe*9 ir *Me*9 variantų *KAI* gautus rezultatus, nustatyta, kad didesnė ištraukimo jėga buvo audinio, skalbto su plovikliu / minkštikliu (*Me*9), – nuo 285,8 mN iki 1256,7 mN. Lininis kilpinis audinys (*Pc*12) pasižymi itin didele tempimo jėga jau esant 5 mm ištįsai – iki 696,3 mN. Lyginant šį audinį su vilgytu kilpiniu audiniu (*Vc*12) gauta, kad audinio *Pc*12 varianto pūko kilpos tempimo jėga padidėjo net iki 65,2 proc. Kanapinio / medvilninio audinio *Mk*9 kilpos tempimo jėga gauta iki 1336,9 mN, o jį lyginant su žaliu (be apdailos) audinio *Zk*9 variantu gauta, kad audinio *Mk*9 tempimo jėga sumažėjo net 30,6 proc. Tai rodo, kad lininis / medvilninis kilpinis audinys (*Pc*12) po pramoninės apdailos sustiprėjo, o kanapinis / medvilninis kilpinis audinys (*Mk*9) po minkštinimo apdailos tapo silpnesnis.

Lininių, lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių kilpinių audinių, skalbtų (S), skalbtų su plovikliu (P) ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu (M), dauguma rezultatų yra informatyvūs. Kilpinių audinių apibrėžties koeficientas yra nuo 0,8339 iki 0,9968. Atlikus pūko kilpos atsparumo ištraukimui rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad minėtų kilpinių audinių variacijos koeficientas yra nuo 5,5 proc. iki 19,9 proc., o jų santykinė paklaida – nuo 4,7 proc. iki 20,0 proc.

Skalbty su plovikliu / minkštikliu / kalandruoty ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruoty kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui priklausomybė nuo audinio sandaros ir apdailos būdo. Vaitkevičienė (2012) teigia, kad audinių, apdorotų baigiamąja apdaila (dažytų, minkštintų ar mechanškai paveiktų apdailos proceso metu), paviršiaus trinties rodikliai yra didesni, palyginti su audiniais be apdailos. Tai patvirtina ir šiame darbe atlikti tyrimai, kurie rodo, kad baigiamosios apdailos operacijos turi įtakos kilpinių audinių *KAI* rezultatams. Taigi atlikus tyrimus su nebalintais kilpiniais audiniais, kuriems buvo atlikta kalandravimo operacija (*Ka9*), pūko kilpos ištraukimo atsparumas visame intervale gautas nuo 498,3 mN iki 1518,3 mN, o su balintais kilpiniais metmenimis (*Kb9*) kilpinio audinio kilpos atsparumas ištraukimui gautas nuo 638,3 mN iki 2705,8 mN. Rezultatai rodo, kad audinių su balintais kilpiniais metmenimis *F* rezultatai iki 1,8 kartų didesni negu audinio su nebalintais kilpiniais metmenimis. Ankstesni tyrimai rodė, kad kilpinių metmenų apdaila sumažina pūko kilpos atsparumą ištraukimui, tačiau šiuo atveju gaunami priešingi rezultatai. Manoma, kad tam turėjo įtakos audinio apdaila, nes, kalandravimo metu suspaudus audinį metaliniais velenais, kilpos prispaudžiamos prie audinio pagrindo ir tampa uždarnos, o kilpinio audinio siūlų sistemos labiau sukimba sankirtos taškuose, todėl audinys tampa stipresnis ir rišlesnis.



3.26 pav. Kilpinių audinių $Ta9^{30-150}$ variantų *F* rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui

Kuo kilpiniai audiniai daugiau patiria poveikių, tuo daugiau pasikeičia jų sandara, tai matyti po šlapios ir tumbleruotų kilpinių audinių apdailos. Tai rodo atlikti pūko kilpos atsparumo ištraukimui tyrimai su įvairiais laiko intervalais tumbleruotais audiniais, taip pat esant skirtingam kilpų aukščiui. Taigi, analizuojant audinio $Ta9^{30-150}$ variantus su 9 mm kilpomis, nustatyta, kad tempimo jėga yra nuo 310,8 mN iki 1219,2 mN (**3.26 pav.**). Didžiausia kilpos F buvo kilpinių audinių, tumbleruotų 60, 90 ir 120 min., o mažesnės F buvo audinių, tumbleruotų 30 ir 150 minučių. Manoma, kad 30 min. tumbleruotas audinys dar mažai paveikiamas tumbleravimo, todėl šiems audiniams reikalinga mažesnė kilpos tempimo jėga. Ilgėjant tumbleravimo trukmei, audinio verpalų plaukeliai susivelia, todėl yra sunkiau traukiama kilpa, o, esant dar ilgesnei trukmei, iš pluošto pradeda kristi pavieniai plaukeliai, todėl iš audinio greičiau yra ištraukiamas verpalas. Taip pat prognozavimo tikslumo analizė parodė, kad kilpinių audinių $Ta9^{120}$ (su didžiausiu F) ir $Ta9^{150}$ (su mažiausiu F) variantų apskaičiuotosios pūko kilpos atsparumo ištraukimui reikšmės nuo eksperimentinių skiriasi iki 7,9 proc.

Analizuojant lininius / medvilninius kilpinius audinius su nebalintais kilpiniais metmenimis (Ta) nustatyta, kad 6 mm kilpos aukščio audinių $Ta6^{30-150}$ variantų pūko kilpos atsparumas ištraukimui yra nuo 318,0 mN iki 1508,2 mN, o 12 mm kilpos aukščio audinių $Ta12^{30-150}$ variantų – nuo 330,0 mN iki 983,6 mN (**3 priedo 3.3 pav.** pateikti charakteringi kilpos atsparumo ištraukimui atvejai). Iš šio paveikslo matyti akivaizdus skirtumas tarp audinių $Ta6$ ir $Ta12$ variantų, kur didžiausias pūko kilpos atsparumas ištraukimui yra kilpinių audinių su 6 mm kilpomis. Tai patvirtina anksčiau tyrimai, kai kilpos ištraukimui atspariausi buvo audiniai su mažesnėmis kilpomis. Taip pat nustatyta, kad didžiausia kilpos ištraukimo jėga pasižymėjo audiniai, kurie buvo tumbleruoti ilgiausiai – 150 minučių.

Tačiau, analizuojant lininius / medvilninius kilpinius audinius su balintais kilpiniais metmenimis ($Tb6$ ir $Tb12$), pūko kilpos atsparumas ištraukimui gautas beveik vienodas – nuo 280,0 mN iki 988,3 mN. O didžiausia kilpos ištraukimo jėga pasižymėjo audiniai, kurie buvo tumbleruoti 30 ir 60 minučių.

Analizuojant lininių / medvilninių kilpinių audinių $Te9^{30-150}$ variantų pūko kilpos atsparumą ištraukimui visu intervalu gauta, kad kilpos ištraukimas yra nuo 266,7 mN iki 1117,5 mN. Nustatyta, kad didžiausia kilpos tempimo jėga buvo audinio, kuris buvo trumpiausiai tumbleruotas – 30 minučių. Nagrinėjant kanapių / medvilnės audinių $Tk9^{30-150}$ variantus, kilpos ištraukimas buvo nuo 337,5 mN iki 1307,5 mN, o didžiausia kilpos ištraukimo jėga pasižymėjo audinys, tumbleruotas 150 minučių. Iš lininių kilpinių audinių $Tc9$ ir $Tc12$ variantų didžiausiu pūko kilpos atsparumu ištraukimui pasižymėjo audiniai taip pat su 9 mm kilpomis. O lininis / medvilninis kilpinis audinys po šlapiosios ir tumbleravimo apdailos ($Tb9$) turėjo mažiausią pūko kilpos atsparumo ištraukimui tempimo jėgą – iki 626,7 mN.

Skalbūtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui priklausomybė nuo audinio sandaros ir apdailos būdo informatyvumu pasižymi visi audinių $Ta9$ variantai, kur $R^2 = 0,9523 - 0,9859$ (**3.26 pav.**) ir kiti audinių $Ta6$, $Ta12$, $Tb6$, $Tb12$, $Tc9$, $Tk9$ ir $Te9$ variantai ($R^2 = 0,9129$ ir $0,9928$). Šios priklausomybės leidžia prognozuoti šių audinių pūko kilpos atsparumą

ištraukimui. Atlikus skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų, taip pat skalbtų su plovikliu / kalandruotų kilpinių audinių statistinę analizę buvo nustatyta, kad mi-
nėtų audinių V_k yra nuo 5,7 proc. iki 20,0 proc., o δ_α nuo 4,1 proc. iki 20,0 proc.

Kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui skyriaus apibendrinimas. Ramės / medvilninių kilpinių audinių pūko kilpos atsparumui ištraukimui didžiausią įtaką turi kilpinio audinio konstrukcija, t. y. kilpos atsparumas ištraukimui priklauso nuo sankirtos taškų. Nustatyta, kad kilpiniam audiniui su mažesnėmis kilpomis ir didesniu ataudų tankumu reikalinga didesnė kilpos tempimo jėga, nes intervalai tarp sankirtos taškų yra dažnesni. Traukiant didesnę kilpą iš audinio arba esant mažesniai ataudų tankumui, dėl laisvesnės audinio konstrukcijos ir dėl didesnių intervalų tarp sankirtos taškų reikalinga mažesnė tempimo jėga. Taigi analizuojant ramės / medvilninius kilpinius audinius su skirtingu kilpos aukščiu gauta, kad pūko kilpos atsparumas ištraukimui per visą intervalą buvo nuo 229,2 mN iki 1330,0 mN. Gauti rezultatai rodo, kad pūko kilpos atsparumas ištraukimui didžiausias yra su mažiausiomis kilpomis – 4,5 mm, o mažiausia pūko kilpos ištraukimo jėga yra su 9 mm kilpomis. Analizuojant kilpinius audinius su skirtingu ataudų tankumu gauta, kad pūko kilpos atsparumas ištraukimui yra nuo 99,0 mN iki 1728,3 mN. Rezultatai rodo, kad didžiausia tempimo jėga buvo esant didžiausiam ataudų tankumui, t. y. 16 cm^{-1} , o mažiausia tempimo jėga buvo su mažiausiu ataudų tankumu – 8 cm^{-1} .

Lyginant lininių / medvilninių kilpinių audinių žalių (be apdailos) ir vilgytų vandeniu (su balintais ir nebalintais kilpiniais metmenimis) pūko kilpos atsparumo ištraukimui rezultatus, paaiškėjo, kad atspariausi kilpos ištraukimui yra audiniai, turintys 6 ir 12 mm kilpas. Taip pat rezultatai rodo, kad, esant balintiems kilpiniais metmenims, pūko kilpos atsparumas buvo daug mažesnis negu audinių su nebalintais kilpiniais metmenimis. Daroma išvada, kad kilpinių metmenų balinimas sumažina verpalų stiprumą.

Nagrinėjant lininių / medvilninių kilpinių audinių su nebalintais kilpiniais metmenimis (Sa), skalbtų vandenyje be jokių cheminių medžiagų, pūko kilpos atsparumo ištraukimui priklausomybę nuo kilpos aukščio gauta, kad atspariausi yra audiniai, turintys 6 mm kilpas. Atsižvelgiant į skalbimo trukmę gauta, kad atspariausi buvo 30 min. skalbti vandenyje kilpiniai audiniai. Atlikus tyrimus su kilpiniais audiniais, kurie skalbti su plovikliu (Pa) ir skalbti su plovikliu / minkštikliu (Ma), rodo, kad atsparūs kilpos ištraukimui buvo kilpiniai audiniai, turintys 12 mm kilpas. Lyginant šiuos variantus su skirtingomis apdailomis tarpusavyje gauta, kad didesnė tempimo jėga buvo audinių, skalbtų su plovikliu.

Lininių / medvilninių kilpinių audinių su balintais kilpiniais metmenimis rezultatai priešingi nei audinių su nebalintais kilpiniais metmenimis. Taigi nagrinėjant kilpinius audinius, skalbtus vandeniu įvairiais laiko intervalais (Sb^{10-120}), nustatyta, kad atspariausi kilpos ištraukimui buvo kilpiniai audiniai su 9 mm kilpomis. Atsižvelgiant į skalbimo vandeniu trukmę gauta, kad atsparesni kilpos tempimui buvo kilpiniai audiniai, skalbti vandenyje 10 ir 120 minučių. Nagrinėjant kilpinius audinius, kurie išskalbti su plovikliu (Pb) ir su plovikliu / minkštikliu, (Mb) gauta, kad kilpos tempimui atsparesni buvo audiniai su 9 mm kilpomis. Nagrinėjant audinius,

apdirbtus skirtingomis apdailomis, gauta, kad atsparesni buvo audiniai, kurie išskalbti su plovikliu.

Nagrinėjant skalbtus su plovikliu / minštikliu / kalandruotus (K) kilpinius audinius nustatyta labai didelė tempimo jėga. Manoma, kad po kalandravimo mechaninės apdailos audinys tampa rišlesnės, standesnės sandaros, siūlai glaudžiau išsilenks to vienas kito atžvilgiu.

Tiriant nebalintus lininius / medvilninius audinius (Ta), kurie po šlapiosios apdailos buvo tumbleruojami skirtingais laiko intervalais, galima teigti, kad didžiausia kilpos pūko ištraukimo jėga reikalinga audiniams, kurie tumbleruoti 60, 90 ir 120 minučių. Manoma, kad, esant vidutinei tumbleravimo trukmei, yra labiausiai suveliami pluošto plaukeliai, todėl traukti kilpinį metmenį iš audinio yra sunkiau. Nagrinėjant audinius su balintais kilpiniais metmenimis (Tb) pastebėta, kad kilpos ištraukimo jėga yra didesnė audinių, kurių tumbleravimo laikas buvo trumpesnis. Manoma, kad tam turi įtakos kilpinių metmenų balinimas, po kurio dar buvo atlikta dar keletas audinio šlapios apdailos operacijų.

3.3.2. Kilpinių audinių atsparumo dilinimui tyrimo rezultatai ir laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo

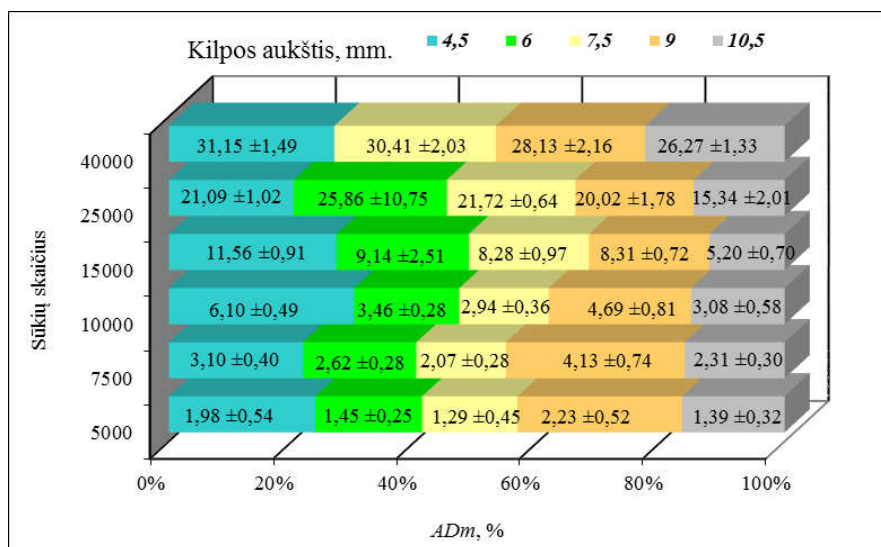
3.3.2.1. Kilpinių audinių atsparumo dilinimui tyrimo rezultatai

Dilinimas laikomas vienu svarbiausiu audinių dėvėjimo veiksnių, lemiančių gaminio ilgaamžiškumą. Dilinimo metu pirmiausia yra nudildomas audinio atraminis paviršius. Audinių atraminiu paviršiumi priimta vadinti tą paviršiaus dalį, kuria audiniai liečiasi su plokštuma. Atraminiam paviršiui matuoti yra naudojami įvairūs prietaisai. Tačiau kilpinių audinių atraminis paviršius yra akivaizdus, t. y. kilpinių metmenų sistemos sudaromos kilpos (kilpinis pūkas). Kilpinių audinių atraminio paviršiaus dydis priklauso nuo kilpos aukščio, taip pat nuo audinio apdailos, pavyzdžiui, žalio (be apdailos) ir po plovimo / minkštinimo / tumbleravimo kilpinių audinių atraminių paviršių dydžiai skirsis.

Tekstilės medžiagų atsparumo dilinimui (bandinio suirimo (ADs) ir masės nuostolių (ADm) nustatymo) tyrimai buvo atlikti pagal standartus (LST EN ISO 12947-2: 2001, LST EN ISO 12947-3: 2001). Pagal minėtus standartus buvo nustatomas kilpinės medžiagos galutinis suirimas, kuriuo laikomas momentas, kai, nудilus audinio atraminiam paviršiui, pažeidžiamas audinio pagrindas, t. y. kai nutrūksta bent vienas pagrindo siūlas, taip sudarydamas matomą skylę. Dilinimo metu buvo vertinamas ne tik tam tikras sūkių skaičius, prie kurio bandinys suyra, bet taip pat įvertinami ir masės nuostoliai.

Medžiagų atsparumo dilinimui bandymai buvo atlikti su ramės / medvilniniais kilpiniais audiniais (Zr). Taip pat buvo atliktas tyrimas su ramės / medvilniniais audiniais be kilpinio pūko, kai ataudų tankumas – 12 cm^{-1} (R_{12}). Nustatant kitų pluoštinųjų kilpinių audinių atsparumą dilinimui, buvo atlikti tyrimai pasirenkant lininius / medvilninius kilpinius audinius su balintais kilpiniais metmenimis, kai yra 6 ir 9 mm kilpos. Tai žali ($Zb6$ ir $Zb9$) ir skalbti naudojant ploviklį / minkštiklį / tumbleruoti 120 min. ($Tb6^{120}$ ir $Tb9^{120}$) kilpiniai audiniai.

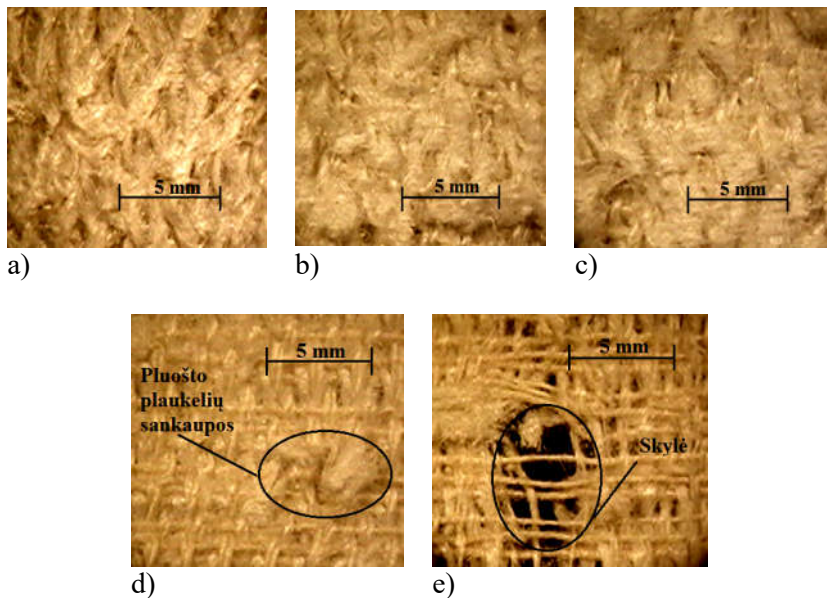
Žalių (be apdailos) ramės / medvilninių kilpinių audinių atsparumo dilinimui priklausomybė nuo audinio sandaros. Pirmiausia buvo iširti kilpiniai audiniai, turintys 12 cm⁻¹ ataudų tankumą ir skirtingą kilpų aukštį (*Zr4,5₁₂–Zr10,5₁₂*). Iš **3.27 pav.** matyti, kad audinys su 4,5 mm kilpomis suiro po 40 000 sūkių. Audinys su 6 mm kilpomis suiro jau po 25 000 sūkių. Kilpiniai audiniai, turintys didžiausias kilpas, t. y. nuo 7,5 iki 10,5 mm, suiro po 40 000 sūkių. Šių kilpinių audinių (*Zr4,5₁₂ – Zr10,5₁₂*) masės nuostoliai (*ADm*) kito nuo 1,29 iki 31,15 proc., priklausomai nuo dilinimo ciklų skaičiaus. Gauti tyrimai rodo, kad didžiausi *ADm* buvo tarp 15 000 ir 25 000 sūkių skaičiaus, todėl galima teigti, kad kilpiniai audiniai tinkamiausi eksploatuoti iki šios ribos. Autorių Ucar ir kt. (2009) straipsnyje nustatyta, kad dažno dėvėjimo požiūriu geriausias medvilninis kilpinis audinys yra 359 g/m², turintis 3,8 mm kilpas ir minkštintas silikoniniu minkštikliu.



