

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

DEIMANTĖ PLAŠČINSKIENĖ

KILPINIŲ AUDINIŲ SU AROMATINĖMIS
MIKROKAPSULĖMIS KŪRIMAS IR SAVYBIŲ
ĮVERTINIMAS

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (T 008)

Kaunas, 2021

Disertacija rengta 2013–2021 m. Kauno technologijos universiteto Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultete, Gamybos inžinerijos katedroje.

Mokslinė vadovė

prof. dr. Salvinija PETRULYTĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, T 008).

Mokslinis konsultantas

prof. dr. Donatas PETRULIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, T 008).

Interneto svetainės, kurioje skelbiama disertacija, adresas:

<http://ktu.edu>

Redagavo Aurelija Gražina Rukšaitė (leidykla „Technologija“)

Turinys

ĮVADAS.....	5
1. LITERATŪROS APŽVALGA	8
1.1. Mikrokapsulių savybės, panaudojimas, rūšys ir gamybos būdai.....	8
1.2. Tekstilės medžiagų padengimas mikrokapsulėmis.....	16
1.3. Mikrokapsulių ir tekstilės gaminių, padengtų mikrokapsulėmis, tyrimo būdai ir metodikos	18
1.4. Mikrokapsulių atsparumas medžiagų dėvėjimo veiksniams	24
1.5. Kilpinių audinių savybės	26
2. DARBO METODIKA.....	33
2.1. Tyrimo objektas.....	33
2.2. Tyrimo metodika	35
2.2.1. Sandaros ir geometrinių rodiklių nustatymo metodikos.....	36
2.2.2. Audinių fizikinių savybių nustatymo metodikos.....	37
2.2.3. Audinių mechaninių savybių nustatymo metodikos.....	39
2.3. Eksperimentinių rezultatų apdorojimo metodika.....	40
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS	42
3.1. Mikrokapsulių prisitvirtinimo prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų efektyvumas.....	42
3.2. Mikrokapsulėmis padengtų kilpinių audinių sandaros ir geometrinių rodiklių, fizikinių ir mechaninių savybių tyrimas	45
3.2.1. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių paviršiniam tankiui ir storiui.....	45
3.2.2. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių lenkiamajam standumui	49
3.2.3. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių atsparumui dilinimui	52
3.2.4. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių laidumui orui.....	60
3.2.5. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių pūko kilpos atsparumui ištraukimui.....	67
3.3. Kilpinių audinių, padengtų mikrokapsulėmis, sorbcinių savybių tyrimas.....	75
3.3.1. Kilpinių audinių dinaminės vandens absorbcijos tyrimas	75
3.3.2. Kilpinių audinių statinės vandens absorbcijos tyrimas.....	82
3.3.3. Kilpinių audinių vandens garų absorbcijos tyrimas.....	84
3.3.4. Kilpinių audinių džiūvimo greičio tyrimas.....	85
IŠVADOS.....	89
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	91

ŽENKLŲ, SIMBOLIŲ IR SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

AD_m – audinių atsparumas dilinimui nustatant masės nuostolį, %
 AT – ataudų tankumas, dm^{-1}
 C_1 – lenkiamasis standumas, $N \cdot m^2$
DSC – diferencinė skenuojamoji kalorimetrija
DTA – diferencinė terminė analizė
FTIR – Furjė transformacinė infraraudonųjų spindulių spektroskopija
GC – dujų chromatografija
HPLC – didelio slėgio skysčių chromatografija
KA – kilpos aukštis
MK – mikrokapsulės
PT – audinių paviršinis tankis, g/m^2
R – laidumas orui, $dm^3(m^2 \cdot s)$
RK – rišamosios medžiagos koncentracija, g/l
PLA – polilaktidas
S – audinio storis, mm
 S_p – paviršinio sluoksnio storis, mm
SEM – skenuojamasis elektroninis mikroskopas
 T_F – fiksavimo temperatūra, °C
 V_k – variacijos koeficientas, %
VGA – vandens garų absorbcija, mg/cm^2
VL – audinio džiūvimo metu apskaičiuotas vandens likučio koeficientas, %
 δ_a – santykinė atsitiktinė paklaida, %

ĮVADAS

Mikrokapsulės naudojamos daugelyje sričių, tokių kaip medicina, maisto pramonė, tekstilės pramonė. Visoms šioms sritims mikrokapsulės patrauklios dėl galimybės jose įterptą veikliąją medžiagą atpalaiduoti tam tikroje vietoje ir tinkamu laiku. Medicinoje mikrokapsulės pradedamos naudoti kaip vaistus pernešančios sistemos įvairioms ligoms gydyti, net ir vėžinėms. Maisto pramonėje naudojamos riebalams, vitaminams, mineralams, kvapiosioms medžiagoms, dažikliams ir kitoms medžiagoms įterpti. Tekstilės pramonėje mikrokapsulės naudojamos ypač plačiai, nes, padengus jomis tekstilės gaminius, galima suteikti naujų savybių, tokių kaip: atsparumas užsiliepsnojimui, antibakteriškumas, vabzdžių atbaidymas, spalvos keitimas ar kvapas. Kosmetinė tekstilė gali būti atskira mikrokapsulių panaudojimo sritis tekstilės pramonėje, kai tekstilės medžiagos dėl mikrokapsulėse įterptos veikliosios medžiagos, kuri palaipsniui atpalaiduojama, gali minkštinti odą, tiekti vitaminus, tonizuoti organizmą ar skleisti kvapą. Mikrokapsulės su įterptais eteriniais aliejais leidžia nuolat mėgautis aromaterapija. Be to, kai kurie eteriniai aliejai turi ir antibakterinį poveikį, o tai labai svarbu gaminiams, naudojamiems drėgnoje aplinkoje, kur palanki terpė dauginasi bakterijoms ir grybeliams.

Kilpiniai audiniai dėl savo ypatingos sandaros dažniausiai naudojami drėgnoje aplinkoje (vonios, saunos ar maisto ruošimo patalpose), nes savo kilpiniu paviršiumi geba absorbuoti didesnę kiekį vandens, palyginti su audiniais, sudarytais iš dviejų siūlų sistemų. Siekiant sukurti gaminius su pridėtine verte, naudojami įvairūs tekstilės medžiagų apdailos procesai, vienas jų – kilpinių audinių padengimas mikrokapsulėmis. Kad būtų galima sukurti kokybiškus gaminius, yra svarbu išanalizuoti, kaip mikrokapsulių apdaila keičia kilpinio audinio sandaros rodiklius, fizikines ir mechanines savybes, ir sukurti matematinius modelius, kuriais būtų galima prognozuoti kokybinius rodiklius. Vienos svarbiausių kilpinių audinių fizikinių savybių yra absorbcija ir laidumas orui, nes nuo jų priklauso, kaip patogiai vartotojas dėvės gaminį, kaip jis tiks aplinkoje, kurioje yra skirtas naudoti. O nuo mechaninių savybių priklauso gaminio ilgaamžiškumas, patvarumas ir išvaizda. Audinių kilpinius metmenis sudarantis ramės pluoštas yra minkštas, švelnus ir higroskopiškas, puikiai tinkantis tekstilės gaminiams naudoti drėgnoje aplinkoje.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Šio darbo **tikslas** – sukurti aromatinius ramės / medvilninius kilpinius audinius ir ištirti mikrokapsulių apdailos įtaką kilpinių audinių struktūrai ir savybėms.

Šiam tikslui pasiekti buvo išskelti *uždaviniai*:

- įvertinti mikrokapsulių prisitvirtinimo efektyvumą prie skirtingų pluoštų: medvilnės, ramės, dirbtinio bambuko, lininių ir balintų lininių verpalų;
- nustatyti mikrokapsulių apdailos įtaką kilpinių audinių sandaros ir geometriniams rodikliams bei audinių lenkiamajam standumui;
- ištirti kilpinių audinių, padengtų mikrokapsulėmis su eteriniu aliejumi ir paveiktų skalbimo proceso, atsparumą dilinimui, nustatant masės nuostolius;

- įvertinti kilpinių audinių, padengtų mikrokapsulėmis, laidumą orui po dilinimo ir skalbimo procesų. Nustatyti priklausomybes tarp laidumo orui ir ataudų tankumo, taip pat dilinimo ciklą skaičiaus;
- išanalizuoti kilpinių audinių mikrokapsulių apdailos ir skalbimo proceso įtaką pūko kilpos atsparumui ištraukimui. Nustatyti priklausomybę tarp kilpos ištraukimo jėgos ir rišiklio koncentracijos;
- nustatyti kilpinių audinių mikrokapsulių apdailos ir skalbimo proceso įtaką audinių statinei ir dinaminei absorbcijai, vandens garų absorbcijai ir audinių džiovimo procesui. Nustatyti priklausomybes tarp dėmės ploto ir stebėjimo trukmės bei tarp vandens likučio koeficiento ir audinio džiovimo trukmės.

Darbo mokslinis naujumas ir praktinė vertė

Didėjant vartotojų susidomėjimui tekstilės gaminiams iš natūralių pluoštų ir turinčiais pridėtinę vertę, disertacijoje pasirinkta analizuoti skirtingos pluoštinės sudėties verpalus ir ramės / medvilninius kilpinius audinius, padengtus mikrokapsulėmis su eukaliptų eteriniu aliejumi. Literatūros apie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų padengimą mikrokapsulėmis beveik nėra, dažniausiai analizuojami mikrokapsulėmis padengti drobinio pynimo medvilniniai audiniai. Taigi svarbu ištirti mikrokapsulių prisitvirtinimo prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų galimybes. Ramė yra labai minkštas ir švelnus pluoštas, todėl gaminiai iš ramės verpalų būna lengvi ir patogūs. Savo morfologine sandara panašus į linų pluoštą ir labiau vertinamas dėl mažo glamžumo, paviršiaus blizgesio. Be to, ramės pluoštas ypač higroskopiškas, atsparus bakterijoms, atsparus aukštesnėms skalbimo temperatūroms, netraukus, švelnus. Tačiau ramės pluoštas cikliškai lankstomas lūžinėja, todėl dažnai naudojamas su kitais natūraliais, dirbtiniais ar sintetiniais pluoštais. Tekstilės gaminiuose ramės pluoštą derinant kartu su medvilne pasiekama geresnių fizikinių ir mechaninių savybių. Medvilnės pluoštas pasižymi geromis sorbcinėmis ir stiprumo savybėmis. Tyrimams pasirinkti kilpiniai audiniai, kurių pluoštinė sudėtis labiausiai tinkama padengti mikrokapsulėmis. Siekiant sukurti pridėtinės vertės turinčius audinius, ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai buvo padengti mikrokapsulėmis, kurių šerdinis komponentas – eukaliptų eterinis aliejus. Iki šiol literatūroje ir gamintojų pateikiamuose šaltiniuose dažniausiai apsiribojama eksperimentiniais duomenimis apie tekstilės medžiagas su mikrokapsulėmis; matematinė statistinė analizė ypač retai pateikiama, todėl ne visada galima tikėtis rezultatų tikslumo ir patikimumo. Literatūros apie kilpinius audinius, padengtus mikrokapsulėmis su eteriniu aliejumi, nerasta, todėl ypač aktualu išanalizuoti kilpinių audinių, padengtų mikrokapsulėmis, sandaros, fizikines ir mechanines savybes. Naudojantis atliktų tyrimų rezultatais ir matematinėmis priklausomybėmis, galima prognozuoti kilpinių audinių savybes. Darbo rezultatai gali būti pritaikomi kitų panašios struktūros tekstilės gaminių su mikrokapsulėmis kokybinių rodiklių prognozavimui ir naujų tekstilės medžiagų kūrimui.