3.27 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių *Zr4,5₁₂–Zr10,5₁₂* variantų masės nuostolių rezultatai

Kilpinio audinio dilinimo procesas vyksta maždaug vienodai ir nepriklauso nuo kilpos aukščio. Pavyzdžiui, audinio su 9 mm kilpomis (*Zr9₁₂*) masės nuostoliai ties tam tikru sūkių skaičiumi pavaizduoti **3.28 pav.** Taigi iš minėto paveikslėlio (a) matyti, kad po 5000 sūkių audinio kilpos susiveldavo, sudarydamos vientisą kilpų sluoksnį. Po 10 000 sūkių (b) matyti, kad iš suvelto vientiso kilpučių sluoksnio formuojasi pluošto plaukelių guzeliai, kurie dilinimo metu nukrenta nuo audinio paviršiaus. Po 15 000 sūkių (c) nuo audinio jau aktyviai pradeda kristi vis daugiau pluošto guzelių, todėl pradeda matytis kilpinio audinio pagrindas. Jau po 25 000 sūkių (d) matomas visas kilpinio audinio pagrindas ir susidariusios didelės pluošto plaukelių sankaupos, kurios vietomis tvirtai sukibusios su kilpinio audinio pagrindu. Šios susidariusios pluošto sankaupos, toliau tęsiant dilinimą (e), išplėšia audinio pagrindo pluoštą, taip palikdamos audinyje matomą skylę. Iš to matyti, kad pirmiausia suyra kilpinio audinio atraminis paviršius, t. y. kilpinis pūkas. Ulku, Ortlek ir Omeroğlu

(2003) teigia, kad pūkinis verpalų ilgis lemia audinių su šenilniais siūlais atsparumą dilinimui. Jų atlikti rezultatai rodo, kad greičiau iš audinio iškrito siūlų atkarpos su trumpu pūku (0,7 mm) nei su ilgesniu (1,0 mm). Kito straipsnio (Emirhanova, Kavusturan, 2008) autoriai, tyrę mezginių atsparumą dilinimui, nustatė, kad mažiausiai masės neteko kilpinis mežginys (po 40 000 sūkių tik 3–4 proc.). Taip pat autoriai pastebėjo, kad nors kilpinis mežginys turi labai mažą masės nuostolių rezultatą, bet po dilinimo turėjo blogiausias paviršiaus charakteristikas, palyginti su kitais mežginiais (Emirhanova, Kavusturan, 2008). Skaitant šį straipsnį buvo pastebėta, kad minėto kilpinio mežginio paviršiaus struktūra po dilinimo labai panaši į tirtų ramės / medvilninių kilpinių audinių struktūrą.

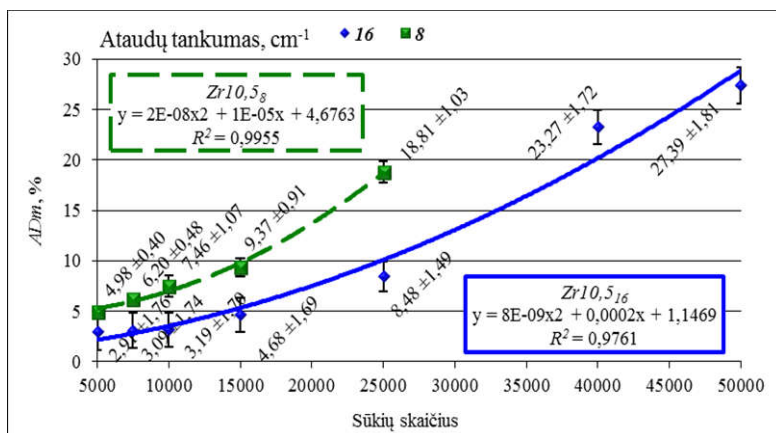


3.28 pav. Ramės / medvilninio kilpinio audinio $Zr9_{12}$ varianto vaizdo kitimas dilinimo metu: a) po 5000 sūkių; b) po 10 000 sūkių; c) po 15 000 sūkių; d) po 25 000 sūkių; e) po 40 000 sūkių

Nagrinėjant ramės / medvilninių kilpinių su 6 mm kilpomis ir skirtingu ataudų tankumu ($Zr6_{8-16}$) audinių atsparumą dilinimui, gauti rezultatai parodė, kad kuo audiniai tankesni, tuo daugiau geba atlaikyti dilinimo sūkių. Taigi audiniai su 8, 10, 12 cm^{-1} ataudų tankumu sudilo po 25 000 sūkių, o, esant 14 ir 16 cm^{-1} ataudų tankumui, suiro po 40 000 sūkių (**4 priedas, 4.1 pav.**). Iš visų nagrinėjamų šios grupės kilpinių audinių gautais rezultatais labiausiai išsiskyrė audinys su mažiausiu ataudų tankumu (8 cm^{-1}). Šis audinys jau po 5000 sūkių neteko 12,28 proc. visos audinio masės, o kiti audiniai tuo pačiu metu neteko tik nuo 1,31 iki 2,15 proc. masės. Todėl kilpinio audinio su 8 cm^{-1} ataudų tankumu patartina neekspluatuoti, kur yra paviršių trintis. Nagrinėjamų kilpinių audinių ($Zr6_{8-16}$) matematinė analizė parodė, kad informatyvus yra audinys, turintis didžiausią ataudų tankumą, nes nustatytas ryšys tarp dilinimo ciklų skaičiaus ir masės nuostolių priklausomybės, kur R^2 gali būti aprašomas įvairaus pobūdžio lygtimis, t. y. nuo 0,8851 iki 0,9775. Taip pat rastas ryšys

esant 5000 ir 15 000 sūkių tarp ataudų tankumo ir masės nuostolių (4 priedas, 4.2 pav.) ir gauti aukšti R^2 rezultatai.

Atlikti ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr10,5_{8-16}$ variantų rezultatai parodė, kad tankesnio pagrindo audinys taip pat geba atlaikyti daugiau dilinimo ciklų. Gauta, kad audiniai, kurių ataudų tankumas buvo 8 ir 10 cm^{-1} , suiro (ADs) po 25 000 sūkių, audiniai su 12 ir 14 cm^{-1} ataudų tankumu suiro (ADs) tik po 40 000 sūkių. O kilpinis audinys su 16 cm^{-1} ataudų tankumu suiro net po 50 000 sūkių (4 priedas, 4.3 pav.). Nagrinėjant audinių $Zr10,5_{8-16}$ variantų rezultatus po 5000 sūkių nustatyta, kad audiniai, turintys mažiausią ir didžiausią ataudų tankumą, neteko daugiausia audinio masės. Tačiau dėl stabilaus ir patvaraus audinio pagrindo audinys su didžiausiu ataudų tankumu atlaikė ilgiausią dilinimo laiką (50 000 sūkių). Taip pat rezultatai rodo, kad minėti audiniai (8 ir 16 cm^{-1} ataudų tankumu) pasižymi informatyvumu: nustatytas ryšys tarp sūkių skaičiaus ir masės nuostolių, aprašomas polinominiu lygtimi (3.29 pav.). Rezultatai rodo, kad kilpinio audinio sandara turi įtakos medžiagos dilinimui. O kiti autoriai (Emirhanova, Kavusturan, 2008; Kaynak, Topalbekiroğlu, 2008) nustatė, kad medžiagų dilinimas priklauso ne tik nuo audinio sandaros, bet ir nuo medžiagos pynimo rašto. Pavyzdžiui, didžiausi audinių masės nuostoliai po 15 000 ciklų buvo panamos ir satininio pynimo audinių – iki 9,59 proc., o mažiausi masės nuostoliai buvo ruoželinio pynimo audinių – iki 6,37 proc. (Kaynak, Topalbekiroğlu, 2008).



3.29 pav. Kilpinių audinių $Zr10,5_8$ ir $Zr10,5_{16}$ variantų masės nuostolių priklausomybė nuo dilinimo ciklų skaičiaus

Yra žinoma, kad nuo audinio atraminio paviršiaus dydžio labai priklauso audinių atsparumas dilinimui. Tie audiniai, kurių atraminis paviršius mažas, dyla daug greičiau negu audiniai su dideliu atraminiu paviršiumi (Matukonis ir kt., 1976). Tai patvirtina ir šiame disertaciniame darbe atliktas dilinimo bandymas su ramės / medvilniniu audiniu be kilpinio pūko (R_{12}), lyginant jį su kilpiniais audiniais. Gauti rezultatai parodė, kad šis audinys atlaikė tik 15 000 sūkių, o masės nuostoliai, keičiantis sūkių skaičiui, keitėsi nuo 0,50 iki 16,79 proc. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad pirmiausia pradėjo dilti metmenų sistemos medvilniniai verpalai. Tai galėjo reikšti,

kad medvilniniai verpalai buvo kaip atramins šio audinio paviršius, arba tai, kad ramės verpalai yra stipresni nei medvilniniai verpalai.

Žalių (be apdailos) lininių / medvilninių ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų kilpinių audinių atsparumo dilinimui priklausomybė nuo audinio sandaros ir apdailos. Nustatant medžiagos atsparumą dilinimui taip pat buvo atlikti tyrimai su lininiais / medvilniniais kilpiniais audiniais – tai *Zb6*, *Zb9* (žali) ir *Tb6*¹²⁰, *Tb9*¹²⁰ (po šlapiosios apdailos ir tumbleruoti). Žalias (be apdailos) audinys su 6 mm kilpomis suiro po 40 000 sūkių, o šio audinio *ADm* keitėsi nuo 2,11 iki 25,84 proc. *Zb9* variantas su 9 mm kilpomis *ADs* po 25 000 dilinimo ciklų, o jo masės nuostoliai keitėsi nuo 3,92 iki 26,30 proc. Gauti rezultatai rodo, kad audinys su didesnėmis kilpomis (*Zb9*) masės neteko daugiau negu su mažesnėmis kilpomis (*Zb6*). Nagrinėjant lininius / medvilninius kilpinius audinius su apdaila, buvo pasirinkti kilpiniai audiniai, tumbleruoti 120 minučių. Taigi audinio *Tb6*¹²⁰ varianto masės nuostoliai keitėsi nuo 2,58 iki 21,64 proc., o audinio *Tb9*¹²⁰ varianto – nuo 1,92 iki 22,39 proc., priklausomai nuo dilinimo ciklų skaičiaus. Taip pat šie audiniai sudilo tik po 50 000 sūkių. Rezultatai rodo, kad audinys su 6 mm kilpomis po 5000 sūkių neteko daugiau audinio masės nei audinys, turintis 9 mm kilpas, po tiek pat sūkių. Tačiau jau po 50 000 sūkių audinys, turintis 9 mm kilpas, buvo daugiau netekęs audinio masės. Taip pat šių abiejų nagrinėjamų su apdaila variantų rezultatus galima aprašyti matematiškai, nes rastas stiprus ryšys tarp dilinimo ciklų skaičiaus ir masės nuostolių ($R^2 = 0,9948\text{--}0,9975$) (**4 priedas, 4.4 pav.**). Lyginant tarpusavyje žalius (be apdailos) ir su apdaila kilpinių audinių masės nuostolių rezultatus matyti, kad daugiausia audinio masės neteko audiniai be apdailos. Tai galima paaiškinti tuo, kad žalio (be apdailos) audinio kilputės yra standžios, todėl jos greičiau nudilinamos nuo audinio paviršiaus negu minkštos, paslankios kilpos po apdailos. Tai, kad apdaila turi įtakos audinių dilimui, nustatė Kavuşuran, Çeven (2010), kurie teigia, kad po verpalų apdailos mechaninės ir fizikinės medžiagos savybės pasikeičia, palyginti su medžiagomis be apdailos.

Atlikus atsparumo dilinimui statistinę analizę nustatyta, kad žalių ramės / medvilninių ir žalių be apdailos ir su apdaila lininių / medvilninių kilpinių audinių santykinė paklaida yra nuo 2,69 iki 19,59 proc., o šių audinių variacijos koeficientas nuo 2,52 proc. iki 18,56 proc. Atliekant minėtų audinių bandymus buvo kartais gautos didelės paklaidos (> 20 proc.), dažniausiai esant didžiausiam sūkių skaičiui.

Kilpinių audinių atsparumo dilinimui skyriaus apibendrinimas. Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių medžiagos atsparumo dilinimui tyrimus galima teigti, kad kilpos aukštis neturi įtakos audinio dilimui. Išnagrinėjus kilpinius audinius su skirtingu kilpos aukščiu, rezultatai parodė, kad audiniai su 4,5 mm, 7,5 mm, 9 mm ir 10,5 mm kilpomis atlaikė 40 000 sūkių, audinys su 6 mm atlaikė tik 25 000 sūkių, o masės praradimo intensyvumas įvairių variantų nebuvo vienodas – maždaug nuo 1,29 proc. iki 31,15 proc., keičiant sūkių skaičių nuo 5000 iki 25 000 (40 000).

Nagrinėjant ramės / medvilninius kilpinius audinius su skirtingu ataudų tankumu, nustatyta, kad atsparumas dilinimui priklauso nuo ataudų takumo, t. y. atspariausi buvo kilpiniai audiniai, kurių ataudų tankumas didžiausias (iki 50 000). Šių

audinių masės nuostoliai buvo nuo 0,97 iki 32,24 proc., didinant dilinimo skaičių. O ramės / medvilniniai audiniai (be kilpinio pūko) atlaikė mažiausiai dilinimo ciklą – 15 000, jų masės nuostoliai – nuo 0,50 iki 16,79 proc., keičiantis ciklą skaičiams.

Išnagrinėjus žalius lininius / medvilninius kilpinius audinius gauta, kad audinys su 6 mm kilpomis suiro po 40 000 sūkių, o audinys su 9 mm kilpomis suiro jau po 25 000 sūkių. Audiniai po apdailos su 6 ir 9 mm kilpomis suiro po 50 000 sūkių. Lyginant tarpusavyje žalius (be apdailos) ir su apdaila kilpinių audinių masės nuostolių rezultatus matyti, kad daugiausia audinio masės neteko žali audiniai.

3.3.2.2. Kilpinių audinių laidumo orui analizė

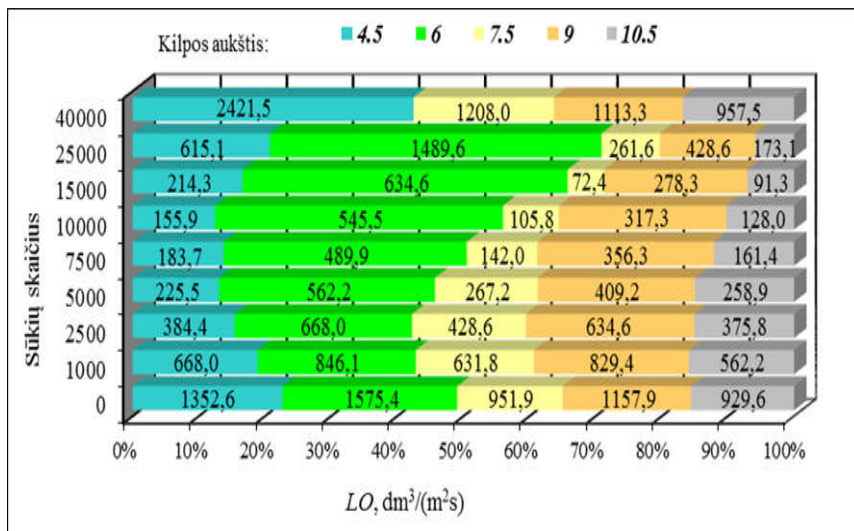
Dauguma tyrėjų tvirtina, kad medžiagų laidumas orui yra viena pagrindinių termofiziologinių savybių, ypač tų medžiagų, kurios turi tiesioginį kontaktą su oda: lengvi drabužiai, taip pat medicinos ir higienos gaminiai. Šiai medžiagų grupei priklauso ir kilpiniai audiniai. Angelova ir kt. (2013) nustatė, kad laidumui orui daugiausia įtakos turi audinio akytumas, kuris yra susijęs su audinio konstrukcija ir geometrinėmis charakteristikomis. Tai yra siūlo tipas (gija ar verpalas), modelis (pirminiai, antriniai ar sudėtingos struktūros), metmenų ir ataudų tankumas, audinio storis ir t. t. (Angelova ir kt., 2013). Daugelis tyrėjų aprašo ryšį tarp laidumo orui ir audinių struktūros, atsižvelgdami į konstrukcinius audinio parametrus, t. y. metmenų ir ataudų susikirtimo taškus, siūlų ilginį tankį, pynimo raštą ir t. t. (Emirhanova, Kavusturan, 2008; Havlová ir kt., 2014; Ogulata, Mavruz, 2010).

Šiame darbe laidumo orui eksperimentai buvo atlikti su tų audinių variantais, kuriems buvo atlikti medžiagos atsparumo dilinimui bandymai: tai ramės / medvilniniai (Zr) kilpiniai audiniai, lininiai / medvilniniai žali (Zb) ir su apdaila (Tb^{120}) kilpiniai audiniai. Laidumo orui rezultatai buvo fiksuojami jau po 1000 sūkių, nes bandymo metu pastebėtas didelis laidumo orui rezultatų kitimas nuo dilinimo pradžios.

Žalių (be apdailos) ramės / medvilnės kilpinių audinių laidumo orui priklausomybė nuo audinio sandaros. Analizuojant ramės / medvilninių ($Zr4,5_{12}$ – $Zr10,5_{12}$) kilpinių audinių gautus laidumo orui rezultatus pastebėta, kad, didėjant dilinimo ciklą skaičiui, pradžioje laidumas orui mažėja, o po tam tikro ciklą skaičiaus laidumas orui pradeda didėti. Taip yra dėl to, kad pradžioje dilinimo audinio paviršius pasidengia pluošto plaukeliais ir pumpurėliais, tuo sumažindamas audinio pralaidumą orui. Vėliau pluošto plaukeliai ir susidarę pumpurėliai atitrūksta nuo audinio paviršiaus: audinys pradeda retėti, ir laidumas orui padidėja.

Iš **3.30 pav.** matyti, kad audinio su 4,5 mm kilpomis laidumas orui prieš dilinimą buvo $1352,6 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$, po 10 000 dilinimo ciklą skaičiaus laidumas orui sumažėjo net 88,5 proc., palyginti su pradiniu laidumo orui rezultatu. Tačiau nuo 10 000 iki 40 000 dilinimo ciklą skaičiaus laidumas orui dėl iškritusių pluoštų plaukelių padidėjo iki $2421,5 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$. Kilpinių audinių su 6 mm kilpomis laidumas orui keitėsi nuo $1575,4$ iki $1489,6 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$, kur po 7500 sūkių laidumas orui sumažėjo iki $489,9 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$. Kilpinio audinio, turinčio nuo 7,5–10,5 mm kilpas, laidumas orui mažiausias buvo po 15 000 dilinimo ciklą skaičiaus. Minėtų kilpinių audinių laidumas orui keitėsi nuo $929,6$ iki $1208,0 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$, keičiantis dilinimo

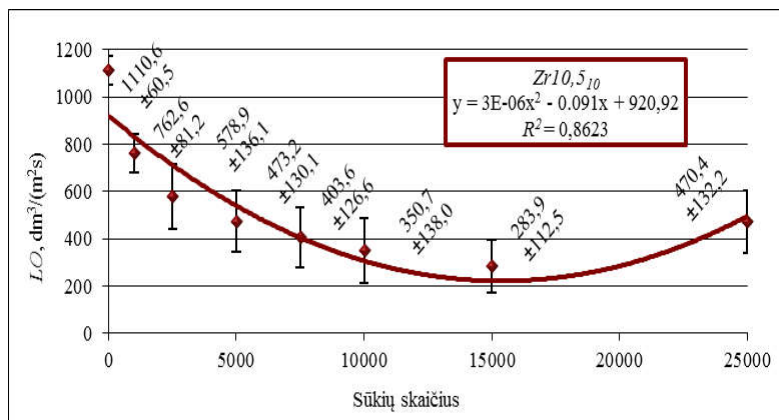
ciklų skaičiams. Šią audinių laidumo orui mažėjimo ir didėjimo tendenciją pastebėjo (Kumpikaitė ir kt., 2010a; Padleckienė, Petrulis, 2009) autoriai, kurie tyrė megztinių medžiagų laidumo oro priklausomybę nuo dilinimo ciklų skaičiaus. Gauti rezultatai taip pat parodė, kad, didėjant dilinimo ciklų skaičiui, medžiagų laidumas orui pradžioje mažėja, nes pumpuravimasis uždengia mezginio paviršių. Tačiau po tam tikro ciklų skaičiaus pradeda didėti, nes dilinimo metu pluošto pumpurėliai savaime pasišalina, todėl mezginyus pradeda plonėti, ir atsiranda skylių (Kumpikaitė ir kt., 2010a).



3.30 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių Zr4,5–Zr10,5 variantų laidumo orui rezultatai

Buvo lyginami kilpiniai audiniai, kurių kilpos yra 6 mm ir skirtingas ataudų tankumas (**5 priedas, 5.1 pav.**). Gauti rezultatai parodė, kad, didėjant dilinimo ciklų skaičiui, pradžioje laidumas orui mažėja, o po tam tikro ciklų skaičiaus pradeda didėti. Kilpinių audinių Zr6₈, Zr6₁₀ ir Zr6₁₂ variantų laidumas orui, keičiantis dilinimo ciklų skaičiui, keitėsi nuo 1447,3 iki 2444,9 dm³/(m²s). Po 7500 dilinimo ciklų minėtų audinių laidumas orui sumažėjo nuo 68,9 iki 76,5 proc., palyginti su pradiniais laidumo orui rezultatais. Audinio Zr6₁₀ varianto rezultatai gauti informatyvūs, todėl aprašomi matematiškai, esant stipriam ryšiui tarp dilinimo ciklų skaičiaus ir laidumo orui, kur $R^2 = 0,8164$. Nagrinėjant kilpinius audinius su 14 cm⁻¹ ir 16 cm⁻¹ ataudų tankumu, gauti rezultatai smarkiai skiriasi nuo mažesnį ataudų tankumą turinčių audinių rezultatų – jie buvo mažesni: 584,5 iki 1213,5 dm³/(m²s). Taip pat laidumas orui mažėjo po 15 000 dilinimo ciklų skaičiaus iki 87,6 proc., palyginti su pradiniais laidumo orui rezultatais. Gauti rezultatai parodė, kad, esant didesniai ataudų tankumui, laidumas orui mažėja, tam turi įtakos tankesnis audinio pagrindas. Taip pat esant pradiniam laidumo orui ir po 1000 dilinimo ciklų rasta priklausomybė tarp ataudų ir laidumo orui. Gauti aukšti apibrėžties koeficientai, kur R^2 iki 0,9488 (**5 priedas, 5.2 pav.**). Taip pat ir Rombaldoni ir kt. (2009) teigia, kad laidumas orui priklauso nuo ataudų ir metmenų tankumo, taip pat žaliavos, audinio storio, t. y. kuo

audinys plonesnis ir kuo jo ataudų ir metmenų tankumas mažesnis, tuo jis yra laidesnis orui (Rombaldoni ir kt., 2009).



3.31 pav. Kilpinio audinio $Zr10,5_{10}$ varianto laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo ciklų skaičiaus

Laidumui orui nustatyti buvo atlikti bandymai su ramės / medvilniniais kilpiniais audiniais, kurie buvo 10,5 mm kilpomis ($Zr10,5_{8-16}$) ir skyrėsi tarpusavyje ataudų tankumu (**5 priedas, 5.3 pav.**). Gauti rezultatai patvirtina prieš tai gautus rezultatus, kad, didėjant dilinimo ciklų skaičiui, kilpinio audinio laidumas orui mažėja, nes audinio kilpos susivelia ir dėl to uždengia audinio paviršių. Tačiau po tam tikro ciklų skaičiaus laidumas orui pradeda didėti, nes dilinimo metu audinio kilpos sutrūkinėja ir savaime pasišalina, todėl audinys tampa laidesnis orui. Taigi kilpinių audinių su 8 cm⁻¹ ataudų tankumu laidumas orui keitėsi esant 1714,5 iki 835,0 dm³/(m²s) ir su 10 cm⁻¹ ataudų tankumu – nuo 1110,6 iki 470,4 dm³/(m²s). Po 10 000 dilinimo ciklų $Zr10,5_8$ varianto laidumas orui buvo pats mažiausias – 272,8 dm³/(m²s), o $Zr10,5_{10}$ varianto laidumas orui sumažėjo po 15 000 dilinimo ciklų. Kilpinio audinio $Zr10,5_{10}$ varianto rezultatas gautas informatyvus, todėl aprašomas matematiškai, esant stipriam ryšiui tarp dilinimo ciklų skaičiaus ir laidumo orui (**3.31 pav.**). Kilpinių audinių su 12 ir 14 cm⁻¹ ataudų tankumu laidumas orui keitėsi atitinkamai nuo 929,6 iki 957,5 dm³/(m²s) ir nuo 723,7 iki 233,8 dm³/(m²s). Po 15 000 dilinimo ciklų $Zr10,5_{12}$ varianto laidumas orui sumažėjo iki 90,2 proc., o $Zr10,5_{14}$ varianto – 84,2 proc. Audinio $Zr10,5_{16}$ laidumas orui pats mažiausias iš nagrinėjamų $Zr10,5_{8-16}$ variantų – nuo 540,0 iki 325,7 dm³/(m²s). Iš gautų rezultatų matome, kad laidumas orui priklauso nuo ataudų tankumo: didėjant ataudų tankumui, mažėja laidumas orui. Tai patvirtina ir Zupin ir kt. (2012), kurie teigia, kad metmenų ir ataudų tankumas turi didelę įtaką laidumui orui.

Taip pat buvo atlikti laidumo orui tyrimai su ramės / medvilniniais audiniais be kilpinio pūko (R_{8-16}), nepaveiktais jokiais mechaniniais poveikiais (šiuo atveju dilinimu). Taigi nagrinėjant audinių R_{8-16} variantus nustatyta, kad, didėjant ataudų tankumui, laidumas orui mažėja nuo 1697,8 iki 540,0 dm³/(m²s). Lyginant audinio R_8 variantą su R_{16} variantu, nustatyta, kad laidumas orui sumažėjo net 214,4 proc. Taip pat nustatytos empirinės priklausomybės tarp laidumo orui ir ataudų tankumo,

aprašant rezultatus įvairaus pobūdžio lygtimis, gauti aukšti apibrėžties koeficientai (R^2 nuo 0,9104 iki 0,9861). O su ramės / medvilniniu audiniu (be kilpinio pūko) su 12 cm^{-1} ataudų tankumu (R_{12}), atliktas išsamesnis laidumo orui tyrimas, t. y. buvo atliktas šio audinio dilinimas. Analizuojant R_{12} variantą gauta, kad jo laidumas orui prieš dilinimą buvo $779,3\text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$. Po 2500 sūkių laidumas orui sumažėjo iki minimumo ($247,7\text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$), o po 15 000 sūkių laidumas orui pasiekė maksimumą – $1074,4\text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$.

Žalių (be apdailos) lininių / medvilninių ir skalbtų su plovikliu / minkštikliu / tumbleruotų kilpinių audinių laidumo orui priklausomybė nuo audinio sandaros ir apdailos. Nustatant laidumą orui buvo atlikti tyrimai su lininių / medvilninių kilpinių audinių $Zb6$, $Zb9$ (be apdailos) ir $Tb6^{120}$, $Tb9^{120}$ (su apdaila) variantais. Šių tyrimų rezultatai parodė, kad daug laidesni orui – iki 2,9 karto – buvo žali (be apdailos) audiniai nei apdailą patyrę kilpiniai audiniai, palyginti su rezultatais, gautais prieš dilinimą. Zampetakis ir kt. (2009) taip pat tyrė žalių ir po intensyvaus skalbimo medvilnės audinių laidumą orui. Buvo nustatyta, kad po intensyvaus skalbimo audinio laidumas orui sumažėjo 1,7 karto, palyginti su žaliu audiniu (Zampetakis ir kt., 2009). Taigi šioje disertacijoje žalio kilpinio audinio su 6 mm kilpomis laidumas orui keitėsi nuo $771,0$ iki $565,0\text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$, o audinio su 9 mm kilpomis laidumas orui pakito nuo $818,3$ iki $1175,7\text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$, keičiant dilinimo ciklą skaičių. Audinio $Zb6$ varianto laidumas orui sumažėjo 64,6 proc. (palyginti su pradiniu) po 25 000 sūkių, o $Zb9$ varianto laidumas orui sumažėjo 60,9 proc. jau po 15 000 sūkių. Skalbto su plovikliu / minkštikliu / tumbleruoto 120 min. $Tb6$ varianto laidumas orui keitėsi nuo $267,2$ iki $130,8\text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$, o audinio $Tb9$ varianto – nuo $281,1$ iki $158,7\text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$. Kilpinio audinio $Tb6^{120}$ varianto laidumas orui, palyginti su pradiniu, sumažėjo 65,6 proc. ir $Tb6^{120}$ varianto – tik 58,4 proc., po abiejų variantų 15 000 dilinimo ciklų. Taip pat kilpinių audinių $Tb6^{120}$ ir $Tb9^{120}$ variantus galima aprašyti matematiškai, esant vidutiniam ryšiui tarp dilinimo ciklų skaičiaus ir laidumo orui.

Taigi iš gautų rezultatų matome, kad žali kilpiniai audiniai yra laidesni orui nei audiniai su apdaila. Manoma, kad didžiausią audinių laidumą orui nulėmė žalios statmenos ir taisyklingos formos kilpos audinio paviršiuje, pro kurias lengvai praeina oro srautas. O po tumbleravimo apdailos padidėja verpalų minkštumas, todėl sumažėja oro tarpai tarp verpalų, ir audinys tampa mažiau laidus orui. Tai, kad laidumas orui po tam tikros apdailos sumažėja, patvirtina ir kitų darbų autoriai (Baltakytė, Petrulytė, 2008; Guo, 2003; Rombaldoni, Demichelis, 2009; Zampetakis ir kt., 2009). Tyrimo rezultatai parodė, kad, ilgėjant tumbleravimo trukmei, audinių laidumas orui mažėja, nes siūlai tampa putlesni, mažėja atstumai tarp jų, kilpos užkloja viena kitą, įsiterpia viena į kitą, kai kurios persisuka, sumažėja oro tarpai centrinėje kilpos dalyje (Baltakytė, Petrulytė, 2008).

Atlikti kilpinių audinių laidumo orui tyrimai parodė, kad lininiai / medvilniniai audiniai yra mažiau laidūs orui nei ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai. Tam turėjo įtakos ne tik pluoštinė audinių sudėtis, bet ir skirtingi šių audinių pynimai (**2.1** ir **2.2 pav.**). Kito straipsnio autoriai (Sekerden, 2011; Zupin ir kt., 2012) tyrė, kas turi didžiausią įtaką laidumui orui: ar audinio pynimas, ar pluoštinė sudėtis? Tyrimo rezultatai parodė, kad laidumui orui didžiausią įtaką turi audinio pynimas, o lai-

džiausi buvo audiniai, turintys mažesnę skaičių sampynų ir didesnes siūlų perdangas (Sekerden, 2011; Zupin ir kt., 2012).

Atlikus laidumo orui statistinę analizę nustatyta, kad žalių ramės / medvilninių ir žalių be apdailos ir su apdaila lininių / medvilnės kilpinių audinių santykinė paklaida yra nuo 2,69 iki 19,8 proc., o šių audinių variacijos koeficientas – nuo 2,5 proc. iki 18,9 proc. Taip pat, kaip ir po atsparumo dilinimui ir oro laidumo po didžiausio sūkių skaičiaus, buvo gautos didelės paklaidos, t. y. daugiau nei 20 proc.

Kilpinių audinių laidumo orui skyriaus apibendrinimas. Analizuojant audinių laidumo orui rezultatus gauta, kad, didėjant dilinimo ciklų skaičiui, pradžioje laidumas orui mažėja, o po tam tikro ciklų skaičiaus pradeda didėti. Ši tendencija buvo pastebėta nagrinėjant kilpinius audinius su skirtingu kilpų aukščiu (4,5–12 mm), ataudų tankumu (8–20 cm⁻¹), įvairiomis pluoštinėmis sudėtimis (ramės / medvilnės ir lininiai / medvilnės), taip pat esant žaliems (be apdailos) ir po apdailos (skalbti naudojant ploviklį / minkštinti / tumbleruoti) audiniams.

Nagrinėjant ramės / medvilnės kilpinius audinius su skirtingu kilpų aukščiu nustatyta, kad laidumas orui buvo nuo 929,6 iki 2421,5 dm³/(m²s), lyginant nedilintus ir keičiant dilinimo ciklų skaičių. Gauti rezultatai rodo, kad laidumui orui, kaip ir dilinimui, neturi įtakos kilpos aukštis. Ramės / medvilninių kilpinių audinių su skirtingu ataudų tankumu laidumas orui buvo 540,0 iki 2761,1 dm³/(m²s), lyginant nedilintus ir keičiant dilinimo ciklų skaičių. Šie gauti rezultatai rodo, kad laidumas orui priklauso nuo ataudų tankumo: ataudų tankumui didėjant, laidumas orui mažėja. Žalių ramės / medvilninių audinių (be kilpinio pūko) laidumo orui rezultatai parodė, kad, didėjant ataudų tankumui, laidumas orui taip pat mažėjo.

Nustatant laidumą orui buvo atlikti tyrimai su žaliais (be apdailos) ir po apdailos lininiais / medvilniniais kilpiniais audiniais. Šių tyrimų rezultatai parodė, kad laidžiausi orui buvo žali (be apdailos) audiniai, o po apdailos kilpinių audinių laidumas orui buvo nuo 2,9 iki 14,0 karto mažesnis. Manoma, kad didžiausią žalių audinių laidumą orui nulėmė statmenos kilpos, pro kurias lengvai praeina oro srautas, o po apdailos padidėja verpalų minkštumas, ir audinys tampa mažiau laidus orui.

3.4 Kilpinių audinių charakteristikų koreliacijos tyrimas

Atlikus ramės / medvilnės (Z_r) kilpinių audinių statistinių charakteristikų skaičiavimus, buvo ieškoma, ar yra reikšmingas skirtumas tarp tirtų rodiklių, t. y.:

- ✓ paviršinio tankio (\bar{X}_{PT}) ir vandens garų absorbcijos (\bar{X}_{VGA});
- ✓ paviršinio tankio (\bar{X}_{PT}) ir vandens išgarinimo (\bar{X}_{VI}), pasirenkant: 10 min. (mažiausias vandens išgarinimo laikas), 40 min. (standartinis matavimo laikas (FTTS-FA-004)) ir 60 min. (didžiausias vandens išgarinimo laikas, kurį galima aprašyti matematiškai ir kuris tinka visiems audinių Z_r variantams);
- ✓ paviršinio tankio (\bar{X}_{PT}) ir pūko kilpos atsparumo ištraukimui (\bar{X}_{KAI}), pasirenkant 10 mm ištįsą (standartinis matavimo rezultatas (LST EN 15598: 2008));

- ✓ audinio masės nuostolio (\bar{X}_{ADm}) ir paviršinio tankio (\bar{X}_{PT}), pasirenkant masės nuostolių vidurkių rezultatus po 15 000 sūkių, nes po 15 000 sūkių kai kurie gaminiai negalėtų tikti eksploatuoti;
- ✓ paviršinio tankio (\bar{X}_{PT}) ir laidumo orui (\bar{X}_{LO}), pasirenkant: pradinį momentą (nedėvimo) ir po 15 000 sūkių skaičių (nusidėvėjimo laiką).

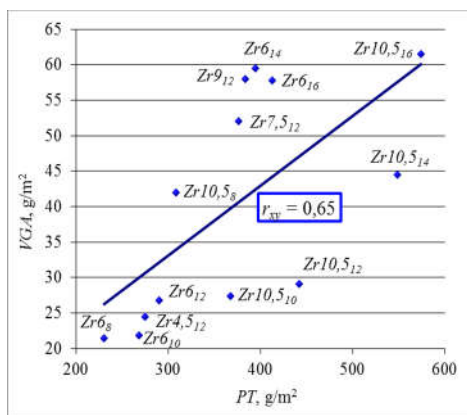
3.1 lentelė. Ramės / medvilninių kilpinių audinių *Stjudento* koeficientų vertės

Variantai	\bar{X}_{PT} ir \bar{X}_{VGA}	\bar{X}_{PT} ir \bar{X}_{VI}			\bar{X}_{PT} ir \bar{X}_{KAI}	\bar{X}_{ADm} ir \bar{X}_{PT}	\bar{X}_{PT} ir \bar{X}_{LO}	
		10 min.	40 min.	60 min.	10 mm	15 000 sūkių	pradinis	15 000 sūkių
Zr4,5 ₁₂	110,3	76,8	87,7	99,3	6,6	129,2	94,0	3,3
Zr6 ₁₂	188,9	140,8	100,4	148,0	3,0	176,3	226,0	5,9
Zr7,5 ₁₂	47,0	41,0	44,5	48,0	3,1	60,1	44,4	36,6
Zr9 ₁₂	73,3	65,6	66,6	70,7	2,6	95,7	40,7	8,4
Zr10,5 ₁₂	61,8	51,9	52,7	57,3	1,5	73,3	59,5	35,0
Zr6 ₈	58,3	38,0	47,4	53,2	5,4	66,2	78,4	14,0
Zr6 ₁₀	25,7	18,0	21,1	24,2	2,7	30,2	40,0	2,8
Zr6 ₁₄	86,2	78,6	83,4	88,5	2,7	112,4	41,2	37,3
Zr6 ₁₆	68,5	61,8	64,2	68,8	13,6	88,2	13,9	58,6
Zr10,5 ₈	48,9	40,4	45,2	50,0	6,1	62,1	31,4	2,0
Zr10,5 ₁₀	81,4	65,8	71,6	74,5	1,6	96,7	31,2	1,8
Zr10,5 ₁₄	77,9	70,1	66,5	70,0	1,6	94,8	19,2	49,0
Zr10,5 ₁₆	59,8	56,1	57,8	59,8	0,5	74,4	2,8	50,5

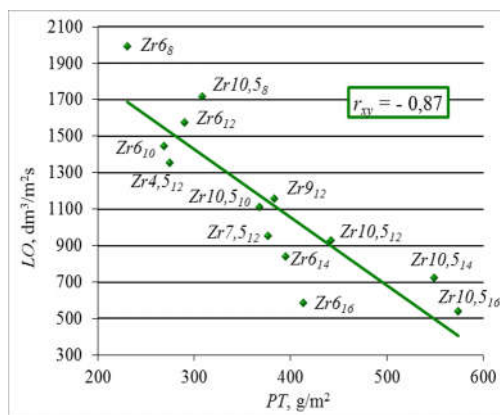
Šių skirtumų objektyvumas patikrinamas taikant *Stjudento* koeficientą (t_α). Apskaičiuotos t_α vertės lyginamos su jos verte, atitinkančia pasikliautiną tikimybę $\alpha = 0,95$ ($t_{\alpha 95}$). Jei $t_\alpha > t_{\alpha 95}$, skirtumas tarp rezultatų \bar{X}_1 ir \bar{X}_2 yra reikšmingas, jei $t_\alpha < t_{\alpha 95}$, skirtumas tarp rezultatų nėra reikšmingas.