Autorės indėlis. Tiriamieji audiniai buvo pagaminti tekstilės įmonėje UAB „A Grupė“ (Jonava, Lietuva). Disertacijos eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti KTU, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto Medžiagų inžinerijos katedroje. Prie šio

darbo parengimo prisidėjo mokslinė vadovė prof. dr. Salvinija Petrulytė, mokslinis konsultantas prof. dr. Donatas Petrulis. KTU darbuotoja dr. Žaneta Rukuižienė padarė nuotraukas skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu, KTU darbuotoja Ina Marija Liutvinienė atliko FTIR spektrų užrašymus. Tyrimų rezultatų analizė ir interpretacija atlikta disertacijos autorės, atsižvelgus į mokslinės vadovės prof. dr. Salvinijos Petrulytės pastabas ir patarimus.

Ginamieji disertacijos teiginiai

1. Mikrokapsulių prisisvirtinimas prie medvilnės, ramės, dirbtinio bambuko, lininių ir balintų lininių verpalų yra efektyvus.
2. Kilpinių audinių apdaila mikrokapsulėmis padidina kilpinių audinių atsparumą dilinimui.
3. Apdaila mikrokapsulėmis padidina kilpinių audinių pūko kilpos atsparumą ištraukimui.

Darbo sandara ir apimtis

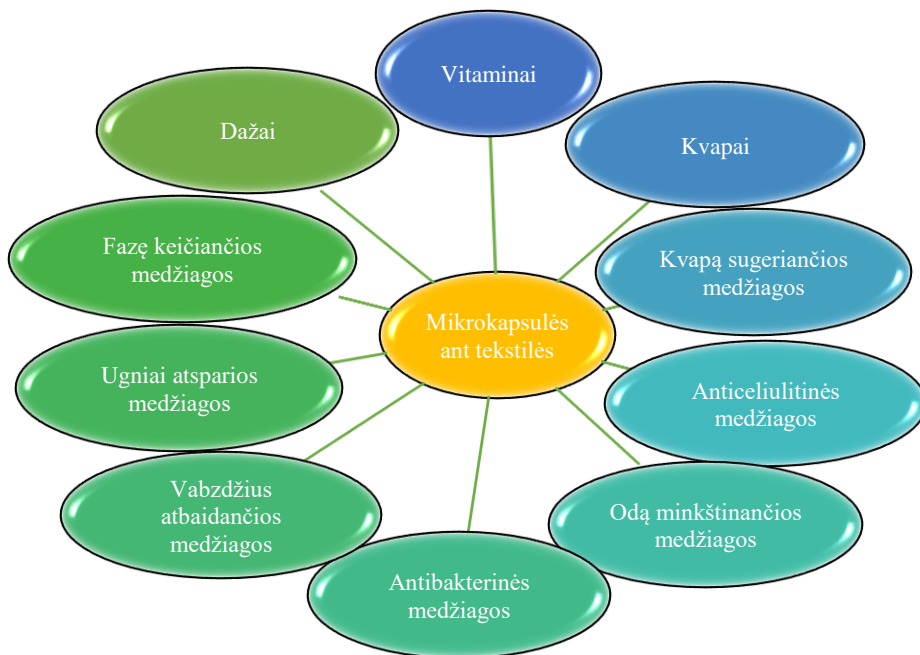
Bendra darbo apimtis – 102 puslapiai. Darbą sudaro įvadas, literatūros apžvalga, darbo metodika ir tyrimo rezultatų skyriai, išvados bei 136 šaltinių literatūros sąrašas. Darbe pateikti 51 paveikslas ir 7 lentelės.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Mikrokapsulių savybės, panaudojimas, rūšys ir gamybos būdai

Mikrokapsuliuojimas – tai procesas, kurio metu šerdinis komponentas – veiklioji medžiaga – apgaubiamas apvalkalo komponento medžiagos. Mikrokapsulių šerdinis komponentas gali būti kietos, skystos ar net dujinės medžiagos, o išorinis apvalkalas gali būti pagamintas iš želatinos, vaško, silikono, polimero ar kitokių medžiagų. Mikrokapsulių (toliau – MK) dydis gali siekti nuo kelių nanometrų iki 1 mm skersmens (Mishra, Jain, Jain, 2013). Pradėjus mikrokapsules naudoti įvairiose pramonės srityse, atsirado galimybė jas naudoti ir tekstilės pramonėje. Dabar tai viena iš labiausiai pažengusių sričių, kurioje naudojamos mikrokapsulės, taip pat, kaip ir maisto ar vaistų pramonės srityse. Tekstiliniai gaminiai, padengti mikrokapsulėmis, dar vadinami *kosmetine tekstile*, tokie gaminiai su pridėtine verte kuria naują nišą pardavimų sferoje, nes gali atlikti vabzdžių atbaidymo, vaistų perdavimo ar odos drėkinimo funkcijas (Aracil et al., 2015, 2016; Petrusis, Petruolytė, 2019, Singh, Sheikh, 2020).

Mikrokapsulių savybes lemia šerdinio komponento medžiaga. Į mikrokapsules įterpus vitaminų, eterinių aliejų, vabzdžių atbaidančių medžiagų, fazę keičiančių medžiagų ir kt., gaunamos kvapios, vabzdžių atbaidančios, sugeriančios / atiduodančios šilumą mikrokapsulės. Apžvelgiant mikrokapsulių panaudojimo galimybes tekstilės pramonėje, 1.1 pav. iliustruoja plačiausiai naudojamus MK ant tekstilės medžiagų pavyzdžius.



1.1 pav. MK panaudojimas tekstilėje

Daug dėmesio skiriama sumaniajai tekstilei, kai apdailos metu mikrokapsulėmis padengtos tekstilės medžiagos reaguoja į aplinkos poveikį ir prisitaiko, pvz., kaip fazę keičiančios ar fotochrominės MK, kai, kintant aplinkos temperatūrai, mikrokapsulės kaupia ir saugoja, o vėliau atiduoda į aplinką šilumą ar, pvz., drabužio piešinys išryškėja / nusispalvina po to, kai yra apšviečiamas saulės šviesos (Boch, 2006; Nelson, 2001, 2002).

Dar viena labai svarbi MK panaudojimo sritis yra nedegi tekstilė. Mikrokapsulės, suteikiančios atsparumą užsiliepsnojimui, plačiausiai naudojamos karių aprangoje, nes kartu padidina medžiagos minkštumą ir pagerina drapiravimąsi, dėl šių priežasčių kariams lengviau judėti (Nelson, 2001, 2002; Bekemeier, 2011). Dažnai mikrokapsulės yra įterpiamos į poliesterinį pluoštą, kuris vėliau, verpimo proceso metu, sumaišomas su medvilnės plaukeliais (taip gaunami nedegūs verpalai, iš kurių gaminamos tekstilės medžiagos), o ne medžiagos mikrokapsulėmis padengiamos apdailos metu (Nelson, 2001, 2002).

Kuriamos tekstilės medžiagos su mikrokapsulėmis, turinčiomis vabzdžius atbaidančių savybių (Costa, 2011; Yi, 2012). Tačiau šioje srityje atlikta dar nepakankamai tyrimų, analizuojančių veiksmingiausio šerdinio komponento vabzdžius atbaidančias savybes, todėl daugelis jų gali būti mažai veiksmingi. Yra žinoma, kad iš įvairių rūšių augalų šaknų, stiebo, lapų, vaisių ar sėklų išskiriamos medžiagos turi vabzdžius atbaidančių savybių. Vienas tokių augalų yra citrinžolė, kurios veiksmingumą analizavo Anitha et al. (2011). Pastarajame tyrime nustatyta, kad poliesterinio audinio, padengto mikrokapsulėmis su citrinžolės ekstraktu, veiksmingumas siekia net 92 %, ir tai yra labai geras rodiklis, žinant, kad kai kurios priemonės menkai apsaugo nuo vabzdžių.

Kosmetinė tekstilė suteikia žmogui komforto jausmą, todėl dažniausiai tokia tekstilė yra dėvima arti kūno, kad lengvai ir greitai perduotų mikrokapsulėse įterptas medžiagas žmogaus organizmui. Kosmetinė tekstilė yra gaminama padengiant ją mikrokapsules su įvairiomis kosmetinėmis priemonėmis, priklausomai nuo to, kokias savybes norima suteikti gaminiui. Tokių savybių gali būti labai daug – liekninanti, drėkinanti, suteikianti energijos, skleidžianti kvapą, gaivinanti ir raminanti, sauganti nuo ultravioletinių spindulių ar net didinanti odos elastingumą ir stiprumą. Kadangi kosmetinė tekstilė dažniausiai turi tiesioginį kontaktą su oda, todėl visos medžiagos privalo būti netoksiškos ir kiek galima mažiau sukeliančios alergiją arba jos visai nesukeliančios. Dėl šių priežasčių visos naudojamos medžiagos turi būti ištirtos laikantis standartų (Singh, Varaun, Behera, 2011; Cheng et al., 2010).

Analizuojant literatūrą pastebėta, kad aktualios ir plačiai analizuojamos yra mikrokapsuliuotos fazę keičiančios medžiagos, kvapiosios medžiagos ir antibakterinių savybių turinčios medžiagos (Boh, Knez, 2006). Fazę keičiančios medžiagos tekstilėje naudojamos tam, kad reguliuotų žmogaus kūno temperatūrą, t. y., esant aukštai aplinkos temperatūrai, sugertų šilumą ir kūnas būtų vėsintas, o, esant žemai aplinkos temperatūrai, saugomą šilumą skleisų ir šildytų kūną. Analizuodami fazę keičiančių medžiagų savybes, Salaun et al. (2010) nustatė, kad optimali medžiagų fazės keitimosi temperatūra yra $-5 - +35$ °C, o, aplinkos temperatūrai esant aukštesnei nei 150 °C, prasideda fazę keičiančių medžiagų irimo procesas. Panašią išvadą padarė ir Koo et al. (2008), tyrime analizuodami dvigubą

mikrokapsulių padengimo procesą. Jų tyrimai parodė, kad optimali medžiagų fazės keitimosi temperatūra yra $-10 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, ir audinio terminės savybės gaunamos geresnės mikrokapsulės padengus šlapiu ir sausu būdu nei vien tik arba šlapiu, arba sausu. Dažniausiai kaip tyrimų objektas pasirenkamas medvilninis audinys, kuris padengiamas mikrokapsulėmis su fazę keičiančiomis medžiagomis. Tačiau galima teigti, kad gaminio pluoštinė sudėtis ir gamybos būdas neturi įtakos mikrokapsuliuotų fazę keičiančių medžiagų terminėms savybėms, nes, tokiomis mikrokapsulėmis padengus poliesterinį mezginį, mikrokapsulių terminės savybės nepakinta, gali keistis fizikinės ir mechaninės tekstilės medžiagų savybės (Onder, Sarier, Cimena, 2008, Sanchez et al., 2010, Salaun et al., 2010, Shin, Yoo, Son, 2005).

Dažnai kvapą skleidžiančios MK turi ir antibakterinių savybių dėl į jas įterpiamų medžiagų, pvz.: eukaliptų ar čiobrelių eterinio aliejaus, cinamono aliejaus, gvazdikėlių pumpurų ekstrakto, pačiulių aliejaus, vilnotosios ervos ekstrakto, *moxa* – kinų medicinos aliejaus. Analizuodami mikrokapsulių su anksčiau išvardintomis medžiagomis antibakterines savybes, mokslininkai nustatė, kad ant tekstilės medžiagos antibakterinės savybės ilgiau išlieka padengiant medžiagą mikrokapsulėmis su tam tikra antibakterine medžiaga nei įmirkant tirpale su tomis pačiomis antibakterinėmis medžiagomis, nes iš mikrokapsulių antibakterinė medžiaga išlaisvinama palaipsniui ir gali veikti ilgesnį laiką (Soliman et al., 2013; Martins et al., 2011a; Martins et al., 2011b; Ramya, Maheshwari, 2013; Liu et al., 2013, Sundrarajan, Rukmani, 2013; Ganesan et al., 2013; Li et al., 2013b).

Mikrokapsulės su eteriniais aliejais dažniausiai naudojamos maisto, tekstilės, žemės ūkio ir farmacijos pramonėje. Siekiant prailginti maisto produktų galiojimo laiką, keisti skonį ir kvapą, galima naudoti mikrokapsulių technologiją maisto pramonėje. Tekstiliniai gaminiai su kvapiomis MK kuriami aromaterapijos tikslu, bet kartu gaminiui gali būti suteikiamos ir kitos savybės, pvz., antimikrobinis poveikis ar net apsauga nuo erkų (Xiao et al., 2014, Martins et al., 2014, Chetboun, 2015). Manoma, kad kvapą skleidžianti tekstilė gali tapti „madinga“ kasdieniame gyvenime, nes gali pagerinti žmonių sveikatą (Wang, Chen, 2005).

Plačiai manoma, kad eteriniai aliejai turi teigiamos įtakos žmogaus sveikatai. Garinant ar tepant kūną eteriniais aliejais, palengvėja kvėpavimas, nusiraminama, atsipalaiduojama ar net gydomas odos ligos, pvz., odos sudirginimas. Eteriniai aliejai išgaunami iš augalų (lapų, žiedų, vaisių, šaknų, medienos, žievės ar medžio dervų) distiliacijos būdu, vėliau atskiriant aliejų nuo vandens ar spaudžiant. Aliejai aromaterapijoje naudojami dėl to, kad lengvai prasiskverbia į žmogaus audinius, nes yra mažos molekulinės masės ir didelio lipofilškumo. Pasirenkant tam tikro augalo eterinį aliejų aromaterapijoje, suteikiamas raminamasis ar stimuliuojamasis poveikis, skystinantis gleives, lengvinantis atsikosėjimą, slopinantis uždegimą, stiprinantis imunitetą, veikiantis grybelį, antimikrobinis ar antivirusinis poveikis (prieiga internetu: www.healthline.com, www.aromata.lt).

Siekiant kontroliuoti eterinių aliejų išskyrimą į aplinką ar žmogaus organizmą, kuriamos mikrokapsulės su šiomis medžiagomis. MK veikliąją medžiagą gali išskirti iki kelių dešimčių dienų. Mikrokapsulių su eteriniais aliejais naudojimas apsaugo nuo greito veikliųjų medžiagų išgarinimo, temperatūros ar UV spindulių poveikio (Soliman et al., 2013, Umer et al., 2011, Xiao et al., 2014).

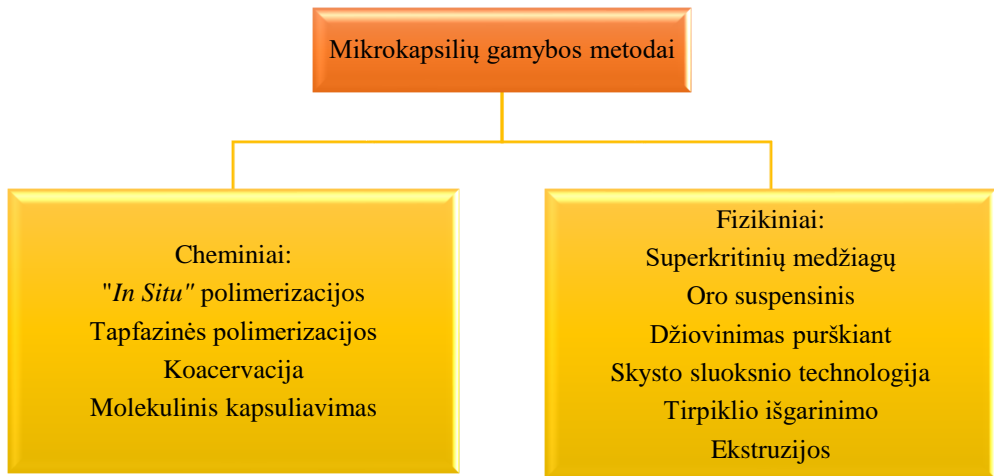
Žemės ūkio pramonėje mikrokapsulės su eteriniais aliejais gali būti naudojamos kaip insekticidai, kovai su kenkėjiškais vabzdžiais ar grybeliais. Spręsdami grūdų, pupelių ir riešutų sandėliavimo ir perdirbimo problemas, autoriai tyrė mikrokapsulių su *Rosmarinus officinalis* ir *Thymus vulgaris* eteriniais aliejais insekticidinį aktyvumą veikiant *Plodia interpunctelle* lervas ir nustatė, kad, mikrokapsulių koncentracijai esant iki 50 %, eterinių aliejų poveikis lervoms buvo efektyvus, o, didinant mikrokapsulių koncentraciją, lervų mirtingumas didėjo (Sanna Passino, Bazonni, Moretti, 2004). Poveikį nuo grybelio turinčias MK kūrė ir analizavo Soliman et al. (2013). Tyrimams kaip MK šerdinis komponentas buvo pasirinkti gvazdikėlių (*Eugenia caryophyllata*), čiobrelėlių (*Thymus vulgaris*) ir cinamono (*Cinnamomum zeylanicum*) eteriniai aliejai. Tiriant aliejų aktyvumą apsaugant nuo grybelio, buvo lyginami nekapsuliuotų eterinių aliejų ir įterptų į MK aliejų poveikis *A. niger* grybeliui, o rezultatai fiksuoti po 0, 2, 4 ir 8 dienų. Tyrimai parodė, kad bandiniai su nekapsuliuotu eteriniu aliejumi aktyvumo neteko po 2 dienų, o MK su gvazdikėlių ir čiobrelėlių eteriniais aliejais apsaugos nuo grybelio aktyvumas siekė apie 30 % net po 8 dienų. Baranauskienė et al. (2007) analizavo MK, tinkamų naudoti maisto pramonėje, su mėtų (*Menta piperita L.*) eteriniu aliejumi, įterptu modifikuoto krakmolo apvaskalo medžiagoje. Nustatyta, kad modifikuoto krakmolo apvaskalas yra tinkama priemonė lakių medžiagų garavimui kontroliuoti, valdyti medžiagų išsiskyrimą jų saugojimo ir naudojimo metu (Baranauskienė et al., 2007). Siekdami sukurti kosmetikai tinkamas mikrokapsules su čiobrelėlių eteriniu aliejumi, Martins et al. (2009) kaip apvaskalo komponentą pasirinko polilaktido (PLA) polimerą. Atlikus eksperimentus nustatyta, kad sėkmingai sukurtos PLA / čiobrelėlių aliejaus mikrokapsulės, turinčios antioksidacinį ir antimikrobinį poveikį (Martins et al., 2009).