Gauti rezultatai parodė, kad $t_\alpha > t_{\alpha 95}$, vadinasi, skirtumai tarp tirtų rodiklių yra reikšmingi (**3.1 lent.**). Išskyrus paviršinio tankio ir pūko kilpos atsparumo ištraukimui (\bar{X}_{PT} ir \bar{X}_{KAI}) kai kuriuos gautus rezultatus, nes gauti skirtumai tarp minėtų rodiklių yra mažai reikšmingi arba nereikšmingi. Norint padaryti tikslesnes išvadas apie šių skirtumų reikšmingumą, reikia atlikti daugiau stebėjimų.

Taip pat buvo įvertintas ramės / medvilninių kilpinių audinių koreliacinio ryšio stiprumo tarp parametrų X ir Y lygis, t. y. nustatyta, kiek koreliacinė priklausomybė artima funkcinei priklausomybei (2.3 posk. 2.13 formulė). Taip pat nustatoma ryšio forma. Tai yra koreliacijos koeficiento vertės gaunamos tarp pliuso, nes tarp parametrų yra tiesinė tiesioginė koreliacinė priklausomybė (**3.32 pav. a**), ir minuso, nes tarp parametrų yra tiesinė atvirkštinė koreliacinė priklausomybė (**3.32 pav. b**).



a)



b)

3.32 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių r_{xy} : a) paviršinio tankio ir vandens garų absorbcijos koreliacijos koeficientas; b) paviršinio tankio ir laidumo oro koreliacijos koeficientas

3.2 lentelė. Ramės / medvilninių kilpinių audinių koreliacijos koeficiento vertės

$\overline{X_{PTi}}$ $\overline{X_{VGA}}$	$\overline{X_{PT}}$ ir $\overline{X_{VI}}$			$\overline{X_{ADm}}$ ir $\overline{X_{PT}}$				$\overline{X_{PTir}}$ $\overline{X_{KAI}}$	$\overline{X_{PT}}$ ir $\overline{X_{LO}}$					
	min.			sūkių skaičius				ištįsa, mm	pradinis	sūkių skaičius				
	10	40	60	5000	10000	15000	25000	10		1000	5000	10000	15000	25000
0,65	0,43	0,64	0,78	- 0,45	- 0,62	- 0,81	- 0,82	0,38	- 0,87	- 0,80	- 0,54	- 0,59	- 0,71	- 0,75

Iš **3.2 lentelės** matome, kad \bar{X}_{PT} ir \bar{X}_{VI} , \bar{X}_{ADm} ir \bar{X}_{PT} koreliacijos koeficiento rezultatai didėja. Paviršinio tankio (\bar{X}_{PT}) ir laidumo orui (\bar{X}_{LO}) koreliacijos koeficiento rezultatai rodo, kad r_{xy} pradžioje mažėja, o po 15 000 sūkių – didėja. Tačiau paviršinio tankio ir vandens garų absorbcijos, taip pat pūko kilpos atsparumo ištraukimui koreliacijos koeficientai nėra pakankami. Tačiau galima daryti išvadą apie esamą sąryšį net ir tuomet, kai $|r_{xy}|$ reikšmės yra mažesnės, jei tokios išvados pagrindas – fizikinė sąryšio reikšmė. Taigi nuo audinio paviršinio tankio priklauso ne tik fizikinės savybės, bet ir mechaninės savybės, kurios itin reikšmingos audinio arba verpalų perdirbimui ir naudojimui.

3.5 Tyrimo rezultatų praktinio pritaikymo galimybės ir rekomendacijos

Iš šio darbo rezultatų matyti, kad po kilpinių audinių apdailos gali iš esmės pasikeisti audinio išvaizda ir sandara, turinti įtakos audinio fizikinėms ir mechaninėms

savybėms. Dažniausiai šie pasikeitimai pagerina audinio savybes, tačiau jie reikalauja ir didesnių audinio gamybos kaštų. Pavyzdžiui, reikalinga brangi įranga, skirta audinio apdailai, o cheminių medžiagų naudojimas apdirbant yra kenksmingas aplinkai. Taip pat reikalinga ilgesnė gamybos linija, kurios metu sunaudojama daug energijos ir t. t. Dėl šių ir kitų priežasčių būtina ieškoti alternatyvų, kurios leistų atsisakyti kenksmingų medžiagų mažinant išteklių ir energijos naudojimą gamybos procesuose. Naujos natūralios medžiagos nereikalauja didelių gamybos kaštų, o produkto gamyba būtų *draugiška* gamtai.

Taigi, siekiant išplėsti kilpinių audinių iš natūralių pluoštų (lino, medvilnės, kanapės) asortimentą, galima naudoti ramės pluošto verpalus gaminant kilpinius audinius. Ramės pluoštas nereikalauja ilgų apdailos operacijų, nes jis yra natūraliai šilkinio blizgesio ir labai minkštas. Disertacinio darbo rezultatai leidžia teigti, kad:

- Ramės / medvilniniai audiniai yra iki 2 kartų lengvesni ir iki 4 kartų laidesni orui nei lininiai, lininiai / medvilniniai kilpiniai audiniai (lininių ir lininių / medvilninių kilpinių audinių oro laidumo rezultatai pateikti Baltakytės (2009) disertacijos darbe), todėl ramės / medvilniniai gaminiai gali būti rekomenduojami vartotojui, kuriam aktualus gamino natūralumas ir lengvumas. Be to, audinio masė svarbi ir gamintojui, nes tai susiję su audinio kaštais.
- Kilpinis audinys, kurio ataudų tankumas yra 12 cm^{-1} ir kilpos aukštis 9 mm, pasižymi geriausia vandens garų absorbcija, todėl labiausiai tiktų drėgmę sugeriantiems gaminiams, pavyzdžiui, rankšluosčiams. O, ramės / medvilniniai audiniai, kurių kilpos aukščiai ir / ar ataudų tankumai didesni, galėtų būti naudojami aprangai, nes šie audiniai yra minkšti, švelnūs ir šilti.
- Pūko kilpos atsparumo ištraukimui požiūriu atspariausias yra audinys, kurio mažiausias kilpos aukštis ir didžiausias ataudų tankumas. Vadinasi, šis audinys gali būti naudojamas ten, kur yra didelė trintis, pavyzdžiui, patiesalams, kilimėliams ir pan. gaminti.
- Kilpiniai audiniai su didesniu ataudų tankumu ($12, 14, 16 \text{ cm}^{-1}$) yra atspariausi dėvėjimui, o audiniai, turintys mažesnę ataudų tankumą ($8, 10 \text{ cm}^{-1}$), negali būti eksploatuojami ten, kur yra didelė paviršių trintis.

Atlikti ramės / medvilninių, kanapinių / medvilninių, lininių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių tyrimų rezultatai papildė duomenų bazę, kurią naudojant galima kurti naujus aukštos kokybės kilpinius audinius, o nustatyti matematiniai ryšiai leidžia prognozuoti sandaros, geometrinius, fizikinius ir mechaninius kokybės rodiklius.

4. IŠVADOS

1. Ramės / medvilninio kilpinio audinio paviršiniam tankiui didelę įtaką turi audinio sandara: didinant kilpos aukštį nuo 4,5 iki 10,5 mm, audinių paviršinis tankis padidėjo nuo 274,8 iki 441,9 g/m², o, didinant ataudų tankumą nuo 8 iki 16 cm⁻¹, paviršinis tankis padidėjo nuo 230,4 iki 574,2 g/m². Nustatyta, kad egzistuoja stiprus ryšys tarp audinio sandaros rodiklio ir paviršinio tankio: aprašant priklausomybes tiesinėmis lygtimis, apibrėžties koeficientas $R^2 = 0,9393 - 0,9755$.
2. Nustatyta, kad kilpinių audinių su ramės kilpiniais metmenimis kilpiniai metmenys sudaro nuo 54,8 iki 74,4 proc. Be to, didėjant kilpos aukščiui ir ataudų tankumui, didėja ramės kilpinių metmenų procentinis kiekis. Audinių su lininiais ir kanapiniais kilpiniais metmenimis kilpiniai metmenys sudaro nuo 60,1 iki 76,9 proc. Nustatyta, kad, esant didesniai kilpos aukščiui ir mažesniai apdailos veiksmų skaičiui, didėja lininių ir kanapinių kilpinių metmenų siūlų sistemos procentinė sudėtis.
3. Tiriant ramės / medvilninius kilpinius audinius nustatyta, kad ataudų tankumas turi didesnę įtaką vandens garų absorbcijai nei kilpos aukštis. Rezultatai rodo, kad vandens garų absorbcija didėja nuo 21,4 iki 61,5 g/m², didinant ataudų tankumą, o, didinant kilpos aukštį, vandens garų absorbcija padidėjo tik nuo 24,5 iki 29,1 g/m². Taip pat nustatyta, kad egzistuoja stiprus ryšys tarp audinio sandaros ir vandens garų absorbcijos: aprašant priklausomybes logaritminėmis lygtimis, apibrėžties koeficientas yra $R^2 = 0,9699$.
4. Nagrinėjant lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių vandens garų absorbciją nustatyta, kad kuo daugiau kilpiniai audiniai patiria vandens, šilumos, mechaninių ir cheminių poveikių, tuo daugiau absorbuoja vandens garų. Itin ryškus vandens garų absorbcijos skirtumas nustatytas tiriant žalius (be apdailos) ir vilgytus kilpinius audinius. Taip pat didesne vandens garų absorbcija pasižymi audiniai, kurių kilpos aukštis yra maksimalus – 12 mm.
5. Nustatyta, kad, ilgėjant skalbimo vandenyje trukmei (nuo 10 iki 120 min.), taip pat ir šlapią apdailą patyrusių audinių tumbleravimo trukmei (nuo 30 iki 150 min.), kilpiniai audiniai geba daugiau absorbuoti vandens garų, tačiau pernelyg ilgas audinių skalbimas vandenyje ar tumbleravimas mažina vandens garų absorbcijos gebą. Tai paaiškinama tuo, kad palaipsniui trupa pluoštai ir prarandami verpalai.
6. Vandens išgarinimo trukmei reikšmingą įtaką turi kilpinio audinio sandara. Ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens išgarinimo trukmė tęsėsi iki 90–140 min. esant skirtingam ataudų tankumui (8–16 cm⁻¹). O lininiai / medvilniniai kilpiniai audiniai vandenį išgarina per 90–180 min., bet greičiausiai šis procesas vyko audiniuose, kurių kilpos aukštis yra 9 mm. Nustatyta, kad egzistuoja labai stiprus ryšys tarp vandens išgarinimo trukmės ir vandens likučio koeficiento: aprašant priklausomybes empirinėmis lygtimis, kurių apibrėžties koeficientai siekia iki 0,9999.
7. Nustatyta, kad kilpiniai audiniai vandenį išgarina nevienodu intensyvumu, t. y. kilpiniuose audiniuose, kurių vandens išgarinimo laikas buvo trumpesnis – apie 80–120 min., vandens išgarinimo procesas intensyviausiai vyko nuo pat pirmųjų

- minučių. O kilpiniai audiniai, kurių vandens išgarinimo laikas tęsėsi ilgiau – apie 120–180 min., intensyviausiai vandenį garindavo tik nuo 20 iki 60 minučių.
8. Nustatyta, kad skalbimas vandeniu skirtingais laiko intervalais kilpinių audinių vandens išgarinimo trukmei neturi įtakos arba ji labai menka, tačiau po šlapios apdailos vykstantis tumbleravimas skirtingais laiko intervalais turi įtakos vandens išgarinimo trukmei: greičiausiai vandenį išgarindavo kilpiniai audiniai, kurie buvo tumbleruoti 30, 60 arba 150 minučių.
 9. Nustatyta, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių pūko kilpos atsparumas ištraukimui yra nuo 99,0 iki 1728,3 mN esant 5–25 mm ištįsai. Gauta, kad pūko kilpos atsparumo ištraukimui jėga yra didesnė esant mažesnėms audinio kilpoms ir didesniai ataudų tankumui.
 10. Ištyrus lininius / medvilninius kilpinius audinius, kurie buvo skalbti su plovikliu / minkštikliu / tumbleruoti ir kurių kilpiniai metmenys – nebalinti lininiai verpalai, nustatyta, kad didžiausia kilpos pūko ištraukimo jėga reikalinga audiniams, kurie po šlapios apdailos buvo tumbleruoti ilgiau, t. y. 90, 120 arba 150 minučių. O tiriant kilpinius audinius su balintais lininiais kilpiniais metmenimis gauta, kad pūko kilpos ištraukimo jėga yra didesnė tais atvejais, kai audinys buvo tumbleruotas trumpiau (30–90 min.).
 11. Tiriant lininių / medvilninių, kanapinių / medvilninių ir lininių kilpinių audinių kilpos atsparumą ištraukimui, verpalas dažnai stringa, o tiriant ramės / medvilninius audinius nustatyta, kad ramės verpalas slysta ir beveik visai nestringa. Šie rezultatai patvirtina gana didelius kilpos atsparumo ištraukimui nevienodumo rodiklius. Nustatytas daugumos ramės / medvilninių kilpinių audinių stiprus ryšys tarp ištįsos ir tempimo jėgos ($R^2 = 0,9807-0,9967$).
 12. Ramės / medvilninių kilpinių audinių atsparumas dilinimui yra didžiausias iki suyrant (50 000 ciklų) iš visų kilpinių audinių, o ramės / medvilninių audinių masės nuostoliai: nuo 0,97 iki 32,24 proc., priklausomai nuo dilinimo ciklo skaičiaus (5000–50 000 sūkių). Didžiausiu atsparumu dilinimui pasižymėjo kilpiniai audiniai, kurių kilpos aukštis yra 10,5 mm, o ataudų tankumas – didžiausias (16 cm^{-1}).
 13. Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių laidumo orui priklausomybę nuo dilinimo ciklų skaičiaus nustatyta didelė audinio sandaros įtaka. Rasta, kad laidumas orui sumažėjo 8,5 kartų keičiant ataudų tankumą visame eksperimento intervale: nuo $8-16 \text{ cm}^{-1}$ ir 1,4 kartus, keičiant kilpos aukštį visame eksperimento intervale: nuo 4,5–10,5 mm. Didėjant dilinimo ciklų skaičiui, iš pradžių laidumas orui sumažėja, o po tam tikro ciklų skaičiaus ima didėti.
 14. Prognozavimo tikslumo analizė parodė, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių apskaičiuotosios paviršinio tankio, kilpinių metmenų siūlų procentinės dalies ir pūko kilpos atsparumo ištraukimui reikšmės yra artimiausios eksperimentinėms ir neviršija 7,1 proc., išskyrus pavienius atvejus, kai šis rodiklis buvo didesnis. Taip pat nustatytas reikšmingas skirtumas tarp paviršinio tankio ir vandens garų abstrakcijos, vandens išgarinimo, laidumo orui bei tarp masės nuostolio ir paviršinio tankio rodiklių. Dažnai koreliacijos koeficientai rodo, kad egzistuoja koreliacinė priklausomybė.

5. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. „A Grupės“ internetinis puslapis: <http://www.agrupe.lt> [interaktyvus, žiūrėta 2014-06-13].
2. ABBASI, S. A., PEERZADA, M. H., and R. A. JHATIAL. Characterization of low twist yarn: effect of twist on physical and mechanical properties. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*. 2012, 31(3), 553-558. ISSN 0254-7821.
3. ABRAMAVIČIŪTĖ, J., MIKUČIONIENĖ, D., and R. ČIUKAS. Static water absorption of knits from natural and textured yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011a, 86(3), 60-63. ISSN 1230-3666.
4. ABRAMAVIČIŪTĖ, J., MIKUČIONIENĖ, D., and R. ČIUKAS. Structure properties of knits from natural yarns and their combination with elastane and polyamide threads. *Materials Science*. 2011b, 17(1), 43-46. ISSN 1392-1320.
5. AHMED, M., CHATTOPADHYAY, S. K., CHAPHEKAR, A. K., and R. S. GAIKWAA. Characteristics of degummed ramie fibre and its cotton blended yarns. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2004, 29(3), p. 362-365. ISSN 0971-0426.
6. AJITH, K. K. A., SREEKALA, M. S., and S. ARUN. Studies on properties of bio-composites from ecoflex / ramie fabric-mechanical and barrier properties. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 2012, 3(3), 396-404. ISSN 2158-7043.
7. AKAYDIN, M., and Y. CAN. Pilling performance and abrasion characteristics of selected basic weft knitted Fabris. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 78(2), 51-54. ISSN 1230-3666.
8. ALAMDAR-YAZDI, A., and G. R. HEPPLER. Abrasion behavior of yarns at right angle for ring and rotor spun yarn. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 95(6A), 54-57. ISSN 1230-3666.
9. ANANDJIWALA, R. D., and L. BOGUSLAVSKY. Development of needle-punched nonwoven fabrics from flax fibers for air filtration applications. *Textile Research Journal*. 2008, 78(7), 614-624. ISSN 0040-5175.
10. ANGELOVA, R. A., et al. Computational modeling and experimental validation of the air permeability of woven structures on the basis of simulation of jet systems. *Textile Research Journal*. 2013, 83(18), 1887-1895. ISSN 0040-5175.
11. ARMAKAS, D. M., et al. Investigation the effect of antibacterial finishes on the physical properties of knitted fabrics. *Proceedings of 9th Autex World Textile Conference, May 26-28, 2009, Irmir, Turkey*. pp. 463-473.
12. ASAYESH, A., NIAZKHANI, E., and A. A. A. JEDDI. Theoretical and experimental estimation of the stored energy of plain knitted fabrics using yarn pullout test. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2012, 7(1), 121-128. ISSN 1558-9250.
13. AVRAM, P., AGRAWAL, P., CURTEZA, A., and G. BRINKS. Development of breathable hydrophobic / hydrophilic functional textiles. *Autex 2013: proceedings of the 13th Autex World Textile Conference, May 22-24, 2013, Dresden, Germany*. pp. 1-5.
14. BAČKAUSKAITĖ, D., and V. DAUKANTIENĖ. Investigation of wear behaviour of sewn assemblies of viscose linings with different treatment. *Materials Science*. 2011, 17(2), 155-159. ISSN 1392-1320.
15. BALTAKYTĖ, R. Kilpinių audinių sandaros ir fizikinių savybių tyrimai: *daktaro disertacija: technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 2009.
16. BALTAKYTĖ, R., and S. PETRULYTĖ. Experimental analysis of air permeability of terry fabrics with hemp and linen pile. *Materials Science*. 2008, 14(3), 258-262. ISSN 1392-1320.

17. BARAUSKAS, R., and A. ABRAITIENĖ. A Model for numerical simulation of heat and water vapour exchange in multilayer textile packages with three-dimensional spacer fabric ventilation layer, *Textile Research Journal*. 2011, 81(12), 1195-1215. ISSN 0040-5175.
18. BARAUSKAS, R., VALASEVIČIŪTĖ, L., and A. JUREVIČIŪTĖ. Computational analysis and experimental investigation of heat and moisture transfer in multilayer textile package. *Materials Science*. 2009, 15(1), 80-85. ISSN 1392-1320.
19. BARTELS, V. T. Elektrostatische eigenschaften von funktionsfutterstoffen. *Melliand Textilberichte: European Textile Journal*. 2006, 87(9), 674-675. ISSN 0341-0781.
20. BELKACEMI, K., and A. D. BROADBENT. Air flow through textiles at high differential pressures. *Textile Research Journal*. 1999, 69(1), 52-58. ISSN 0040-5175.
21. BESKISIZ, E., UCAR, N., and A. DEMIR. The effects of super absorbent fibers on the washing, dry cleaning and drying behavior of knitted fabrics. *Textile Research Journal*. 2009, 79(16), 1459-1466. ISSN 0040-5175.
22. BIHARI, M., and V. K. KOTHARI. High performance fibres for technical applications. *Asian Textile Journal*. 2005, 14(9), 74-84. ISSN 0971-3425.
23. BILISIK, K. Effect of interlacement frequency on the single and multiple yarn end pull-out properties of woven fabrics. *Textile Research Journal*. 2011a, 81(6), 585-597. ISSN 0040-5175.
24. BILISIK, K. Experimental determination of yarn pull-out properties of para-aramid (Kevlar (R)) woven fabric. *Journal of Industrial Textiles*. 2012, 41(3), 201-221. ISSN 1528-0837.
25. BILISIK, K. Pull-out properties of polyester woven fabrics: effects of softening agent and interlacement on single and multiple yarn pull-out forces and analysis by statistical model. *Fibers and Polymers*. 2011b, 12(8), 1106-1118. ISSN 1229-9197.
26. BILISIK, K. Stick-slip behavior of para-aramid (Twaron®) fabric in yarn pull-out. *Textile Research Journal*. 2011c, 81(6), 13-33. ISSN 0040-5175.
27. BILISIK, K., and M. Korkmaz. Single and multiple yarn pull-out on aramid woven fabric structures. *Textile Research Journal*. 2011, 81(8), 847-864. ISSN 0040-5175.
28. BILISIK, K., and G. Yolacan. Single and multiple yarn pull-out on E-glass woven fabric structures. *Textile Research Journal*. 2011, 81(19), 2043-2055. ISSN 0040-5175.
29. BIVAINYTĖ, A. Aktyviai fizinei veiklai skirtų dvisluoksnių mezginių termofiziologinių savybių tyrimas: daktaro disertacija: technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija, 2012.
30. BIVAINYTĖ, A., and D. MIKUČIONIENĖ. Investigation on the air and water vapour permeability of double layered weft knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2011a, 86(3), 69-73. ISSN 1230-3666.
31. BIVAINYTĖ, A., and D. MIKUČIONIENĖ. Investigation on the dynamic water absorption of double-layered weft knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011b, 89(6), 64-70. ISSN 1230-3666.
32. BIZJAK, M., and A. P. CUDEN. Moisture management of terry towels. *AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, June 13-15, 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1181-1188.
33. BOGUSŁAWSKA-BĄCZEK, M., and L. HES. Effective water vapour permeability of wet wool fabric and blended fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, 97(1), 67-71. ISSN 1230-3666.
34. BRZEZIŃSKI, S. et al. Nanocoat finishing of polyester / cotton fabrics by the sol-gel method to improve their wear resistance. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 89(6), 83-88. ISSN 1230-3666.

35. BUSILIENĖ, G., LEKECKAS, K., and V. URBELIS. Pilling resistance of knitted Fabris. *Materials Science*. 2011, 3(17), 297-301. ISSN 1392-1320.
36. ÇAY, A., ATAV, R., and K. DURAN. Effects of warp-weft density variation and fabric porosity of the cotton fabrics on their colour in reactive dyeing. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007, 60(1), 91-94. ISSN 1230-3666.
37. CAN, Y. Pilling performance and abrasion characteristics of plain-weave fabrics made from open – end and ring spun yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008, 66(1), 81-84. ISSN 1230-3666.
38. CAO, H., BRANSON, D. H., PEKSOZ, S., NAM, J., and Ch. A. FARR. Fabric selection for a liquid cooling garment. *Textile Research Journal*. 2006, 76(7), 587-595. ISSN 0040-5175.
39. CHATTERJEE, A., and P. SINGH. Studies on wicking behaviour of polyester fabric. *AUTEX 2013: proceedings of the 13th AUTEX World Textile Conference, May 22-24, 2013, Dresden, Germany*. pp. 1-15.
40. CHATTERJEE, A., and P. SINGH. Studies on wicking behaviour of polyester fabric. *Journal of Textiles*. 2014, (2014), 1-11.
41. CHATTOPADHYAY, D. P., and D. D. VYAS. Effect of silicone nano-emulsion softener on physical properties of cotton fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2010, 35(1), 68-71. ISSN 0971-0426.
42. ÇINÇIK, E., and E. KOÇ. An analysis on air permeability of polyester / viscose blended needle-punched nonwovens. *Textile Research Journal*. 2012, 82(5), 430-442. ISSN 0040-5175.
43. CYBULSKA, M., and M. SNYCERSKI. Qualitive evaluation of protective fabrics. *AUTEX Research Journal*. 2002, 2(2), 69-76. ISSN 1470-9589.
44. COX, H. L. The Elasticity and strenght of paper and other fibrous materials. *British Journal of Applied Physics*. 1952, 3(3), 72-79. ISSN 0508-3443.
45. CUBRIC, I. S., SKENDERI, Z., and G. HAVENITH. Impact of raw material, yarn and fabric parameters, and finishing on water vapor resistance. *Textile Research Journal*. 2013, 82(12), 1215-1228. ISSN 0040-5175.
46. CUI, Z., and W. ZHANG. Study of the effect of material assembly on the moisture and thermal protective performance of firefighter clothing. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, 77(6), 80-83. ISSN 1230-3666.
47. CURTEZA, A., BUDEANU, R., AGRAWAL, P., and G. BRINKS. Studies of water vapour transfer and retention for hemp fabrics dyed with natural pigments. *Magic world of textiles: 7th international textile clothing & design conference, October 5-8, 2014, Dubrovnik, Croatia: book of proceedings*. pp. 173-176.
48. ČIUKAS, R., and J. ABRAMAVIČIŪTĖ. Investigation of the air permeability of socks knitted from yarns with peculiar properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 78(1), 84-88. ISSN 1230-3666.
49. ČIUKAS, R., et al. *Aiškinamasis tekstilės terminų žodynas*. Kaunas: Technologija, 2001.
50. DARGIENĖ, J. Image analysis method for the investigation of woven structure deformations. *Summary of Doctoral Dissertation, Technological Sciences, Material Engineering (08T)*, 2015, Kaunas: Technologija, 2015.
51. DAS, B., DAS, A., KOTHARI, V. K., FANGUEIRO, R., and M. ARAUJO. Moisture transmission through textiles part II: evaluation methods and mathematical modelling. *Autex Research Journal*. 2007, 7(3), 194-216. ISSN 1470-9589.
52. DAS, B., DAS, A., KOTHARI, V., FANGUIERO, R., and M. D. ARAUJO. Moisture flow through blended fabrics – effect of hydrophilicity. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2009, 4(4), 20-28. ISSN 1558-9250.

53. DAUKANTIENĖ, V., BERNOTIENĖ, B., and M. GUTAUSKAS. Textile hand: the influence of multiplex washing and chemical liquid softeners. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2003, 51(3), 63-66. ISSN 1230-3666.
54. DIAS, T., and G. B. DELKUMBUREWATTE. Changing porosity of knitted structures by changing tightness. *Fibres and Polymers*. 2008, 9(1), 76-79. ISSN 1229-9197.
55. DOMINIAK, J., and I. FRYDRYCH. Comfort – related properties of clothing packages with adhesive inserts. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, 97(1), 83-86. ISSN 1230-3666.
56. DONG, Z. X., and C. T. SUN. Testing and modeling of yarn pull-out in plain woven Kevlar fabrics. *Composites Part A-Applied Science and Manufacturing*. 2009, 40(12), 1863-1869. ISSN 1359-835X.
57. DUBROVSKI, P. D. Volume porosity of woven fabrics. *Textile Research Journal*. 2000, 70(10), 915-919. ISSN 0040-5175.
58. DUBROVSKI, P. D., and M. BREZOCNIK. Using genetic programming to predict the macroporosity of woven cotton fabrics. *Textile Research Journal*. 2002, 72(3), 187-194. ISSN 0040-5175.
59. EMIRHANNOVA, N., and Y. KAVUSTURAN. Effects of knit structure on the dimensional and physical properties of winter outerwear knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008, 67(2), 69-74. ISSN 1230-3666.
60. ESER, B., and M. PAMUK. Assessment of the breathability properties of viscone fabrics containing microencapsulated phase change materials. *The International Istanbul Textile Congress 2013, May 30 to June 1, 2013, Istanbul, Turkey*. pp. 1-5.
61. FANGLOGG, Z., WEIYUAN, Z., and C. MINZHI. Investigation of material combinations for fire-fighter's protective clothing on radiant protective and heat-moisture transfer performance. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007, 60(1), 72-75. ISSN 1230-3666.
62. FATAHI, I., and A. A. YAZDI. Predicting air permeability from the parameters of weave structure. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 92(3), 78-81. ISSN 1230-3666.
63. FRYDRYCH, I., DZIWORSKA, G., and M. MATUSIAK. Influence of the kind of fabric finishing on selected aesthetic and utility properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2003, 42(3), 31-37. ISSN 1230-3666.
64. FRONTCZAK-WASIAK, I., and M. SNYCERSKI. Use properties of terry woven fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2004, 45(1), 40-44. ISSN 1230-3666.
65. FTTS-FA-004 Specified Requirements of Moisture Transferring and Quick Drying Textiles. 2005.
66. GODA, K., SREEKALA, M.S., GOMES, A., KAJI, T., and J. OHGI. Improvement of plant based natural fibers for toughening green composites - effect of load application during mercerization of ramie fibers. *Composites, Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2006, 37(12), 2213-2220. ISSN 1359-835X.
67. GOKSEL, F., and Ş. GUCER. A study on the physical performances of seat fabrics. *AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, June 13-15, 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1171-1174.
68. GORJANC, D. Š. Water vapor permeability of cotton fabrics. *AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, 13-15 June 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1167-1170.
69. GORJANC, D. Š., DIMITROVSKI, K., and M. BIZJAK. Thermal and water vapor resistance of the elastic and conventional cotton Fabris. *Textile Research Journal*. 2012, 82(14), 1498-1506. ISSN 0040-5175.

70. GRINEVIČIŪTĖ, D., DAUKANTIENĖ, V., and M. GUTAUSKAS. Textile hand: comparison of two evaluation methods. *Materials Science*. 2015, 11(1), 57-63. ISSN 1392-1320.
71. GULBINIENĖ, A., JANKAUSKAITĖ, V., and A. KONDRATAS. Investigation of the water vapour transfer properties of textile laminates for footwear linings. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 86(3), 78-81. ISSN 1230-3666.
72. GULBINIENĖ, A., JANKAUSKAITĖ, V., and V. URBELIS. The influence of laminated leather structure on the water vapour absorption and desorption behaviour. *Materials Science*. 2008, 14(1), 44-50. ISSN 1392-1320.
73. GULBINIENĖ, A., JANKAUSKAITĖ, V., SACEVIČIENĖ, V., and K. V. MICKUS. Investigation of water vapour resorption / desorption of textile laminates. *Materials Science*. 2007, 13(3), 255-261. ISSN 1392-1320.
74. GUO, Y.Y., et al. Impact of fabric moisture transport properties on physiological responses when wearing protective clothing. *Textile Research Journal*. 2008, 78(12), 1057-1069. ISSN 0040-5175.
75. GUO, J. The effects of household fabrics softeners on the thermal comfort and flammability of cotton and polyester fabrics. *Master Degree Thesis, Blacksburg Virginia, USA*. 2003, 71-78.
76. GUPTA, D., KOTHARI, V. K., and Y. JHANJI. Heat and moisture transport in single jersey plated fabric. *Indian Journal of Fibre & Textile Research Deptt.* 2014, 39(19), 115-121. ISSN 0971-0426.
77. HAVLOVÁ, M. Air permeability and constructional parameters of woven fabric. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, 98(2), 84-89. ISSN 1230-3666.
78. HAVLOVÁ, M. Model of vertical porosity occurring in woven fabrics and its effect on air permeability. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2014, 106(4), 58-63. ISSN 1230-3666.
79. HEIDE, M., ZSCHENDERLEIN, D., and U. MOHRING. Three-dimensional spacer fabrics in medicine. *Proceedings of V International Scientific Conference MEDTEX, November 28-29, 2005, Lodz, Poland*. pp. 70-84.
80. HYUN-BUM, K., KOICHI, G., JUNJI, N., and A. KENJI. Developing simple production of continuous ramie single yarn reinforced composite strands. *Advances in Mechanical Engineering*. 2013, 27(5), 1-7. ISSN 2160-0619.
81. HOSSEINI, R. S. A., and K. TORIUMI. Spectral analysis of the yarn-pullout force from plain-weave fabric. *Journal of the Textile Institute*. 1996, 87(3), 522-531. ISSN 0040-5000.
82. IBRAHIM, S., MILITKY, J., KREMENAKOVA, D., and R. MISHRA. Characterization of yarn diameter measured on different. *RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012, July 3-4, 2012, Bangkok, Thailand*. pp. 1-15.
83. İLHAN, İ., BABAARSLAN, O., and D. VURUŞKAN. Effect of descriptive parameters of slub yarn on strength and elongation properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 92(3), 33-38. ISSN 1230-3666.
84. IRZMAŃSKA, E., BROCHOCKA, A., and K. MAJCHRZYCKA. Textile composite materials with bioactive melt-blown nonwovens for protective footwear. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 95(6A), 119-125. ISSN 1230-3666.
85. YALCIN, I., SEZGIN, H., BERKALP, O. B., and T. G. SADIKOGLU. Comfort and mechanical performance analysis of spunlaced nonwoven fabric, *AUTEX 2014: proceedings of the 14th AUTEX World Textile Conference, May 26-28, 2014, Bursa, Turkey*. pp. 1-4.

86. YANG, K., et. al. Analysis and prediction of the dynamic heat-moisture comfort property of fabric. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008, 68(3), 51-55. ISSN 1230-3666.
87. YOO, S., and E. KIM. Effects of multilayer clothing system array on water vapor transfer and condensation in cold weather clothing ensemble resistance. *Textile Research Journal*. 2008, 78(3), 189-197. ISSN 0040-5175.
88. YUAN, Y., and T. R. LEE. Contact angle and wetting properties. *Surface Science Techniques*. 2013, 51, 3-34. ISSN 0931-5195.
89. JAKŠIĆ, D., and N. JAKŠIĆ. Assessment of porosity of flat textile fabrics. *Textile Research Journal*. 2007, 77(2), 105-110. ISSN 0040-5175.
90. JANKAUSKAITĖ, V., GULBINIENĖ, A., and K. V. MICKUS. Effect of leather finishing technology on water vapour transmission. Part II. Water vapour transfer through microporous film laminated leather. *Materials Science*. 2004, 10(3), 249-254. ISSN 1392-1320.
91. JASIŃSKA, I. Assessment of a fabric surface after the pilling process based on image analysis. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, 73(2), 55-85. ISSN 1230-3666.
92. JASIŃSKA, I. The influence of raw material on the tendency to knitted fabrics pilling. *AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, June 13-15, 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1111-1116.
93. JUCIENĖ, M., DOBILAITĖ, V., and G. KAZLAUSKIENĖ. Influence of industrial washing on denim properties. *Materials Science*. 2006, 12(4), 355-359. ISSN 1392-1320.
94. JUN, Y., et al. Thermal comfort properties of wearing caps from various textiles. *Textile Research Journal*. 2009, 79(2), 179-189. ISSN 0040-5175.
95. JUN, L., JIAHAO, F., HUA, Z., and Z. JIANCHUN. Wear properties of hemp, ramie and linen fabrics after liquid ammonia / crosslinking treatment. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 82(5), 81-85. ISSN 1230-3666.
96. JUODSNUKYTĖ, D., GUTAUSKAS, M., and E. ČEPONIENĖ. Mechanical stability of fabrics for military clothing. *Materials Science*. 2006, 12(3), 243-246. ISSN 1392-1320.
97. KADOLPH, S. J., and A. L. LANGFORD. *Textiles* (9th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
98. KAYNAK, H. K., and M. TOPALBEKIROĞLU. Influence of fabric pattern on the abrasion resistance property of woven fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008, 66(1), 54-56. ISSN 1230-3666.
99. KARAHAN, M. Experimental investigation of the effect of fabric construction on dynamic water absorption in terry fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2007, 62(3), 74-80. ISSN 1230-3666.
100. KARAHAN, M., and R. EREN. Experimental investigation of the effect of fabric parameters on static water absorption in terry fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2006, 56(2), 59-63. ISSN 1230-3666.
101. KARAHAN, M., EREN, R., and H. R. APLAY. An investigation into the parameters of terry fabrics regarding the production. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2005, 50(2), 20-25. ISSN 1230-3666.
102. KAUZONIENĖ, S. Audinių tempimo ir siūlų sąveikos charakteristikų priklausomybė nuo audinių sandaros. *Daktaro disertacija: technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 2000a.
103. KAUZONIENĖ, S. Influence of cloth structure on the yarn pull out force. *Materials Science*. 2000b, 6(1), 44-47. ISSN 1392-1320.

104. KAVUŞTURAN, Y., ÇEVEN E, K., and Ö. ÖZDEMİR. Effect of chenille yarns produced with selected comfort fibres on the abrasion and bending properties of knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 78(1), 48-53. ISSN 1230-3666.
105. KAWABATA, S. Editor HESC standart of hand evaluation. *The Textile Machinery Society of Japan*, Osaka, 1975.
106. KEISER, C., and R. M. ROSSI. Temperature analysis for the prediction of steam formation and transfer in multilayer thermal protective clothing at low level thermal radiation. *Textile Research Journal*. 2008, 11(78), 1025-1035. ISSN 0040-5175.
107. KESER, C., BECKER, C., and R. M. ROSSI. Moisture transport and absorption in multilayer protective clothing fabrics. *Textile Research Journal*. 2008, 7(78), 604-613. ISSN 0040-5175.
108. KHALFBADAM, S. F., NAJAR, S. S., NAJARIAN, S., REZAEI, A. H., and A. FEATS. Novel artificial tactile sensing system for objective evaluation of fabric surface properties. *AUTEX 2012: Inoovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, June 13-15, 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1133-1138.
109. KILIÇ M., and A. Okur. Relationships between yarn diameter / diameter variation and strength. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006, 59(5), 84-87. ISSN 1230-3666.
110. KIRKWOOD, K. et al. Yarn pull-out as a mechanism for dissipating ballistic impact energy in Kevlar® KM-2 fabric: part I: quasi-static characterization of yarn pull-out. *Textile Research Journal*. 2004, 74(10), 920-928. ISSN 0040-5175.
111. KOÇ, E., and B. ZERVENT. An experimental approach on the performance of towels – part I. Bending resistance or softness analysis. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2006, 55(1), 39-46. ISSN 1230-3666.
112. KOVAČVIĆ, S., and D. GORDOŠ. Impact of the level of yarn twist on sized yarn properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, 77(6), 44-49. ISSN 1230-3666.
113. KOŽENIAUSKIENĖ, J., and V. DAUKANTIENĖ. Modification of textile materials' surface properties using chemical softener. *Materials Science*. 2011, 1(17), 52-55. ISSN 1392-1320.
114. KRIŠTANAVIČIENĖ, K., STANYŠ, S., and V. JONAITIENĖ. Comparative investigation of mechanical-hysical characteristics of biodegradable and non-degradable yarns. *Autex research journal*. 2014, 14(2), 61-72. ISSN 1470-9589
115. KULICHENKO, A. V. Theoretical and experimental models for prodiction of air permeability of textile. *4th International TextileClothing & Desing Conference, 2008, Dubrovnik, Croatia*. pp. 799-802.
116. KUMPIKAITĖ, E., RAGAIŠIENĖ, A., and M. BARBURSKI. Comparable analysis of the end-use properties of woven fabrics with fancy yarns. Part I: abrasion resistance and air permeability. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010a, 80(3), 56-59. ISSN 1230-3666.
117. KUMPIKAITĖ, E., RAGAIŠIENĖ, A., and M. BARBURSKI. Comparable analysis of the end-use properties of woven fabrics with fancy yarns. Part II: abrasion resistance and mass. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010b, 81(4), 43-45. ISSN 1230-3666.
118. LAING, R. M., NIVEN, B. E., BARKER, R. L., and J. PORTER. Response of wool knit apparel fabrics to water vapor and water. *Textile Research Journal*. 2007, 77(3), 165-171. ISSN 0040-5175.
119. LEE, S., and S. K. OBENDORF. Statistical modeling of water vapor transport through woven Fabris. *Textile Research Journal*. 2012, 82(3), 211-219. ISSN 0040-5175.
120. LST EN 12127: 1999 Textiles – Fabrics – Determination of mass per unit area using smals samples.