Eteriniai aliejai ir augalų ekstraktai dažniausiai naudojami žmogaus sveikatai gerinti, įsisavinant jų veikliąsias medžiagas per odą ar įkvepiant. Taip pat atliekami moksliniai tyrimai analizuojant eterinių aliejų ir augalų ekstraktų antibakterines ar antimikrobines savybes ir gaminami gaminiai su šiomis medžiagomis (Zhuohong, 2012; Liangzhon, 2015). Kayahan, Aksoy, Onem (2013) analizavo mikrokapsulių su pipirmėčių eteriniu aliejumi antibakterinį poveikį ir padarė išvadą, jog šios mikrokapsulės tinkamos naudoti tekstiliniuose gaminiuose, siekiant suteikti antibakterinį poveikį. Carmelli ir kt. (2008) analizavo *Eucalyptus globulus* eterinio aliejaus poveikį *Streptococcus pyogenes*, *S. pneumoniae*, *S. agalactiae*, *Staphylococcus aureus*, *Haemophilus influenzae*, *H. Parainfluenzae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Stenotrophomonas maltophilia* bakterijoms ir adeno, parotito virusams. Šios bakterijos dažnai aptinkamos ant respiratorių paviršių. Tyrimais nustatė, kad eukaliptų aliejus veikė antibakteriškai tik esant didesnei koncentracijai, todėl sunku atskirti, ar poveikis yra antibakterinis, ar toksinis. Autoriai teigia, jog šio tyrimo rezultatus lyginti su kitų autorių (Inouye et al., 2001a, Inouye et al., 2001b, Salari et al., 2006) paskelbtais duomenimis yra sudėtinga, nes žinoma, kad augalinių produktų sudėtis skiriasi atsižvelgiant į vietines klimato sąlygas ir dirvožemio sudėtį bei ekstrahavimo būdus. Be to, gauti rezultatai gali skirtis dėl metodo, naudojamo antimikrobiniam aktyvumui įvertinti. Žolinių komercinių produktų gamintojai retai nurodo aliejaus koncentraciją ir niekada nenurodo cheminės augalo ekstrakto sudėties (Carmelli et al., 2008). Siekdami išvengti toksiškumo ir kontroliuoti eukaliptų aliejaus

išsiskyrimą, Noppakundiligrat et al. (2015) analizavo natrio alginato mikrokapsules su įterptu eukaliptų eteriniu aliejumi. Nustatė, kad, mikrokapsulių gamybos proceso metu didinant natrio alginato koncentraciją, didėja vidutinis mikrokapsulių skersmuo, o, didinant eukaliptų aliejaus koncentraciją, MK skersmuo mažėja. Taip pat tyrimų metu nustatyti gamybos parametrai, kuriems esant pagaminamos MK, gebančios iki 10 dienų skleisti kvapą (Noppakundiligrat et al., 2015).

Priklausomai nuo mikrokapsulių suteikiamų savybių ir šerdinio komponento medžiagos, atitinkamai parenkami apvalkalo medžiaga ir gamybos būdas. Priklausomai nuo tekstilės medžiagos gamybos technologijos ir panaudojimo srities, parenkamos mikrokapsulių charakteristikos: dydis, forma, veikliosios medžiagos išlaisvinimo mechanizmas, padengimo metodas. Taip pat reikia parinkti mikrokapsulių sudedamųjų medžiagų suderinamumą su tekstilės medžiagos gamybos metu naudojamomis medžiagomis ir tekstilinio gaminio vartojamosiomis savybėmis.

Mikrokapsuliacijos metodai skirstomi į fizikinius ir cheminius, jie pateikti 1.2 pav. ir keli iš jų aptariami toliau.



1.2 pav. Mikrokapsulių gamybos metodai (Mishra, Jain, Jain, 2013; Umer et al., 2011; Bansode et al., 2010; Jyothi et al., 2010)

In situ polimerizacijos metodas priskiriamas cheminiam mikrokapsuliacijos procesui, kurio metu MK apvalkalas susiformuoja iš monomero, apgaubdamas šerdinį MK komponentą. Tačiau kad šis procesas vyktų, mikrokapsulės šerdinis ir apvalkalo komponentai turi būti nesusimaišantys tarpusavyje. *In situ* polimerizacijos metodu pagamintos mikrokapsulės dažniausiai naudojamos savaiminio kopijavimo popieriui, kvapų ar fazę keičiančioms medžiagoms mikrokapsuliuoti (Jyothi et al., 2010).

Tarpfazinės polimerizacijos proceso metu MK apvalkalas formuojamas daugiafunkcinį monomerą sumaišius su MK norima įterpti šerdinio komponento medžiaga ir dispergatoriumi. Medžiagoms sureagavus, apvalkalo medžiaga apgaubia šerdinį komponentą, ir susiformuoja mikrokapsulės (Jyothi et al., 2010).

Koacervacijos metodu MK gaunamos šerdinio komponento medžiagą ištirpinus apvalkalo medžiagos tirpale; apvalkalo medžiaga (polimeras), išskiriama iš tirpalo,

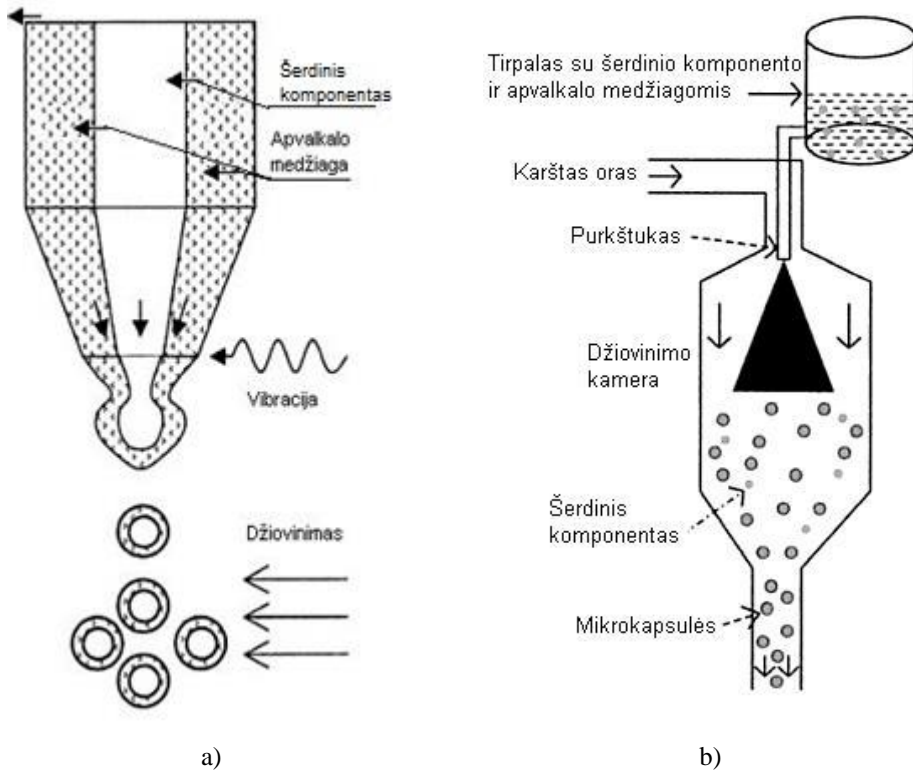
nusėda ant šerdinio komponento medžiagos lašelių ir yra sukietinama (Timilsena ir kt., 2019). Šis metodas skirstomas į paprastąją ir sudėtinę koacervaciją.

Dar vienas mikrokapsulių gamybos būdas yra *molekulinis kapsuliavimas* naudojant ciklodekstriną. Ciklodekstrinai yra žiedinės struktūros molekulės, kurios lengvai prisijungia kitas molekules į žiedo vidų, suteikdamos naujų fizikinių ar cheminių savybių. Taip, ciklodekstrinui prisijungus kitas medžiagas, gaunamos molekulinės mikrokapsulės, kurios, naudojant skirtingas medžiagas, gali pasižymėti įvairiomis savybėmis. Šis mikrokapsuliavimo metodas jau kurį laiką naudojamas farmacijos, chemijos ir tekstilės pramonėse. Pavyzdžiui, ciklodekstrinai gali būti naudojami kvapams iš tekstilės medžiagų pašalinti, dėl kvapiųjų medžiagų hidrofobiškumo jos prisijungia prie ciklodekstrinų ir jie gali būti pašalinami skalbimo metu (Del Valle, 2004). Fouda et al. (2008), analizuodami limoneno, kuris dažnai naudojamas kaip vabzdžių atbaidymo priemonė, ilgaamžiškumą ant medvilninio audinio, nustatė, kad, audinį panardinus šarminiame tirpale su monochlorotriazinilo- β -ciklodekstrinu ir padengus limonenu, vabzdžius atbaidančios savybės geresnės esant didesnei limoneno koncentracijai (Fouda et al., 2008).

Vienas iš fizikinių metodų yra mikrokapsuliavimas naudojant *superkritines medžiagas*. Dažniausiai naudojamos „superkritinės medžiagos“ yra anglies dioksidas (CO_2), alkanai $\text{C}_2 - \text{C}_4$, taip pat azoto oksidas (N_2O). Mikrokapsuliavimo procesui anglies dioksidas pradėtas naudoti norint sumažinti ar net visai pašalinti toksiškų organinių tirpiklių naudojimą. Anglies dioksidas yra patrauklesnis gamybai dėl žemos kritinės temperatūros, kuri siekia tik 31°C , ir žemo kritinio slėgio, kuris yra 74 bar, dėl šių anglies dioksido savybių jį lengva keisti iš skystos į dujinę fazę. Taip pat anglies dioksidas yra nedegus, bespalvis, bekvapis, netoksiškas, nebrangus ir jo galima daug išgauti. Tačiau ši technologija turi ir trūkumų: brangūs įrenginiai ir didelės darbo sąnaudos (Mishra, Jain, Jain, 2013; Jyothi et al., 2010).

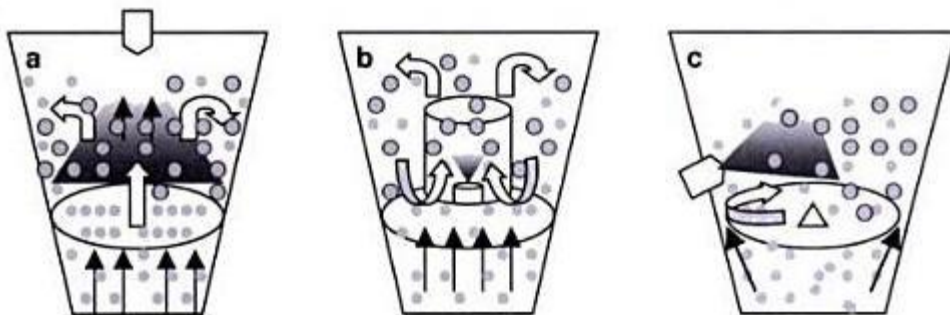
Ekstruzijos metodą išrado Pietvakarių tyrimų instituto, esančio JAV, mokslininkai. Šio proceso schema pateikta 1.3 pav., a. Ekstruzijos metodu mikrokapsulės formuojamos dviejų kamerų įrenginyje, kurio išorinėje kameroje patalpinta MK apvalkalo medžiaga, o vidinėje – šerdinio komponento medžiaga. Išstumiant medžiagas iš įrenginio ir veikiant vibracijai, apvalkalo medžiaga apgaubia šerdinį komponentą, ir taip suformuojamos mikrokapsulės (Jyothi et al., 2010; Ghosh, 2006).