121. LST EN 13515: 2004 Footwear - Test methods for uppers and lining - Water vapour permeability and absorption.
122. LST EN 15598: 2008 Textiles - Terry fabrics - Test method for the determination of the resistance to pile loop extraction.
123. LST EN ISO 12947-2: 2001 Textiles - Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 2: Determination of specimen breakdown (ISO 12947-2: 1998).
124. LST EN ISO 12947-3: 2001 Textiles - Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 3: Determination of mass loss (ISO 12947-3: 1998).
125. LST EN ISO 139: 2005 / A1: 2011 Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing - Amendment 1 (ISO 139: 2005 / AMD 1: 2011).
126. LST EN ISO 6330: 2012. Textiles – Domestic washing and drying procedures for textile testing.
127. LST EN ISO 9237: 1997 Textiles - Determination of permeability of fabrics to air (ISO 9237: 1995).
128. LU, I., and C. LAROCK. Corn oil-based composites reinforced with continuous glass fibres: fabrication and properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006, 102(4), 3345-3353. ISSN 1097-4628.
129. MALČIAUSKIENĖ, E., RUKUIŽIENĖ, Ž., and R. MILAŠIUS. Investigation and comparative evaluation of fabric inner structure weaved with different looms. *Materials Science*. 2009, 15(4), 339-342. ISSN 1392-1320.
130. MANSHAHIA, M., and A. DAS. Comfort characteristics of knitted active sportswear: heat and mass transfer. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2013, 17(3), 50-60.
131. MARGEM F. M., et al. The dynamic-mechanical behavior of epoxy matrix composites reinforced with ramie fibers. *Revista Materia*. 2010, 15(2), 164-171. ISSN 1517-7076.
132. MATUKONIS, A., PALAIMA, J., and A. VITKAUSKAS. *Tekstilės medžiagotyra: mokomoji knyga*. Vilnius: Mokslas, 1976.
133. MATUSIAK, M. Investigation of the thermal insulation properties of multilayer textiles. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006, 59(5), 98-102. ISSN 1230-3666.
134. MICKEVIČIENĖ, A. Antibakteriškai apdorotų sluoksniutinių mezginių funkcinių savybių tyrimas. *Daktaro disertacija: technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 2015.
135. MIJOVIĆ, B., SALOPEK, Č. I., SKENDERI, Z., and U. REISCHL. Thermographic assessment of sweat evaporation inside clothing systems. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 94(5), 81-86. ISSN 1230-3666.
136. MIKUČIONIENĖ, D. The influence of structure parameters of weft knitted fabrics on propensity to pilling. *Materials Science*. 2009, 15(4), 335-338. ISSN 1392-1320.
137. MIKUČIONIENĖ, D., and G. LAURECKIENĖ. The Influence of drying conditions on dimensional stability of cotton weft knitted Fabris. *Materials Science*. 2009, 15(1), 64-68. ISSN 1392-1320.
138. MIKUČIONIENĖ, D., BALTUŠNIKAITĖ, J., and R. MILAŠIUS. Influence of the number of yarns in a loop on the flammability of knits. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 89(6), 71-74. ISSN 1230-3666.
139. MILAŠIUS, Rimvydas. *Tekstilės eksperimento teorija ir praktika: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2011.
140. MOHANTY, K., MISRA, M., and G. HINRICHSEN. Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2000, 276 / 277(1), 1-24. ISSN 1439-2054.

141. MORRISSEY, M. P., and R. M. ROSSI. The effect of wind, body movement and garment adjustments on the effective thermal resistance of clothing with low and high air permeability insulation. *Textile Research Journal*. 2014, 84(6), 583-592. ISSN 0040-5175.
142. MUSTATA, A. Moisture absorption and desorption in flax and hemp fibres and yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, 99(3), 26-30. ISSN 1230-3666.
143. NADERPOUR, F., MIRJALILI, S.A., and M. SHARZEHEE. The Investigation on the influence of DMDHEU on the wrinkle and abrasion resistance of cotton fabrics using image processing. *Textile Research Journal*. 2009, 79(17), 1571-1577. ISSN 0040-5175.
144. NAUJOKAITĖ, L., and E. STRAZDIENĖ. The effect of finishing upon textile mechanical properties at low loading. *Materials Science*. 2007, 13(3), 249-254. ISSN 1392-1320.
145. NAZIRE, D. Y., and B. P. NANCY. The technology of terry towel production. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. 2005, 4, 1-43. ISSN 1533-0915.
146. NIMMEN, E. V., GELLYNCK K., and L. V. LANGENHOVE. The tensile behaviour of spider silk. *Autex Research Journal*. 2005, 5(3), 120-126. ISSN 1470-9589.
147. OGULATA, R. T., and S. MAVRUZ. Investigation of porosity and air permeability values of plain knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2010, 82(5), 71-75. ISSN 1230-3666.
148. OLŠAUSKIENĖ, A. and R. MILAŠIUS. Dependence of air permeability on various integrated fabric firmness factors. *Materials Science*. 2003a, 9(4), 401-404. ISSN 1392-1320.
149. OLŠAUSKIENĖ, A., and R. MILAŠIUS. Dependence of air permeability on fabric porosity and integrated fabric firmness factor φ . *Materials Science*. 2003b, 9(1), 124-127. ISSN 1392-1320.
150. OMEROGLU, S., and S. ULKU. An investigation about tensile strength, pilling and abrasion properties of woven fabrics made from conventional and compact ring-spun yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007, 60(1), 39-42. ISSN 1230-3666.
151. OZTURK, M. K., DURU, S. C., UYGUN, B. N., and C.C. ANDAN. Acoustic performance of some cellulosic fibers in the form of plain jersey fabric with chipboard backing. *AUTEX 2012: Inoovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, June 13-15, 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1099-1104.
152. PADLECKIENĖ, I., and D. PETRULIS. Effect of abrasion on the air permeability & mass loss of breathable-coated fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, 73(2), 50-54. ISSN 1230-3666.
153. PADLECKIENĖ, I., and D. PETRULIS. The change of air permeability and structure of breathable-coated textile materials after cyclic stretching. *Materials Science*. 2008, 14(2), 162-165. ISSN 1392-1320.
154. PADLECKIENĖ, I., PETRULIS, D., RUBEŽIENĖ, V., VALIENĖ, V., and A. ABRAITIENĖ. Breathability and resistance to water penetration of breathable-coated textiles after cyclic mechanical treatments. *Materials Science*. 2009, 15(1), 69-74. ISSN 1392-1320.
155. PAMUK, G., and F. CEKEN. An Investigation on the air permeability of automobile seat cover fabris. *Tekstil*. 2008, 57(3), 96-101. ISSN 0492-5882.
156. PAN, N. Theoretical modeling and analysis of fiber pull-out behavior from a bonded fibrous matrix: the elastic-bond case. *Journal Textile Institute*. 1993, 84(3), 472-487. ISSN 0040-5000.

157. PAN, N., and M. YOON. Behavior of yarn pullout from woven fabrics: theoretical and experimental. *Textile Research Journal*. 1993, 63(11), 629-637. ISSN 0040-5175.
158. PETRULYTĖ S. Advanced textile materials and biopolymers in wound management. *Danish Medical Bulletin*. 2008, 55(1), 72-77. ISSN 1603-9629.
159. PETRULYTĖ, S., and J. NAŠLENIENĖ. Investigation of the liquid retention capacity of terry fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 82(5), 93-97. ISSN 1230-3666.
160. PETRULYTĖ, S., and R. BALTAKYTĖ. Investigation into the wetting phenomenon of terry fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008, 69(4), 62-66. ISSN 1230-3666.
161. PETRULYTĖ, S., and R. BALTAKYTĖ. Liquid sorption and transport in woven structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009a, 73(2), 39-45. ISSN 1230-3666.
162. PETRULYTĖ, S., and R. BALTAKYTĖ. Static water absorption in fabrics of different pile height. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009b, 74(3), 60-65. ISSN 1230-3666.
163. PIETARIS, Kazys. *Verpalų gamybos procesai: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 1998.
164. POCIŪTĖ, M., LEHMANN, B., and A. VITKAUSKAS. Wetting behaviour of surgical polyester woven fabrics, *Materials Science*. 2003, 9(4), 410-413. ISSN 1392-1320.
165. PRYCYŃSKA, E., et al. Sheet fabrics with biophysical properties as elements of joint prevention in connection with first- and second-generation pneumatic anti-bedsores mattresses. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2003, 43(4), 50-53. ISSN 1230-3666.
166. RAGAIŠIENĖ, A., and E. KUMPIKAITĖ. Investigation of end-use properties of woven fabrics with synthetics fancy yarns. *Materials Science*. 2010, 16(4), 337-340. ISSN 1392-1320.
167. RAJA, D., et al. Measuring in-plane liquid spread in fabric using an embedded image processing technique. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 93(4), 72-76. ISSN 1230-3666.
168. RAVANDI, S. A. H., BADROSSAMAY, M. R., and M. MORSHED. Effects of finishing treatments on the distribution of internal forces within plain woven fabrics. *Iranian Polymer Journal*. 2004, 13(4), 269-273. ISSN 1026-1265.
169. REGO, J. M., VERDU, P., NIETO J., and M. BLANES. Comfort analysis of woven cotton / polyester fabrics modified with a new elastic fiber, part 2: detailed study of mechanical, thermo-physiological and skin sensorial properties. *Textile Research Journal*. 2010, 80(3), 206-215. ISSN 0040-5175.
170. ROMBALDONI, F., DEMICHELIS, R., and G. MAZZUCHETTI. Effect of carbon dioxide dry cleaning on low-stress mechanical properties, air permeability and crease pressing performance of men's suit fabrics. *Textile Research Journal*. 2009, 79(13), 1168-1177. ISSN 0040-5175.
171. ROSSI, R. M., et al. Transplanar and in-plane wicking effects in sock materials under pressure. *Textile Research Journal*. 2011, 81(15), 1549-1558. ISSN 0040-5175.
172. ROUETTE, H. K. *Encyclopedia of textile finishing* springer NY USA. 2001, 3, 2118-2130. ISSN
173. SAHARI, J., SAPUAN, S. M., ISARRUBIE, Z. N., and M. Z. A. RAHMAN. Physical and chemical properties of different morphological parts of sugar palm fibres. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 91(2), 21-24. ISSN 1230-3666.
174. SALOPEK, Č. I., and Z. SKENDERI. Impact of cellulose materials finishing on heat and water vapour resistance. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, 97(1), 61-66. ISSN 1230-3666.

175. SARICAM, C., and F. KALAOGLU. Investigation of the wicking and drying behaviour of polyester woven fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2014, 105(3), 73-78. ISSN 1230-3666.
176. SBYILSKA, W., and R. KORYCKI. Analysis of coupled heat and water vapour transfer in textile laminates with a membrane. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 80(3), 65-69. ISSN 1230-3666.
177. SEBASTIAN, S. A. R. D., BAILEY, A. I., BRISCOE, B. J., and D. TABOR. Extensions, displacements and forces associated with pulling a single yarn from a fabric. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1987, 10, 130-139. ISSN 0022-3727.
178. SEKERDEN, F. Effect of fabric weave and weft types on the characteristics of bamboo / cotton woven fabrics fibres. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 89(6), 47-52. ISSN 1230-3666.
179. SEKERDEN, F. Investigation of water absorbency and color fastness of modal woven towels. *Scientific Research and Essays*. 2012, 7(2), 145-148. ISSN 1992-2248.
180. SENGUPTA, S. Water absorbency of jute needle-punched nonwoven fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2009, 34(4), 345-351. ISSN 0971-0426.
181. SHANBEH, M., and D., NAJAFZADEH. Predicting pull-out force of loop pile of woven terry fabrics using artificial neural network algorithm. *Industria Textila*. 2012, 63(1), 37-41. ISSN 1222-5347.
182. SHOCKEY, D. A., Erlich, D. C., and J. W. SIMONS. Improved barriers to turbine engine fragments: interim report II. *Office of Aviation Research, Federal Aviation Administration: Washington, DC, 2001*.
183. SINGH, J.P., and B.K. BEHERA Objective evaluation of aesthetic characteristics of woven pile structures using image analysis techniques. *AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, June 13-15, 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1083-1088.
184. SKENDERI, Z., ČUBRIĆ, I. S., and M. SRDJAK. Water vapour resistance of knitted fabrics under different environmental conditions. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, 73(2), 72-75. ISSN 1230-3666.
185. SUBRATA, K.S.A., and H. B. JAMAL. Optimization of doubling at draw frame for quality of carded ring yarn. *International Journal of Engineering & Technology*. 2011, 11(6), 92-97. INNS 2077-1185.
186. SUN, S., YU, H., WILLIAMS, T., HICKS, R. F., and Y. QIU. Eco-friendly sizing technology of cotton yarns with He / O₂ atmospheric pressure plasma treatment and green sizing recipes. *Textile Research Journal*. 2013, 83(20), 2177-2190. ISSN 0040-5175.
187. SUPUREN, G., et al. Moisture management and thermal absorptivity properties of double-face knitted fabrics. *Textile Research Journal*. 2011, 81(13), 1320-1330. ISSN 0040-5175.
188. TAVČER, P. F. Effects of cellulase enzyme treatment on the properties of cotton terry fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, 102(6), 100-106. ISSN 1230-3666.
189. TECHNIKOVA, L., and M. TUNAK. Image reconstruction of the textiles in 3D and evaluation of pilling by the help of point process. *AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, 13-15 June 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings*. pp. 1163-1166.
190. TOKARSKA, M. Analysis of impact air-permeability of fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008, 66(1), 76-80. ISSN 1230-3666.
191. TOKARSKA, M. Neural model of the permeability features of woven fabrics. *Textile Research Journal*. 2004, 74(12), 1045-1049. ISSN 0040-5175.

192. TRUNCYTĖ, D., and M. GUTAUSKAS. The change of handle properties of knitted fabrics influenced by washing process. *Materials Science*. 2006a, 12(2), 158-161. ISSN 1392-1320.
193. TRUNCYTĖ, D., and M. GUTAUSKAS. The influence of the technological treatment regime on the mechanical properties of textile Fabris. *Materials Science*. 2006b, 12(4), 350-354. ISSN 1392-1320.
194. TRUNCYTĖ, D., DAUKANTIENĖ, V., and M. GUTAUSKAS. The influence of washing on fabric weaving properties. *Tekstil*. 2007, 56(8), 493-498. ISSN 0492-5882.
195. UAB „A grupės“ technologinė apdailos procesų metodika. Jonava, Lietuva. 1998.
196. UCAR, N., BESKISIZ, E., and A. DEMIR. Design of a novel filament with vapor absorption capacity without creating any feeling of wetness. *Textile Research Journal*. 2009, 79(17), 1539-1546. ISSN 0040-5175.
197. UÇAR, N., et al. Water vapor absorption performance of a novel composite fiber. *Tekstil ve Konfeksiyon*. 2010, 20(1), 4-8. ISSN 1300-3356.
198. ULKU, S., ORTLEK, H.G., and S. OMEROĞLU. The effect of chenille yarn properties on the abrasion resistance of upholstery fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2003, 42(3), 38-41. ISSN 1230-3666.
199. URBAS, R., KOSTANJŠEK, K., and K. DIMITROVSKI. Impact of structure and yarn colour on UV properties and air permeability of multilayer cotton woven fabrics. *Textile Research Journal*. 2011, 81(18), 1916-1925. ISSN 0040-5175.
200. VAITKEVIČIENĖ, D. The investigation and evaluation of woven fabrics' yarn slippage at the sewn seam. *Summary of Doctoral Dissertation, Technological Sciences, Material Engineering (08T)*, 2012, Kaunas: Technologija, 2012.
201. VARNAITĖ, S., and J. KATUNSKIS. Influence of abrasion on electrostatic charge decay of woven fabrics with conductive yarns. *Materials Science*. 2009, 15(2), 160-166. ISSN 1392-1320.
202. VERDU, P., J. REGO, M., NIETO, J., and M. BLANES. Comfort analysis of woven cotton / polyester fabrics modified with a new elastic fiber, part 1 preliminary analysis of comfort and mechanical properties. *Textile Research Journal*. 2009, 79(1), 14-23. ISSN 0040-5175.
203. WANG, F., ZHOU, X., and S. WANG. Development processes and property measurements of moisture absorption and quick dry fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, 73(2), 46-49. ISSN 1230-3666.
204. WANG, Y., ZONG, Y., LI, J., and M. ZHAO. Evaluating the moisture transfer property of the multi-layered fabric system in firefighter turnout clothing. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 89(6), 101-105. ISSN 1230-3666.
205. WANG, S. X., et al. Effect of moisture management on functional performance of cold protective clothing. *Textile Research Journal*. 2007, 77(12), 968-980. ISSN 0040-5175.
206. WANG, X. H., KAINUMA, M., BAO, L. M., and M. NAKAZAWA. A novel approach for evaluating the air permeability of airbag fabrics. *Textile Research Journal*. 2006, 76(1), 66-70. ISSN 0040-5175.
207. XIAO, X., Hu, J., Hua, T., Zeng, X., and A. Long. Through-thickness air permeability of woven fabric under low pressure compression. *Textile Research Journal*. 2015, 85(16), 1732-1742. ISSN 0040-5175.
208. ZAMPETAKIS, A., KATSAROS, G., and I. DUMITRESCU. Wear comfort and protection parameters of cotton fabrics after use. *Proceedings of World Textile Conference, May 26-28, 2009, Izmir, Turkey*. pp. 1165-1167.

209. ZHANG, E. The alkaline pectate lyase PEL168 of bacillus subtilis heterologously expressed in pichia pastoris more stable and efficient for degumming ramie fiber. *BMC Biotechnology*. 2013, 26(13), 1-9. ISSN 1472-6750.
210. ZHOU, L., FENG, X., and Y. LI. Influences of the fibre hygroscopicity of connecting yarn on the liquid water transfer property of knitted double-layer fabric. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 83(6), 72-75. ISSN 1230-3666.
211. ZHU, D., SORANAKOM, C., MOBASHER, B., and S.D. RAJAN. Experimental study and modeling of single yarn pull-out behavior of kevlar_49 fabric. *Composites Part A- Applied Science and Manufacturing*. 2011, 42, 868-879. ISSN 1359-835X.
212. ZHU, G., KREMENAKOVA, D., WANG, Y., MILITKY, J., and R. MISHRA. Study on air permeability and thermal resistance of textiles under heat convection. *Textile Research Journal*. 2015, 85(16), 1681-1690. ISSN 0040-5175.
213. ZIËBA, J. Simulation of a solenoid actuator for a device for investigating dynamic air permeability through flat textile products. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2003, 41(2), 85-88. ISSN 1230-3666.
214. ZUPIN, Ž., HLADNIK, A., and K. DIMITROVSKI. Prediction of one-layer woven fabrics air permeability using porosity parameters. *Textile Research Journal*. 2012, 82(2), 117-128. ISSN 0040-5175.

6. PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS, DALYVAVIMAS KONFERENCIJOSE

Tarptautinėse duomenų bazėse esančiuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės *Thomson Reuters Web of Knowledge* leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą (IF / AIF > 0.2)

1. Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas. Influence of terry fabrics structure and finishing on yarn pull-out behaviour // International journal of clothing science and technology. Bradford: Emerald. ISSN 0955-6222. 2014, Vol. 26, no. 4, p. 305-315. DOI: 10.1108 / IJCST-06-2013-0068. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); 0,333]. [IF: 0,350, AIF: 1,663 (2014)].
2. Petrulytė, Salvinija; Dapšauskaitė, Dalia; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas. Investigation of the resistance to pile loop extraction of linen and ramie fabrics // Fibres and textiles in Eastern Europe. Lodz: Institute of Chemical Fibres. ISSN 1230-3666. 2013, vol. 21, no. 5(101), p. 54-58. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); 0,250]. [IF: 0,541, AIF: 1,355 (2013)].
3. Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas. Water vapour absorption of terry fabrics with linen and hemp pile loop // Fibres and textiles in Eastern Europe. Lodz: Institute of Chemical Fibres. ISSN 1230-3666. 2013, vol. 21, no. 2(98), p. 90-95. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); 0,333]. [IF: 0,541, AIF: 1,355 (2013)].
4. Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta. Investigation of drying phenomenon of terry woven fabrics // Fibres and Textiles in Eastern Europe. Lodz: Institute of Chemical Fibres. ISSN 1230-3666. 2011, Vol. 19, no. 6(89), p. 58-63. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); 0,500]. [IF: 0,532, AIF: 1,104 (2011)].

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai Konferencijų pranešimų medžiagoje paskelbti straipsniai

1. Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas. Experimental determination of abrasion properties of ramie / cotton terry fabrics // Magic world of textiles: 7th international textile clothing & design conference, October 5-8, 2014, Dubrovnik, Croatia: book of proceedings / University of Zagreb. Faculty of Textile technology. Zagreb: University of Zagreb, ISSN 1847-7275. p. 493-498. [0,333].
2. Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas. Predicting of loop yarn pull-out properties of grey and finished terry fabrics // Magic world of textiles: 7th international textile clothing & design conference, October 5-8, 2014, Dubrovnik, Croatia: book of proceedings / University of Zagreb. Faculty of Textile technology. Zagreb: University of Zagreb, ISSN 1847-7275. p. 430-435. [0,333].
3. Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas. Forces and displacements associated with pulling a yarn from hemp and ramie terry fabric // AUTEX

- 2014 [elektroninis išteklius]: proceedings of the 14th AUTEX World Textile Conference, 26-28 May, 2014, Bursa, Turkey / Uludag University. Bursa: Uludag University, 2014, ISBN 9786056311246. p. [1-4]. [0,333].
4. Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas. Analysis of water vapour absorption and water evaporation process in ramie / cotton fabrics // AUTEX 2013 [elektroninis išteklius]: proceedings of the 13th AUTEX World Textile Conference, 22-24 May, 2013, Dresden, Germany / Institute of Textile Machinery and High performance Material technology, Technische Universität Dresden. Dresden: Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology (ITM), 2013, ISBN 9783867803434. p. [1-4]. [0,333].
 5. Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas. Effect of fabric structure and finishing on water vapour absorption // AUTEX 2012: Innovative Textile for High Future Demands: 12th World Textile Conference AUTEX 2012, 13-15 June 2012, Zadar, Croatia: book of proceedings. Vol. 2. Zagreb: University of Zagreb, 2012, ISBN 9789537105471. p. 1175-1178. [0,333].
 6. Kiviliūtė, Lina; Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija. Kilpinių audinių apdailos ir kilpos aukščio įtakos skysčio išgarinimo procesui tyrimas // Gaminių technologijos ir dizainas: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija. ISSN 1822-492X. 2012, p. 254-257. [0,333].
 7. Skripkiūnaitė, Martyna; Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija. Audinių su balintais ir nebalintais lininiais kilpiniais metmenimis džiūvimo tyrimas // Gaminių technologijos ir dizainas: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija. ISSN 1822-492X. 2012, p. 258-261. [0,333].
 8. Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija. Skysčio išgarinimo proceso kilpiniuose audiniuose tyrimas // Gaminių technologijos ir dizainas 2010: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija. ISSN 1822-492X. 2010, p. 247-251. [0,500].
 9. Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija; Samuson, Roberta. Lininių ir puslininių kilpinių audinių vandens garų absorbcinių savybių tyrimas // Pramonės inžinerija 2014: jaunųjų mokslininkų konferencija, 2014 m. gegužės 8 d.: pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas. Kaunas: Technologija, 2014, ISBN 9786090210772. p. 173-179. DOI: 10.5755 / e01.9786090210772. [0,333].

KITOS PUBLIKACIJOS

1. Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija; Bagdonaitė, Eglė. Ramės kilpinių audinių sandaros tyrimas // Inovacijų taikymas technologijose: 8-oji respublikinė mokslinė-praktinė studentų konferencija, 2014 m. balandžio 29 d.: straipsnių rinkinys (I dalis) / Kauno kolegija. Technologijų ir kraštotvarkos fakultetas [Kaunas: Kauno kolegijos leidybos centras]. ISSN 2345-0185. 2014, p. [169-175]. [0,333].
2. Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas. Influence of finishing on abrasion characteristics of terry fabrics with bleached pile // Baltic polymer symposium 2014: Laulasmaa, Estonia, September 24-26, 2014: program and abst-

- tracts / Tallinn University of Technology. Tallinn: Tallinn University of Technology, 2014. p. 43. [0,333].
3. Veličkienė, Asta; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas. Experimental investigation of yarn pull-out of linen / cotton terry fabrics / / Advanced materials and technologies: book of abstracts of the 15-th international conference-school, 27-31 August 2013, Palanga, Lithuania. Kaunas: Technologija. ISSN 1822-7759. 2013, p. 153. [0,333].
 4. Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas. Effect of finishing treatment on yarn pullout behaviour in terry fabrics / / Baltic polymer symposium 2013: Trakai, Lithuania, September 18-21, 2013: programme and abstracts / Vilnius University, Kaunas University of Technology. Vilnius: Vilnius University Publishing House, 2013, ISBN 9786094592270. p. 170. [0,333].

PRANEŠIMAI TARPTAUTINĖSE KONFERENCIJOSE

1. Tarptautinė konferencija „7th International Textile Clothing & Design Conference“ du pranešimai: „Experimental determination of abrasion properties of ramie / cotton terry Fabris“ (A. Veličkienė, S. Petrulytė, D. Petrulis) ir „Predicting of loop yarn pull-out properties of grey and finished terry Fabris“ (S. Petrulytė, A. Veličkienė, D. Petrulis). Spalis 5-8, 2014, Dubrovnikas, Kroatija.
2. Pasaulinė konferencija „14th Autex World Textile Conference“ – pranešimas „Forces and Displacements Associated With Pulling a Yarn from Hemp and Ramie Terry Fabric“ (A. Veličkienė, S. Petrulytė, D. Petrulis). Gegužės 26-28, 2014, Bursa, Turkija.
3. Pasaulinė konferencija „13th Autex World Textile Conference 2013“ – pranešimas „Analysis of Water Vapour Absorption and Water Evaporation Process in Ramie / Cotton Fabrics“ (Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas). Gegužės 22-24, 2013, Drezdenas, Vokietija.
4. Pasaulinė konferencija Autex 2012 Innovative Textile for High Future Demands – pranešimas „Effect of Fabric Structure and Finishing on Water Vapour Absorption“ (Petrulytė, Salvinija; Veličkienė, Asta; Petrulis, Donatas). Birželio 13-15, 2012, Zadaras, Kroatija.
5. Tarptautinė konferencija „Baltic Polymer Symposium 2014“ – pranešimas „Influence of Finishing on Abrasion Characteristics of Terry Fabrics With Bleached Pile“ (A. Veličkienė, S. Petrulytė, D. Petrulis). Rugsėjo 24-26, 2014, Laulasma, Estija.
6. Tarptautinė konferencija „Baltic Polymer Symposium 2013“ – pranešimas „Effect of Finishing Treatment on Yarn Pullout Behaviour in Terry Fabrics“ (S. Petrulytė, A. Veličkienė, D. Petrulis). Rugsėjo 18-21, 2013, Trakai, Lietuva.
7. Tarptautinė mokykla – konferencija „15-th International Conference-School Advanced Materials and Technologies“ – pranešimas „Experimental Investigation of Yarn Pull-out of Linen / cotton Terry Fabrics“ (A. Veličkienė, S. Petrulytė, D. Petrulis). Rugsėjo 27-31, 2013, Palanga, Lietuva.

PRANEŠIMAI RESPUBLIKINĖSE KONFERENCIJOSE

1. Jaunųjų mokslininkų konferencija „Pramonės inžinerija 2014“ – pranešimas „Lininių ir puslininių kilpinių audinių vandens garų absorbcinių savybių tyrimas“ (Asta Veličkienė, Salvinija Petrulytė, Roberta Samuson). Gegužės 8, 2014, Kaunas, Lietuva.
2. Respublikinė studentų konferencija „Inovacijų taikymas technologijose 2014“ – pranešimas „Ramės kilpinių audinių sandaros tyrimas“ (Asta Veličkienė, Salvinija Petrulytė, Eglė Bagdonaitė). Balandžio 29, 2014, Kaunas, Kauno kolegija, Lietuva.
3. KTU konferencija „Gaminių technologijos ir dizainas“. Pranešimas: „Dilgėlinių / lininių / medvilninių kilpinių audinių kilpos ištraukimo elgsenos tyrimas“ (D. Dapšauskaitė, A. Veličkienė, S. Petrulytė). Balandžio 26, 2013, Kaunas, Lietuva.
4. KTU konferencija „Gaminių technologijos ir dizainas“ – pranešimai: „Kilpinių audinių apdailos ir kilpos aukščio įtakos skysčio išgarinimo procesui tyrimas“ (L. Kiviliūtė, A. Veličkienė, S. Petrulytė) ir „Audinių su balintais ir nebalintais lininiais kilpiniais metmenimis džiūvimo tyrimas“ (M. Skripkiūnaitė, A. Veličkienė, S. Petrulytė). Balandžio 27, 2012, Kaunas, Lietuva.
5. Konferencija „Gaminių technologijos ir dizainas“ – pranešimas: „Skysčio išgarinimo proceso kilpiniuose audiniuose tyrimas“ (A. Veličkienė, S. Petrulytė) 2010 m. balandžio 23 d., Kaunas.

PRIEDAI

1 PRIEDAS (kilpinių audinių sandaros ir geometrinių rodiklių analizė)

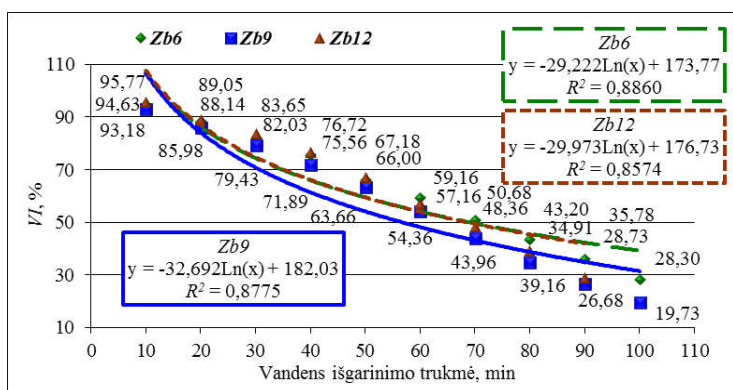
1.1 lentelė. Kilpinių audinių a , b , c , e ir k variantų siūlų sistemos procentinė sudėtis

Variantas	KM	PM	PA	Variantas	KM	PM	PA	Variantas	KM	PM	PA
Z_{a6}	70,2	10,9	18,9	Z_{a9}	74,4	9,6	16,1	Z_{a12}	74,7	9,3	16,0
V_{a6}	70,5	12,6	16,9	V_{a9}	74,7	10,4	14,9	V_{a12}	75,5	9,5	15,1
S_{a6}^{10}	70,6	11,3	18,1	S_{a9}^{10}	73,8	10,6	15,6	S_{a12}^{10}	76,5	9,1	14,5
S_{a6}^{30}	70,6	11,3	18,1	S_{a9}^{30}	71,4	11,4	17,2	S_{a12}^{30}	76,3	9,3	14,5
S_{a6}^{120}	71,6	12,1	16,3	S_{a9}^{120}	74,8	10,0	15,3	S_{a12}^{120}	76,3	9,6	14,1
P_{a6}	67,5	13,5	19,0	P_{a9}	74,1	10,6	15,3	P_{a12}	76,8	9,2	14,1
M_{a6}	67,1	13,6	19,2	M_{a9}	72,2	11,0	16,7	M_{a12}	74,9	9,9	15,2
T_{a6}^{30}	68,0	13,4	18,6	K_{a9}	68,3	13,0	18,8	T_{a12}^{30}	76,2	9,7	14,1
T_{a6}^{60}	67,8	13,3	18,9	T_{a9}^{30}	72,5	11,1	16,4	T_{a12}^{60}	76,9	9,3	13,8
T_{a6}^{90}	68,1	13,1	18,4	T_{a9}^{60}	72,7	11,2	16,1	T_{a12}^{90}	76,4	9,4	14,2
T_{a6}^{120}	68,1	13,3	18,6	T_{a9}^{90}	72,3	11,4	16,2	T_{a12}^{120}	76,6	9,4	14,0
T_{a6}^{150}	66,7	13,9	19,4	T_{a9}^{120}	73,9	10,7	15,4	T_{a12}^{150}	76,8	9,5	13,7
Z_{b6}	62,2	15,1	22,7	T_{a9}^{150}	75,1	10,1	14,8	Z_{b12}	69,3	12,5	18,2
V_{b6}	61,0	16,7	22,3	Z_{b9}	63,4	15,1	21,5	V_{b12}	71,2	12,3	16,5
S_{b6}^{10}	62,9	15,4	21,7	V_{b9}	64,6	14,2	21,2	S_{b12}^{10}	66,6	13,7	19,8
S_{b6}^{30}	61,4	16,1	22,4	S_{b9}^{10}	65,7	14,2	20,1	S_{b12}^{30}	70,1	12,4	17,5
S_{b6}^{120}	64,8	14,0	21,2	S_{b9}^{30}	64,4	14,4	21,1	S_{b12}^{120}	68,3	12,6	19,0
M_{b6}	65,2	14,0	20,7	S_{b9}^{120}	65,9	13,9	20,2	P_{b12}	67,4	13,3	19,3
T_{b6}^{30}	60,1	16,3	23,6	P_{b9}	65,2	14,5	20,3	M_{b12}	67,2	13,1	19,8
T_{b6}^{60}	60,4	15,9	23,6	M_{b9}	63,7	14,7	21,6	T_{b12}^{30}	69,9	12,6	17,5
T_{b6}^{90}	61,0	16,4	22,6	K_{b9}	64,1	14,7	21,2	T_{b12}^{60}	71,1	12,1	16,8
T_{b6}^{120}	61,4	16,2	22,4	Z_{e9}	68,4	12,5	19,1	T_{b12}^{90}	65,3	14,1	20,6
T_{b6}^{150}	60,8	16,1	23,1	V_{e9}	68,8	12,6	18,5	T_{b12}^{120}	69,1	13,0	17,9
Z_{c9}	71,0	14,5	14,4	S_{e9}^{10}	68,7	12,7	18,7	T_{b12}^{150}	70,6	11,9	17,5
V_{c12}	70,3	15,1	14,6	S_{e9}^{30}	69,0	12,2	18,8	Z_{k9}	71,1	12,0	16,9
S_{c12}^{10}	71,1	14,8	14,1	S_{e9}^{120}	69,3	12,2	18,5	S_{k9}^{10}	72,2	11,8	16,0
S_{c12}^{30}	71,1	14,9	14,0	P_{e9}	69,2	12,8	18,0	S_{k9}^{30}	71,2	12,3	16,5
P_{c12}	71,4	14,5	14,1	M_{e9}	68,8	12,4	18,8	S_{k9}^{120}	71,4	12,3	16,3
T_{c12}^{30}	70,2	14,5	15,3	T_{e9}^{30}	68,2	12,7	19,2	M_{k9}	69,9	12,8	17,5
T_{c12}^{90}	71,0	14,7	14,3	T_{e9}^{60}	68,3	12,7	19,0	T_{k9}^{30}	71,2	12,2	16,6
T_{c9}^{120}	72,5	14,0	13,5	T_{e9}^{90}	68,4	12,8	18,8	T_{k9}^{60}	71,3	12,1	16,5
T_{c12}^{120}	69,9	14,3	15,8	T_{e9}^{120}	69,2	12,4	18,4	T_{k9}^{90}	71,2	12,2	16,6
T_{c12}^{150}	71,6	14,3	14,1	T_{e9}^{150}	70,0	12,2	16,9	T_{k9}^{120}	72,6	11,1	16,3
								T_{k9}^{150}	70,5	12,6	17,8

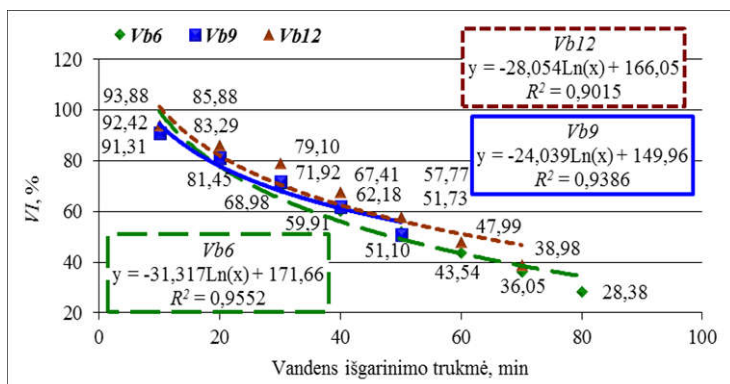
2 PRIEDAS (vandens išgarinimas iš kilpinių audinių)

2.1 lentelė. Kilpinių audinių Zr vandens likučio koeficientų rezultatai

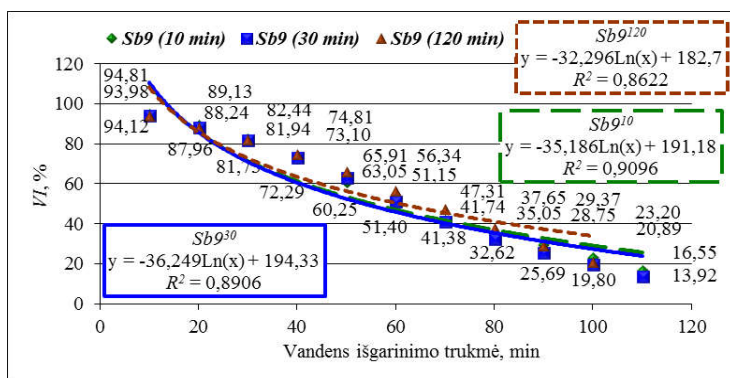
Išgarinimo trukmė	Audinio variantas												
	Zr4,5 ₁₂	Zr6 ₁₂	Zr7,5 ₁₂	Zr9 ₁₂	Zr10,5 ₁₂	Zr6 ₈	Zr6 ₁₀	Zr6 ₁₄	Zr6 ₁₆	Zr10,5 ₈	Zr10,5 ₁₀	Zr10,5 ₁₄	Zr10,5 ₁₆
10	92,18	94,22	95,99	95,16	95,31	92,11	96,19	95,85	96,01	88,65	91,31	94,62	95,83
20	86,44	85,62	90,00	83,65	86,32	84,03	87,01	90,86	92,03	76,56	79,31	88,27	90,95
30	74,95	72,41	81,74	73,89	73,18	68,07	74,62	82,22	85,42	61,14	65,47	79,95	84,87
40	61,39	58,93	72,28	60,77	58,75	54,84	61,56	72,67	78,09	48,48	53,13	72,59	76,62
50	50,28	44,62	59,49	50,54	47,69	41,58	45,96	61,08	67,44	37,31	41,77	62,47	65,55
60	39,14	31,46	46,11	38,23	36,80	27,58	34,99	48,69	59,14	29,15	32,52	53,81	57,56
70	29,51	22,20	34,21	30,55	28,63	19,33	26,08	40,05	49,72	21,49	22,42	45,89	48,20
80	21,12	15,06	25,00	21,72	21,77	10,41	17,33	28,90	40,80	14,22	15,25	38,00	40,50
90	12,29	10,13	16,59	15,47	15,26	3,59	8,38	20,71	32,17	7,71	9,47	29,12	30,38
100	6,63	5,51	9,46	7,13	9,48		3,81	10,77	25,18	3,05	4,36	21,88	22,68
110	2,75	1,94	3,54	2,69	4,53		0,80	6,62	16,84		1,27	16,46	17,83
120					1,47			2,47	10,53			11,69	12,84
130									5,43			6,40	8,30
140									1,44			2,75	3,68