Džiovinimo purškiant metodas plačiai naudojamas komercinių mikrokapsulių gamyboje įterpiant kvapą skleidžiančias medžiagas, nes yra paprastas ir pigus. Šio proceso metu eterinis aliejus sumaišomas su polimeru ir gautas tirpalas specialiu įrenginiu išpurškiamas į džiovinimo kamerą (1.3 pav., b). Kadangi šis procesas yra paprastas, todėl apie 50–60 % visų kvapą skleidžiančių mikrokapsulių yra pagaminama šiuo būdu (Ghosh, 2006).



1.3 pav. MK gamybos principinės schemos: a) ekstruzijos metodo principinė schema (Jyothi et.al., 2010); b) džiovinimo purškiant metodo principinė schema (Ghosh, 2006)

Skysto sluoksnio technologijos mikrokapsuliavimo metodas gali būti trijų skirtingų tipų, jie pavaizduoti 1.4 paveiksle. Pirmuoju atveju (1.4 pav., a) MK apvaskalo medžiaga yra užpurškiama iš viršaus ant kapsuliavimo kameros dugne esančio šerдинio komponento medžiagos, priversdama judėti daleles ir suformuodama MK (Ghosh, 2006).

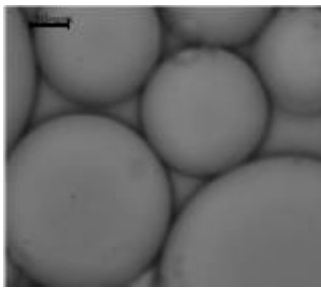


1.4 pav. Mikrokapsulių gamybos skysto sluoksnio metodo principinė schema (Ghosh, 2006)

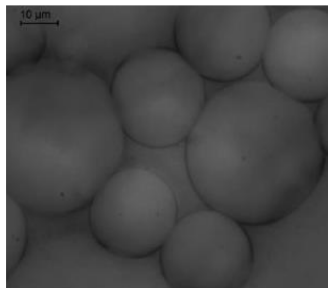
Antruoju atveju (1.4 pav., b) kapsuliavimo kamera yra su cilindrinu purkštuku ir perforuota plokšte apačioje. Kai mikrokapsulių apvalkalo medžiaga išpurškiama pro purkštuką, o šerdis komponentas kyla prasiskverbdamas pro perforuotą plokštę, abiem medžiagoms susidūrus, susidaro mikrokapsulės. Šis metodas dar gali būti vadinamas Wursterio metodu (Ghosh, 2006).

Trečiuoju atveju (1.4 pav., c) kapsuliavimo kamera sudaryta iš purkštuko šone ir apačioje esančio besisukančio tokio pat skersmens, kaip ir kamera, disko. Proceso metu diskas pakeliamas, kad sudarytų ertmę tarp kameros dugno ir disko, jam besisukant, šerdinio komponento medžiaga kyla į apvalkalo komponento purškimo zoną, ir taip sudaromos mikrokapsulės (Ghosh, 2006).

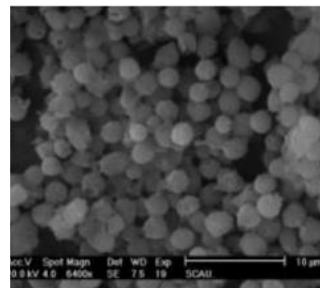
Siekiant pagaminti MK su aliejais, dažniausiai kaip apvalkalo komponentas pasirenkamas melaminformaldehidas. Analizuojant mikrokapsulių gamybos procesus pastebėta, kad nuo MK gamybos proceso pasirinkimo priklauso MK morfologija. 1.5 pav. pateiktos skirtingais gamybos būdais pagamintų mikrokapsulių skenuojamojo elektroninio mikroskopo (toliau – SEM) arba optinio mikroskopo nuotraukos: koacervacijos, tarpfazinės polimerizacijos ir džiovavimo išpurškiant mikrokapsulių gamybos būdais suformuotų mikrokapsulių morfologija.



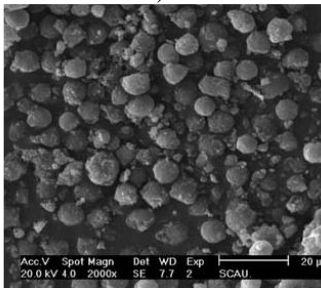
a)



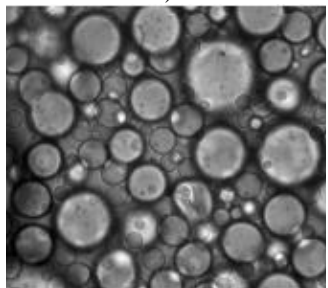
b)



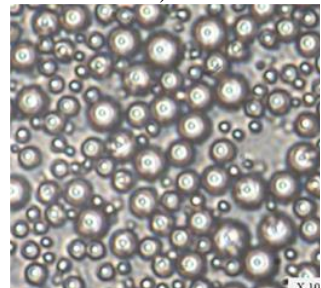
c)



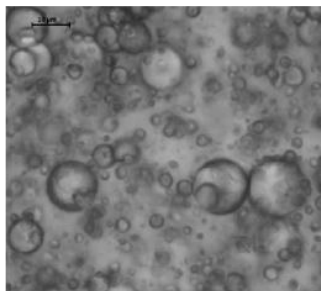
d)



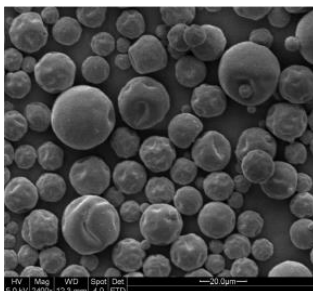
e)



f)



g)



h)



i)

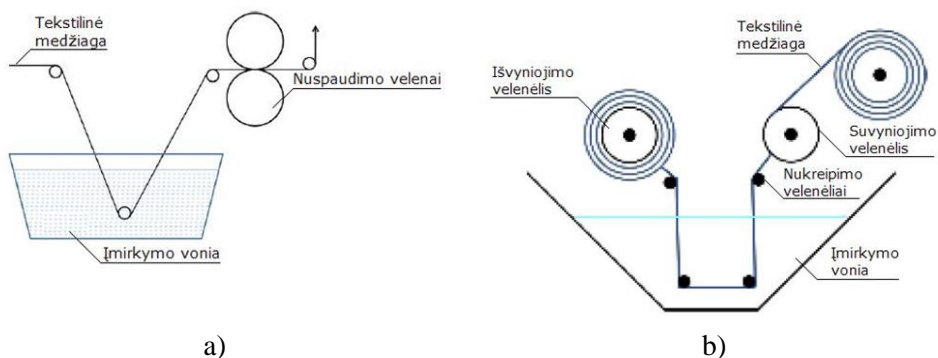
1.5 pav. Įvairiais gamybos metodais pagamintų MK SEM ir optinio mikroskopo nuotraukos: a–d, i) koacervacijos metodu pagamintos MK (didinimas x5 000); e–g) tarpfazinės polimerizacijos metodu pagamintos MK (didinimas x2 000); h) džiovinimo purškiant metodu pagamintos MK (didinimas x2 400) (Martins et al., 2011a; Martins et al., 2011b; Liu et al., 2013; Li et al., 2013a; Rodrigues et al., 2008; Azizi et al., 2014; Rodrigues et al., 2009; Monllor et al., 2007; Specos et al., 2010)

Iš nuotraukų, pateiktų 1.5 pav., a–d, matoma, kad, esant tam pačiam mikrokapsulių gamybos metodui, gaunamos skirtingo dydžio ir net ne visada vienodos formos mikrokapsulės. Taip yra todėl, kad skirtinguose tyrimuose naudojami gamybos režimai nėra standartizuoti, be to, MK deformuojasi paveikus jas mechaniniu poveikiu. Taip pat medžiagų įterpimo į MK efektyvumas priklauso nuo apvalkalo medžiagos tirpiklio pasirinkimo, temperatūros ir reakcijos laiko (Salaun, Vroman, Elmajid, 2012).

1.2. Tekstilės medžiagų padengimas mikrokapsulėmis

Analizuojant atliktus mokslinius tyrimus, kuriuose tiriamos mikrokapsulėmis padengtos tekstilės medžiagos, pastebėta, kad kai kuriais atvejais kaip tyrimų objektas pasirenkamos komercinės MK, o kitais – MK gaminamos laboratorinėmis sąlygomis. Žinoma, kad MK pagaminus tyrimų metu galima iširti šerdinio komponento įterpimo efektyvumą, nustatyti MK apvalkalo ir šerdinio komponento kiekius.

Mikrokapsulėms padengti ant tekstilės medžiagų naudojama keletas medžiagų adhezijos principu pagrįstų būdų, emulsiją su mikrokapsulėmis užpurškiant ant tekstilės medžiagų ar net padengimui naudojant buitinio skalbimo mašiną (Falkowski et al., 2010, Jaime et al., 2014). Kadangi mikrokapsulės savaime neprisisvirtina prie pluošto, todėl yra naudojamos rišamosios medžiagos – rišikliai, kurie pritvirtina mikrokapsules prie tekstilės medžiagų ar pluoštų (Vidal, 2011). Plačiausiai pramonėje ir tyrimuose naudojamas padengimo būdas, kurio metu tekstilės medžiagos yra panardinamos įvairiais tekstilės medžiagų apdailai skirtais įrenginiais į emulsiją su MK ir rišamąja medžiaga. Vienas tokių procesų yra pliusuotė, jo principinė schema pateikta 1.6 pav., a.



1.6 pav. Tekstilės medžiagų padengimo MK principinės schemos: a) plusuotės būdu; b) džigerio įrenginiu (Ripoll et al., 2010)

Pliusuotės metu medžiaga velenais nukreipiama į vonią su tirpalu ir tarp nuspaudimo velenų, kurie pašalina tirpalo perteklių iš medžiagos. Panašiai vykdomas procesas džigerio įrenginiu (1.6 pav., b), tik šio proceso metu audinys ar mezginys panardinamas, tolydžiai pakartotinai pervyniojant medžiagą, slenkančią per tirpalą, iš vieno rietimo į kitą (Ripoll et al., 2010).

Kitas taip pat labai plačiai naudojamas tekstilės medžiagų įmirkymo mikrokapsulėmis būdas yra kai panardinta į vonią su tirpalu medžiaga sugeria visą joje esantį tirpalą; tokiu atveju nereikia iš medžiagos pašalinti tirpalo pertekliaus (Ganesan et al., 2013a).

Analizuojant atliktus mokslinius tyrimus pastebėta, kad tyrimams tekstilės medžiagų padengimas mikrokapsulėmis vykdomas laboratorijos sąlygomis imituojant gamybinius procesus. Pavyzdžiui, Li et al. (2013c) su bendraautoriais audinius mirkė vonelėje su mikrokapsulių tirpalu 30 minučių, skysčio perteklių pašalino nuspausdami tarp nuspaudimo velenų, audinius džiovino automatiniam džiovintuve, esant 80–90 °C temperatūrai 3 min ir fiksavo esant 160–70 °C temperatūrai 2 min. Badulescu et al. (2008) medvilninę tekstilinę medžiagą, paveiktą glitų pašalinimo, skalbimo, balinimo ir merserizavimo apdailomis, mikrokapsulėmis įmirkė vonelėje, skysčio perteklių šalino džiovindami kambario temperatūroje 24 val., fiksavo esant 150 °C temperatūrai 20 min.

Monllor et al. (2007, 2009, 2010), analizuodami MK prisitvirtinimo prie audinio efektyvumą ar MK ilgaamžiškumą veikiant aukšta temperatūra, medvilninį balintą audinį mikrokapsulėmis dengė naudodami plusuotę, įrenginio greitis – 2 m/min, nuspaudimo velenėlių slėgis – 1,5 kg/cm, kurie pašalina iš audinio 89–90 % skysčio perteklių; MK ant audinio fiksavo esant 120 °C, 140 °C, 160 °C temperatūroms po 10 min. Šie mokslininkai nustatė, kad toks MK padengimo metodas yra efektyvus. Salaun et al. (2010b) savo tyrime mikrokapsulėms su fazę keičiančiomis medžiagomis padengti ant medvilninio ir poliesterinio audinių taip pat naudojo plusuotės metodą, tačiau skysčio pertekliaus nešalino nuspaudžiant velenais, kad nebūtų pažeistos MK; įrenginio greitis – 2 m/min, džiovintuvo kameroje audiniai transportuojami 0,5 m/min greičiu, esant 100 °C temperatūrai 4 min, fiksuojama esant 150 °C temperatūrai 4 min. Kayahan ir Karaboyaci (2013) medvilninį skalbtą ir balintą audinį plusuotės būdu įmirkė tirpale su ciklodekstrinu, audinio masei padidėjus 80 %, audinys buvo

papildomai įmirkomas nano-poliuretano rišamojoje medžiagoje. Medžiagų fiksavimas ant audinio atliktas esant 180 °C temperatūrai 1 min. Giraud et al. (2001, 2005) medvilniniam audiniui padengti ugniai atspariomis mikrokapsulėmis naudojo padengimo stailę „K Control Coater“ (Erichsen), kuriuo pasta su mikrokapsulėmis velenėliu užtepta ant audinio, vėliau audinys džiovinamas džiovinimo kameroje esant 50 °C temperatūrai 6 val. arba esant 80 °C temperatūrai 4 val. Dar vienas laboratorijos sąlygomis paruoštas tekstilinės medžiagos padengimo mikrokapsulėmis būdas yra aprašytas Kuhr et al. (2013). Autoriai tyrimo metu ant poliesterinio audinio mikrokapsules užpurškė purkštuvu, prieš tai audinį termiškai apdorojo žemesnėje kaip 170 °C temperatūroje 10 min, nes taip padidinama mikrokapsulių ir audinio adhezija.

Apibendrinant padengimo mikrokapsulėmis būdus ant tekstilės medžiagų pastebėta, jog dažniausiai laboratorijos sąlygomis tekstilės gaminiai įmirkomi tirpale su MK ar padengiami pliusuotės būdu. Manoma, kad šie būdai yra efektyviausi ir MK mažiausiai pažeidžiamos suspaudimo jėgos.

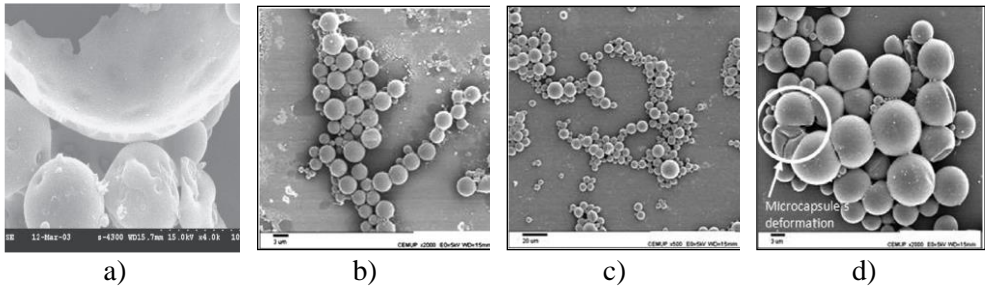
1.3. Mikrokapsulių ir tekstilės gaminių, padengtų mikrokapsulėmis, tyrimo būdai ir metodikos

Moksliniuose tyrimuose dažniausiai analizuojamos laboratorijos sąlygomis pagamintos mikrokapsulės. Tokie tyrimai dažniausiai skirti mikrokapsulių morfologinėms savybėms (formai ir dydžiui) bei sudedamosioms dalims ir jų kiekiui, terminėms savybėms, mikrokapsulių šerdinio komponento išlaisvinimo efektyvumui nustatyti. Analizuojant mokslinius tyrimus pastebėta, kad MK morfologija ir vidutinis skersmuo, skersmens pasiskirstymas analizuojami optiniu mikroskopu, skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu (SEM), papildomai pasitelkus vaizdų analizavimo programas ar lazerinę dispersiją. Mikrokapsulių sudedamosios dalys nustatomos ar patvirtinamas tam tikrų junginių buvimas pasitelkus Furjė infraraudonųjų spindulių spektroskopiją (FTIR), dujų chromatografiją (GC), o didelio slėgio skysčių chromatografija (HPLC) atskiriami MK sudarantys komponentai ir nustatomas jų kiekis. Mikrokapsulių terminės savybės analizuojamos diferenciniu skenuojamuoju kalorimetru (DSC), termogravimetrine analize (TGA) ir diferencine termine analize (DTA).

Mikrokapsulių skersmuo paprastai būna kelių mikrometrų dydžio, todėl reikalingi mikroskopai, kurie leidžia analizuoti mikrokapsulėmis padengtų pluoštų paviršiaus struktūrą ir morfologiją. Kartais tokiems tyrimams naudojami optiniai mikroskopai, tačiau jais gaunama nepakankama vaizdo kokybė, ir moksliniams tyrimams ji netinkama. Todėl dažniausiai nustatant mikrokapsulių dydį, pluošto paviršiaus morfologiją ir prisitvirtinimo efektyvumą naudojamas skenuojamasis elektroninis mikroskopas.

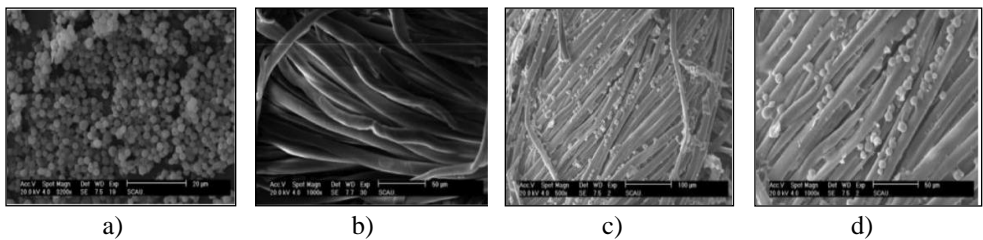
Atliekant mokslinius tyrimus pirmiausia svarbu nustatyti mikrokapsulių dydį, skersmens pasiskirstymą ir formą. Nuo šių parametrų priklausys, ar mikrokapsulės įsiterps į pluošto tarpus, ar tiesiog prikibs prie paviršiaus, nes tik mažosios mikrokapsulės (iki 1 μm skersmens) aptinkamos pluošto tarpuose. Nuo mikrokapsulių formos priklauso suteikiamų savybių efektyvumas: jei MK bus pažeistos, deformuotos ir subliuškusios, tai reiškia, kad jos jau gali būti netekusios savo savybių,

pvz., kvapo, kurį suteikia MK viduje esantys eteriniai aliejai. Todėl SEM nustatoma, ar MK yra taisyklingos apvalios formos (Badulescu et al., 2008). Tarkime, Teixeira et al. (2012) atliktame tyrime analizuojant komercines mikrokapsules skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu (JEOL JSM-6301S, esant 15 kV įtampai) nustatyta, kad MK yra sferiškos (1.7 pav., b–d), tačiau kai kurios yra deformuotos (1.7 pav., d). Autorių nuomone, tai galėjo įvykti dėl vakuumo, sudaromo kameroje skenavimo proceso metu. Jang, Sung ir Choi (2005) tyrime analizuojant mikrokapsulių gamybos procesą *in situ* polimerizacijos būdu, SEM nuotraukose pastebėtas MK sienelių akytumas (1.7 pav., a). Šiuo atveju veikioji medžiaga išlaisvinama greičiau nei iš MK, kurių paviršius lygus.



1.7 pav. SEM komercinių mikrokapsulių nuotraukos, esant skirtingam didinimui: a) didinimas x4 000, b ir d) didinimas x 2 000, c) didinimas x100, (Teixeira et al., 2012, Jang et al., 2005)

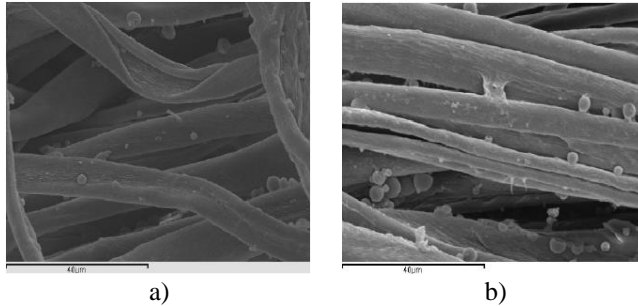
Nustačius mikrokapsulių morfologiją (1.8 pav., a) ir skersmens pasiskirstymą, kuris dažniausiai nustatomas lazeriniu dalelių dydžio matuokliu, labai svarbu įvertinti MK prisitvirtinimą prie pluošto. Nustatant MK prisiklijavimo efektyvumą, naudinga skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu ištirti neapdoroto pluošto vaizdą (1.8 pav., b), kad būtų galima palyginti vaizdo rezultatus. Liu et al. (2013) tyrime analizuojant mikrokapsulėmis padengto pluošto morfologiją SEM nuotraukose pastebėta, kad MK taip pat įsiterpė ir į pluošto tarpus (1.8 pav., c ir d).