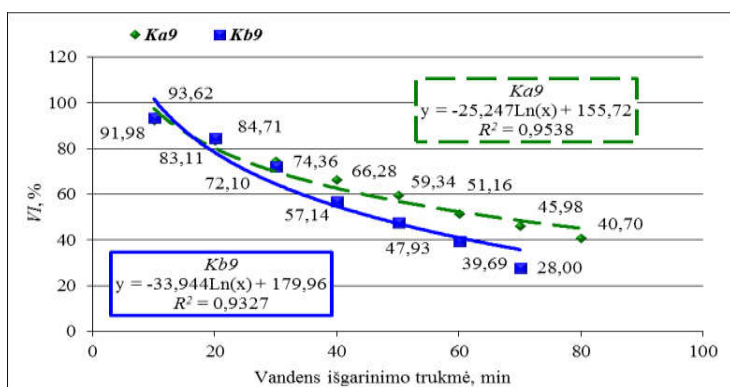
2.1 pav. Žalių (be apdailos) kilpinių audinių Zb6–Zb12 variantų vandens likučio koeficientai



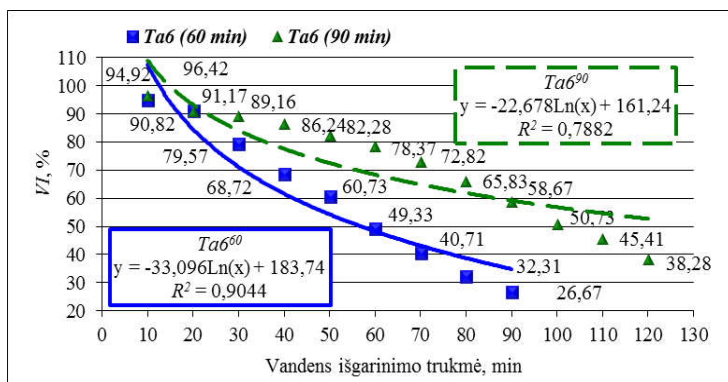
2.2 pav. Vilgytų vandenių kilpinių audinių $Vb6$ – $Vb12$ variantų vandens likučio koeficientai



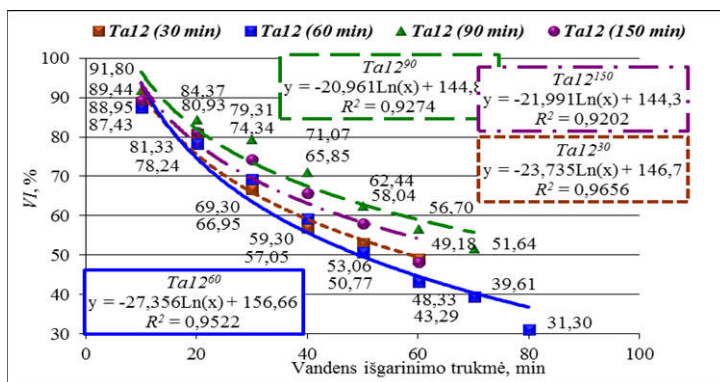
2.3 pav. Įvairiais laiko intervalais skalbtų vandenyje kilpinių audinių $Sb9^{10-120}$ variantų vandens likučio koeficientai



2.4 pav. Skalbtų su plovikliu / minkštintų / kalandruotų kilpinių audinių $Ka9$ ir $Kb9$ variantų vandens likučio koeficientai

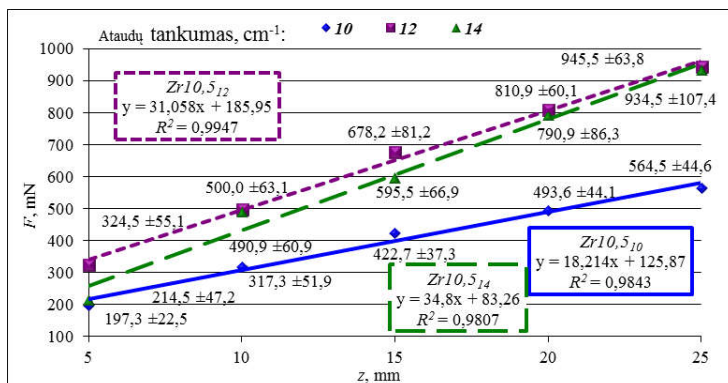


2.5 pav. Kilpinių audinių $Ta6^{60}$ ir $Ta6^{90}$ variantų vandens likučio koeficientai

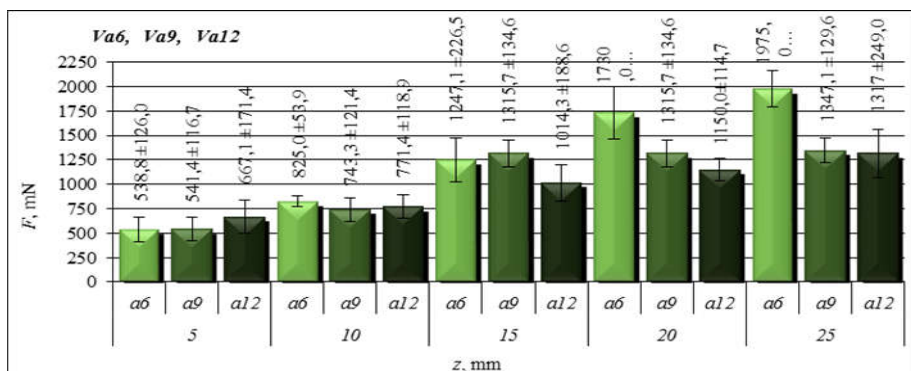


2.6 pav. Kilpinių audinių $Ta12^{30-90}$ ir $Ta12^{150}$ variantų vandens likučio koeficientai

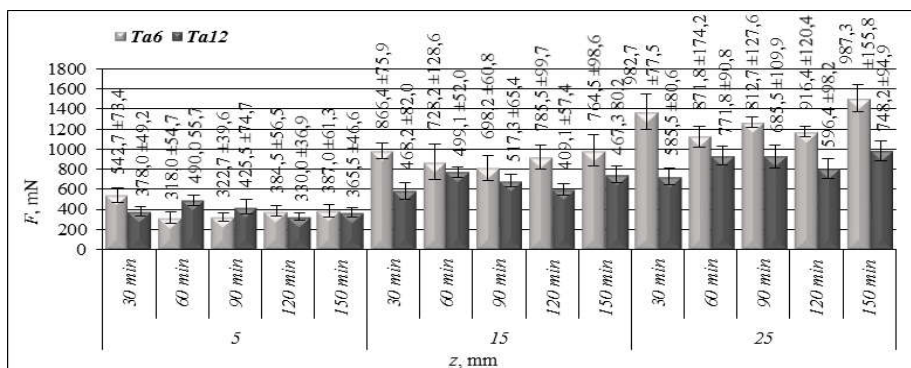
3 PRIEDAS (pūko kilpos atsparumo ištraukimui iš kilpinių audinių analizė)



3.1 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr10,5_{10,12,14}$ variantų F rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui

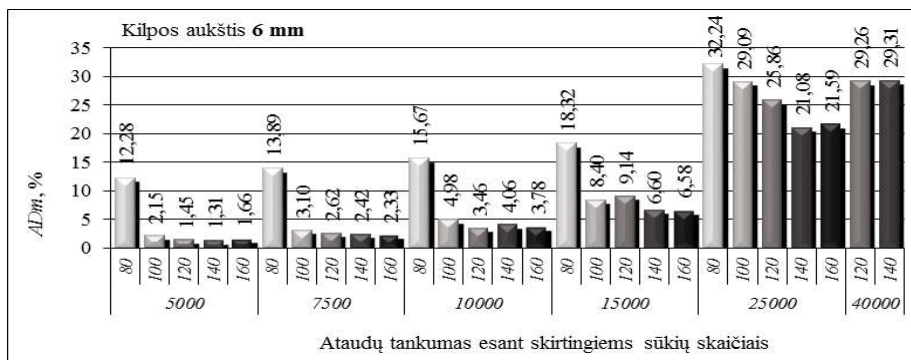


3.2 pav. Kilpinių audinių *Va6–Va12* variantų *F* rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui

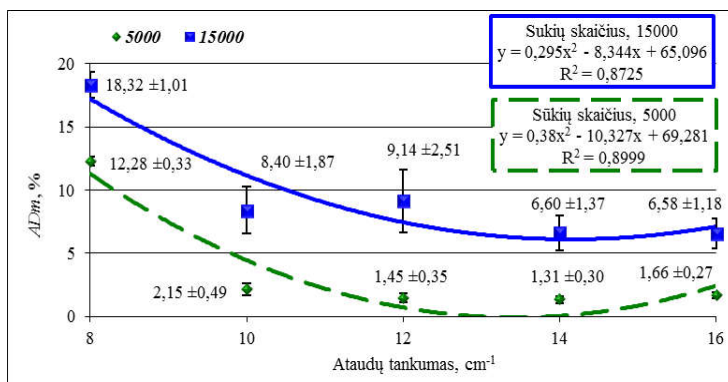


3.3 pav. Kilpinių audinių *Ta6³⁰⁻¹⁵⁰* ir *Ta12³⁰⁻¹⁵⁰* variantų *F* rodiklio priklausomybė nuo pūko kilpos atsparumo ištraukimui

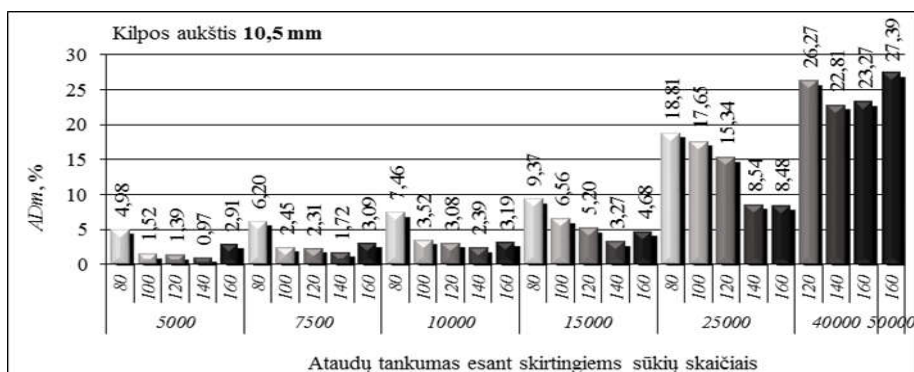
4 PRIEDAS (kilpinių audinių atsparumo dilinimui rezultatai)



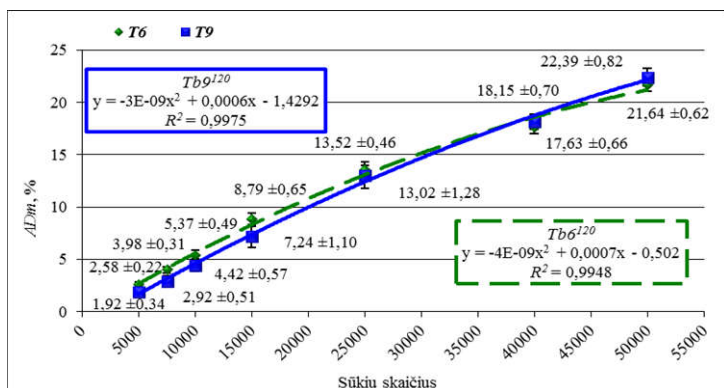
4.1 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių *Zr68–Zr616* variantų masės nuostolių rezultatai



4.2 pav. Kilpinių audinių $Zr68-Zr616$ variantų esant 5000 ir 15 000 sūkių, masės nuostolių priklausomybė nuo ataудų tankumo

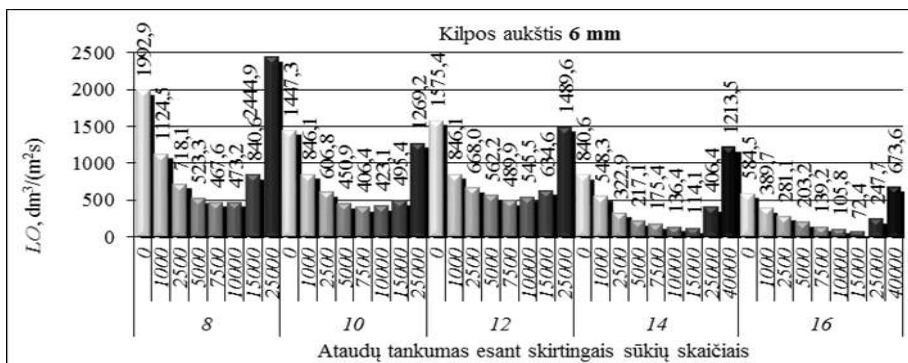


4.3 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr10,58-Zr10,516$ variantų masės nuostolių rezultatai

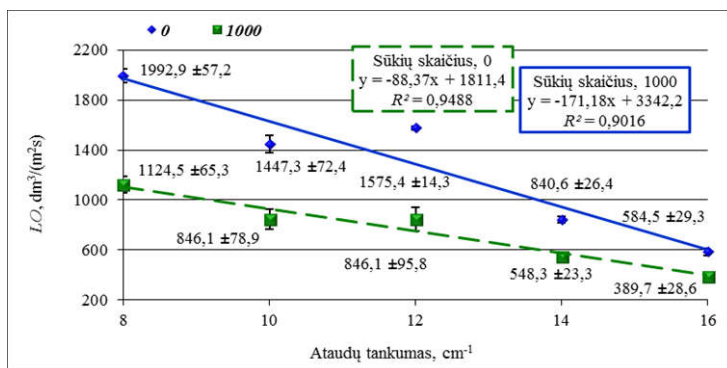


4.4 pav. Kilpinių audinių $Tb6^{120}$ ir $Tb9^{120}$ variantų masės nuostolių priklausomybė nuo dilinimo ciklų skaičiaus

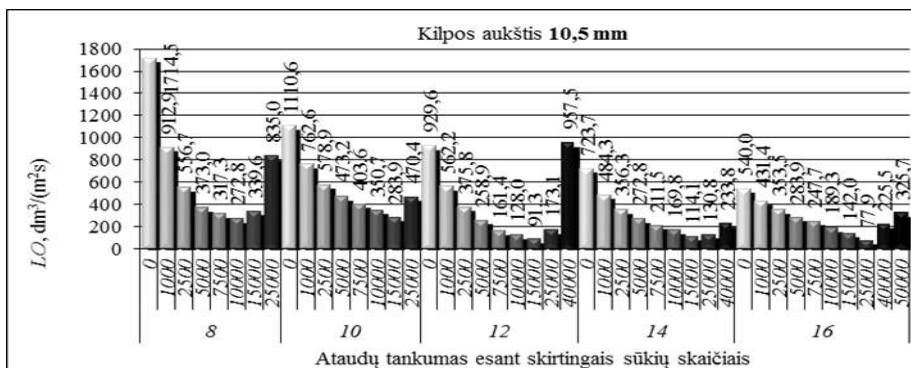
5 PRIEDAS (kilpinių audinių laidumo orui analizė)



5.1 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr6_8-Zr6_{16}$ variantų laidumo orui rezultatai

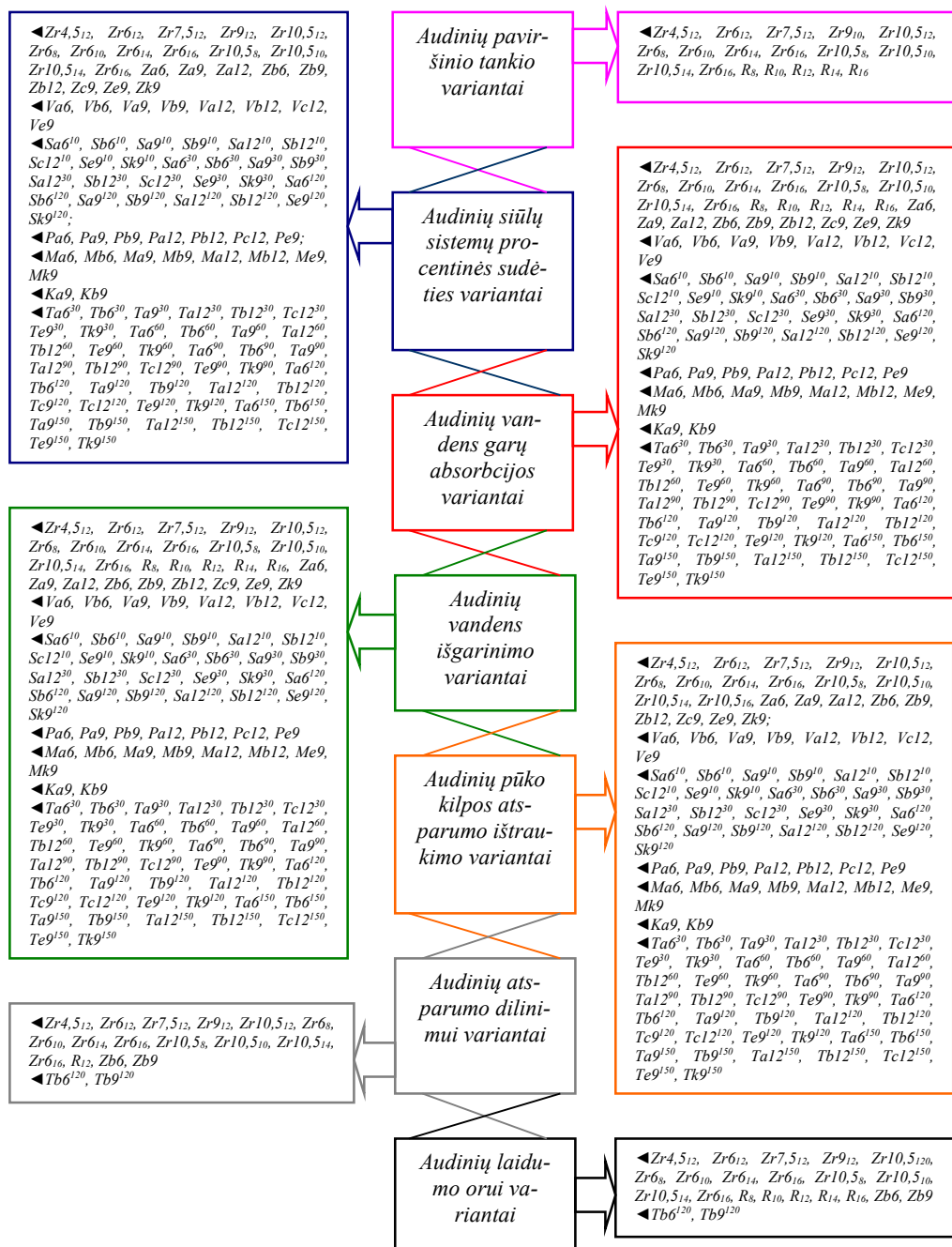


5.2 pav. Kilpinių audinių $Zr6_8-Zr6_{16}$ variantų, esant 0 ir 1000 sūkių, laidumo orui priklausomybė nuo ataudų tankumo



5.3 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių $Zr10,5_8-Zr10,5_{16}$ variantų laidumo orui rezultatai

6 PRIEDAS



6.1 pav. Atliktų tyrimų su audiniais schema

PADĖKA

Visų pirma norėčiau padėkoti savo mokslinei vadovei prof. dr. Salvinijai Petrulytei už konsultacijas, perteiktas žinias ir patirtį bei didelę įtaką mano tobulėjimui. Taip pat noriu padėkoti moksliniam konsultantui prof. dr. Donatui Petruliui už vertingas pastabas rengiant šią disertaciją.

Dėkoju įmonei UAB „A grupė“ (Jonava) už galimybę nuausti tyrimams audinius.

Galiausiai norėčiau padėkoti savo šeimai ir tėvams už jų nuolatinę paramą ir palaikymą studijų metais.