1.8 pav. SEM nuotraukos: mikrokapsulių ir jomis nepadengto ir padengto medvilnės pluošto nuotraukos, esant skirtingiems didinimams: a) mikrokapsulės (didinimas x 3200); b) medvilnės pluoštas be MK (didinimas x 1 000); c) medvilnės pluoštas su MK (didinimas x 500); d) medvilnės pluoštas su MK (didinimas x 1 000), (Liu et al., 2013)

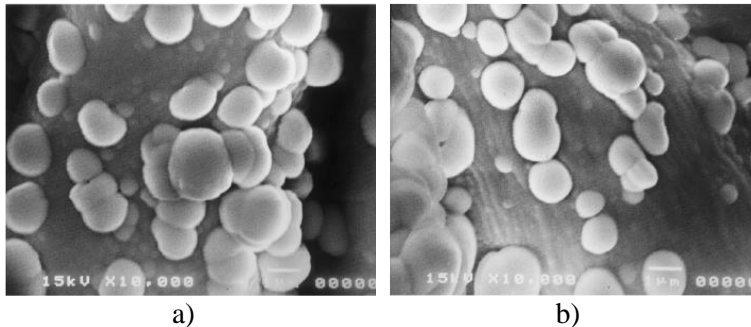
Kai kuriais atvejais SEM naudojamas mikrokapsulių buvimui ant tekstilės gaminio įvertinti prieš ir po įvairių procesų. Monllor et al. (2010) atliktame tyrime buvo analizuojamas mikrokapsulių prisiklijavimo efektyvumas keičiant rišamosios

medžiagos koncentraciją tirpale su MK. Tyrimas parodė, kad po 20 skalbimo ciklų audiniuose, kurie buvo mirkomi tirpale be rišamosios medžiagos, MK aptikta labai mažai (1.9 pav., a), o audiniuose, kurie buvo mirkomi su rišamąja medžiaga, – MK aptikta daugiau, tačiau kai kurios jų yra deformuotos (1.9 pav., b).



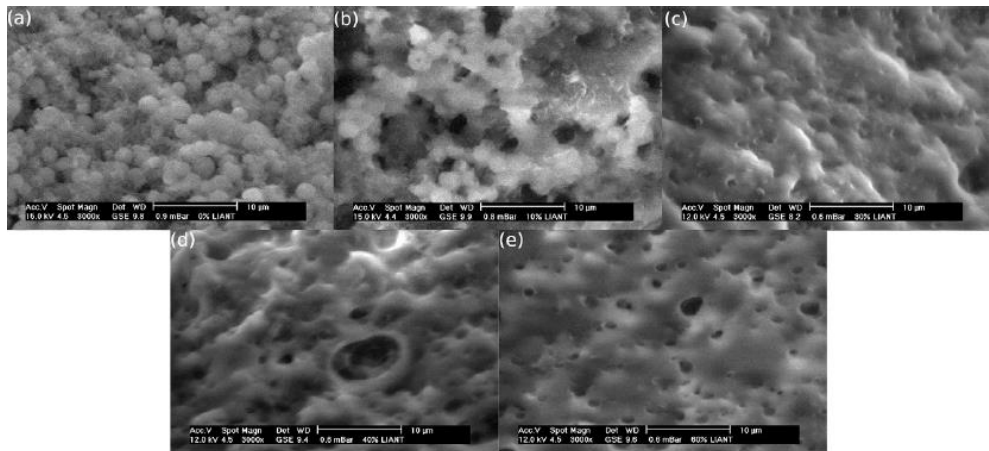
1.9 pav. SEM nuotraukos audinių, padengtų mikrokapsulėmis (didinimas x1 000): a) be rišamosios medžiagos, b) su 10 g/l rišiklio koncentracija (Monllor et al., 2010)

Panašią išvadą padarė ir Park, Hong (1999) tyrime analizuodami melamino dervos mikrokapsules su eteriniu aliejumi. Šio tyrimo metu buvo įvertintas MK prisiklijavimo efektyvumas po 15 skalbimo ciklų ir nustatyta, kad daugiausia liko MK, kurių skersmuo mažesnis nei 10 µm.



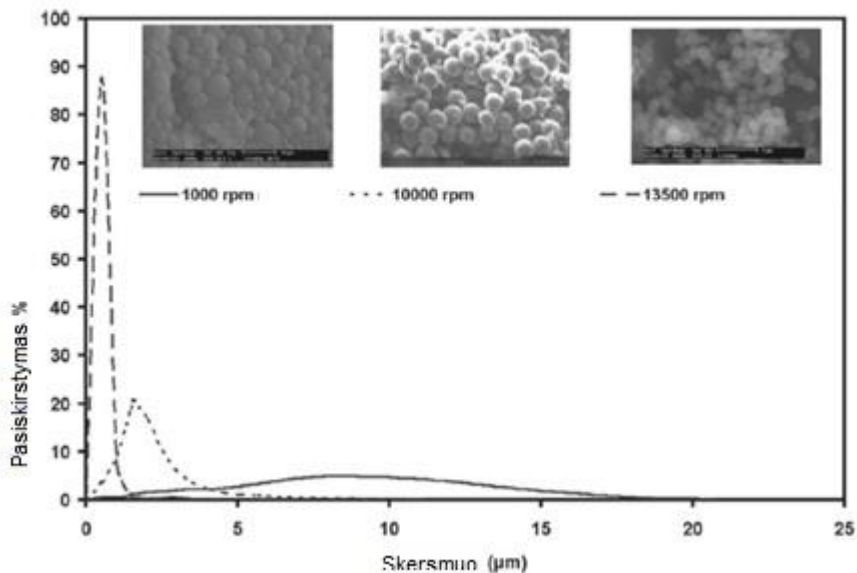
1.10 pav. SEM nuotraukos medvilninių audinių, padengtų mikrokapsulėmis (didinimas x10 000): a) prieš skalbimą, b) po 15 skalbimo ciklų (Park, Hong, 1999)

Salaun et al. (2010a), tyrime analizavę rišamosios medžiagos kiekio tirpale įtaką paviršiaus struktūrai, nustatė, kad, didinant mikrokapsulių ir rišamosios medžiagos santykį nuo 100/0 % iki 40/60 %, paviršiaus struktūra visiškai pasikeitė. Kai rišamosios medžiagos tirpale yra tik 10 % (1.11 pav., b), paviršius suformuojamas iš MK ir pro esančius tarpus gali lengvai išgaruoti tirpale esantis vanduo, o, didėjant rišamosios medžiagos kiekiui, matoma, kad paviršiaus struktūra panašėja į ištisinę plėvelę (1.11 pav., c, d, e).



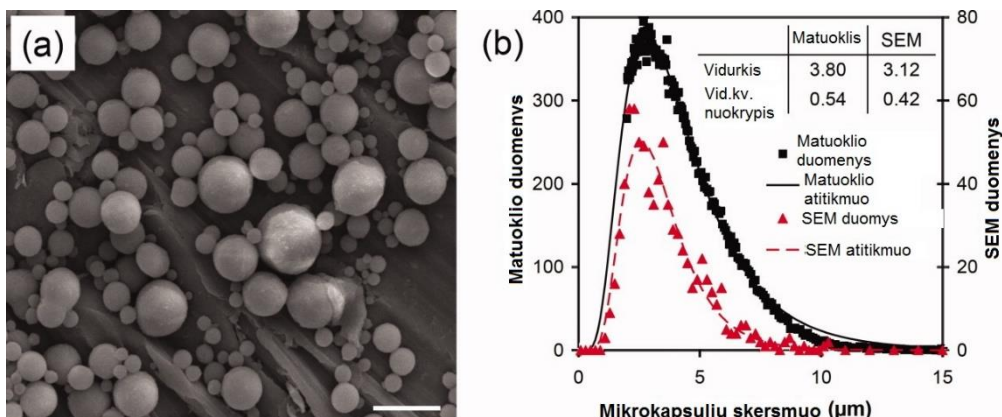
1.11 pav. SEM nuotraukos mikrokapsulių dangos, didėjant rišamosios medžiagos kiekiui tirpale (didinimas $\times 3\,000$): a) 100 % mikrokapsulės; b) 90/10 % mikrokapsulės / rišamoji medžiaga; c) 70/30 % mikrokapsulės / rišamoji medžiaga; d) 60/40 % mikrokapsulės / rišamoji medžiaga; e) 40/60 % mikrokapsulės / rišamoji medžiaga (Salaun et al., 2010a)

Jei tyrimams mikrokapsulės yra pasigaminamos laboratorijos sąlygomis, labai svarbu nustatyti jų dydį, nes, keičiant gamybos proceso parametrus (pvz., maišymo greitį), kinta ir MK dydis. Salaun et al. (2010b) analizavo aprangos tekstilei naudojamų mikrokapsulių su fazę keičiančia medžiaga gamybos procesą. Iš SEM nuotraukų, pasitelkus vaizdų analizavimo programą, nustačius mikrokapsulių dydį, buvo pastebėta, kad, mikrokapsulių gamybos proceso metu didinant medžiagų maišymo greitį, susiformuoja daugiau mažo skersmens mikrokapsulių. Iš grafiko, pateikto 1.12 pav., matoma, kad daugiausia mažo skersmens mikrokapsulių susidaro maišymo greičiui esant $13\,500\text{ min}^{-1}$.



1.12 pav. Mikrokapsulių skersmens santykinis dažnis ir SEM nuotraukos (didinimas x2400) esant skirtingiems maišymo greičiams (Salaun et al., 2010b)

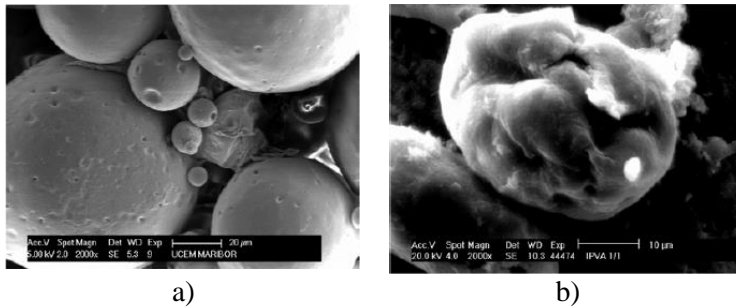
Plačiau analizuojant mikrokapsulių skersmens pasiskirstymą, pravartu nustatyti ne vien tik vidurkį, bet taip pat ir standartinį kvadratinį nuokrypį ir kokių skirstinių pasiskirto skersmens dydis, tada gaunami išsamesni rezultatai. Tokią analizę atliko Tavera et al. (2009), atlikę eksperimentinę ir teorinę mikrokapsulių analizę ir iš SEM nuotraukų nustatę, kad skersmens pasiskirstymas kinta pagal normaliojo skirstinio dėsnį (1.13 pav.).



1.13 pav. Mikrokapsulių a) SEM nuotrauka (didinimas x2400), b) skersmens pasiskirstymo grafikas pagal normalųjį skirstinį (Tavera et al., 2009)

Tačiau kai kuriais atvejais nepavyksta gauti tinkamų vaizdų analizės rezultatų dėl techninių kliūčių. Feczko, Kokol ir Voncina (2010) tyrime analizavo

etilceliuliozės mikrokapsules skirtingais skenuojamaisiais elektroniniais mikroskopais ir abiem atvejais gautas skirtingas vaizdas (1.14 pav.), net tuomet, kai mikroskopai vienodo tipo, tačiau skirtingai sureguliuoti.



1.14 pav. Mikrokapsulių nuotraukos, gautos skirtingai sureguliuotais mikroskopais (Feczko, Kokol ir Voncina, 2010): a) didinimas x2 000, b) didinimas x2 000

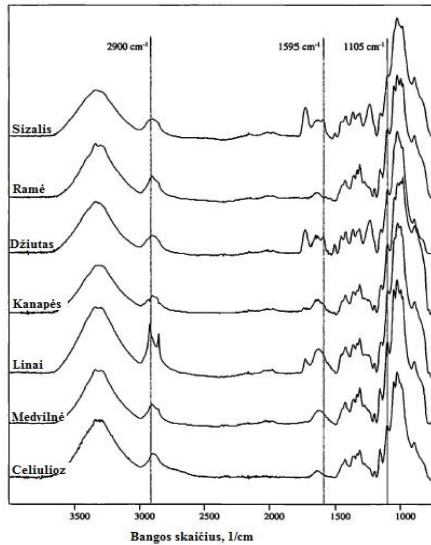
FTIR spektroskopija plačiai naudojama analizuojant tirpalus, pastas, miltelius, plėveles, pluoštus, dujas ar paviršius. Analizuojant celiuliozinius pluoštus, svarbu nustatyti pluošto biopolimerų funkcines grupes. Funkcinės grupės, tokios kaip O–H, C–H, C=O, C=C, yra celiuliozinių pluoštų biopolimeruose (celiuliozė, hemiceliuliozė, ligninas ir pektinas), o aromatiniai žiedai – lignine (Bevitori et al., 2014). Mokslininkai, analizavę ramės pluošto komponentus, pateikė svarbias absorbcijos smailes, apibūdinančias ligniną (1.1 lent.), kuris yra viena iš sudedamųjų ramės pluošto dalių.

1.1 lentelė. FTIR smailės, apibūdinančios ligniną (Bevitori et al., 2014)

Bangos skaičius (cm ⁻¹)	Grupės kilmė
3450–3400	O–H vibracijos
3050–2840	O–H vibracijos
1740–1710	C=O vibracijos (esterio grupė)
1675–1660	C=O vibracijos konjugacijoje su aromatinium žiedu
1605–1600	Aromatinio žiedo vibracijos
1515–1505	Aromatinio žiedo vibracijos
1470–1460	C–H deformacija
1430–1425	Aromatinio žiedo vibracijos
1370–1365	C–H deformacija
1230–1220	C–C, C–O vibracija
1172	C–O vibracija esterio grupėje
1085–1030	C–H, C–O deformacijos
835	C–H (hidroksifenilas)

Mikrokapsules ir pluoštus tiriant FTIR metodu, nustatomos tam tikras junginių grupes atitinkančios smailės. Celiuliozinių pluoštų FTIR spektrus lygino ir analizavo Garside ir Wyeth (2003). Autoriai teigia, kad smailė ties 1735 cm⁻¹ priskiriama C=O grupei pektinuose, smailė ties ~1595 cm⁻¹ ir ~1505 cm⁻¹ priskiriama C=C aromatinei grupei lignine ir smailės ties ~1155 cm⁻¹, ~1105 cm⁻¹ atitinkamai priskiriamos C–C

grupei ir C–O–C grupei celiuliozėje. Garside ir Wyeth, išanalizavę sizalio, ramės, džiuoto, kanapių, linų ir medvilnės pluoštų spektrus, teigia, kad pastebima sudėties skirtumų (1.15 pav.).



b)

1.15 pav. Celiuliozinių pluoštų FTIR spektrai (Garside, Wyeth, 2003)

Užrašant tekstilės gaminių, apdorotų MK, spektrus, dažnai nustatoma MK apvalkalo medžiaga ar mikrokapsulių veiklioji medžiaga. Badulescu et al. (2008) teigia, jog smailė ties 1737–1744 cm⁻¹ gali būti priskiriama karbonilo vibracijai kamparo acetate, esančiame rozmarinų aliejuje, įterptame mikrokapsulėse. Boura et al. (2012), analizuodami galimybes sėmenų aliejų įterpti į polikarbamidformaldehido apvalkalą, FTIR tyrimu patvirtino šerdinio komponento ir apvalkalo medžiagas, teigdami, jog apvalkalo komponento spektre yra charakteringos N–H, C–H, C=O, C–N ir O–H smailės, o šerdinio komponento spektre – C=C, C=O, C–H ir O–H smailės. Liu et al. (2013), analizuodami chitozano ir želatinos MK prieš ir po padengimo ant celiuliozinio tekstilinio gaminio FTIR spektrus, taip pat patvirtino, kad yra ryšiai tarp rišamosios medžiagos ir celiuliozės hidroksigrupių arba mikrokapsulių hidroksigrupių.

Apibendrinant galima teigti, kad SEM yra pakankamai geras MK analizavimo metodas, nes užfiksuojami net labai mažus matmenis turintys elementai, kurių struktūrą ir morfologiją galima nustatyti iš nuotraukų. Atliekant pluoštų, rišiklio ir MK FTIR tyrimus, nustatomos funkcinės grupės ar susidarantys ryšiai.

1.4. Mikrokapsulių atsparumas medžiagų dėvėjimo veiksniams

Atlikus tekstilės medžiagų apdailą su mikrokapsulėmis, yra labai svarbu žinoti, kiek laiko eksploatuojant gaminių mikrokapsulės nepraras savo savybių. Neretai mikrokapsulių gamintojai pateikia eksploataavimo rekomendacijas ir mikrokapsulių

gyvavimo trukmę. Tuo atveju, kai tyrimams mikrokapsulės pasigaminamos, o ne naudojamos komercinės mikrokapsulės, galima pasirinkti mikrokapsulių šerdinio komponento ir apvalkalo komponento medžiagas pagal poreikį ir nustatyti eksploatacines tyrimo objekto normas. Dažniausiai tyrimuose analizuojami yra šie dėvėjimo veiksniai: atsparumas skalbimui, sausam valymui, dilinimui, terminiam poveikiui.

Mikrokapsulių atsparumą skalbimui analizavo Monllor, Bonet ir Cases (2007), Liu et al. (2013), Azizi, Chevalier ir Majdoub (2014), Teixeira et al. (2012) ir kiti. Pagal Monllor, Bonet ir Cases (2007) atliktus tyrimus analizuojant kvapių mikrokapsulių savybes ant medvilninio audinio nustatyta, kad po 10 skalbimo ciklų kvapas nepašalinamas. Pagal Liu et al. (2013) tyrimą, kurio metu buvo analizuojamos mikrokapsulių antibakterinės savybės ant medvilninio audinio, nustatyta, kad, padengus medvilninį audinį mikrokapsulėmis su pačiulių aliejumi, po 25 skalbimo ciklų išliko 65 % antibakterinių savybių. Pagal Azizi, Chevalier ir Majdoub (2014) atliktą tyrimą, analizuojant mikrokapsulių, skirtų kosmetinei tekstilei, savybes, nustatyta, kad po 20 skalbimo ciklų ant poliamidinio mezginio liko 30 % kvapių mikrokapsulių. Teixeira et al. (2012) analizavo komercinių mikrokapsulių savybes ir nustatė, kad po pirmo tekstilės medžiagos su MK skalbimo ciklo pašalinano 46 % MK, o po 20 skalbimo ciklų – 97 % MK. Tokiems rezultatams taip pat turi įtakos ir naudojamos rišamosios medžiagos kiekis. Monllor et al. (2010) tyrimų metu analizavo mikrokapsulių adheziją prie tekstilės medžiagų ir nustatė, kad, mikrokapsulėmis padengiant medvilninį audinį be rišamosios medžiagos, po 10 skalbimo ciklų MK nelieka, o, padengiant su 10 g/l rišamosios medžiagos, po 20 skalbimo ciklų dalis MK išlieka. Atlikta palyginamųjų mikrokapsulių ir antibakterinio tirpalo ilgaamžiškumo tyrimų. Pavyzdžiui, Ramya ir Maheshvari (2013), atlikę bambukinio / medvilninio mezginio antibakterinės apdailos analizę, nustatė, kad, mezginį įmirkčius antibakteriniame tirpale, po 20 skalbimo ciklų gaminiai nepasižymi antibakterinėmis savybėmis, o, padengus mikrokapsulėmis su ta pačia antibakterine medžiaga viduje, ir po 30 skalbimo ciklų tekstilės medžiagos dar pasižymi antibakterinėmis savybėmis. Prie panašios išvados priėjo ir Ganesan et al. (2013b), analizavę vario prisodrintų sėklų ekstrakto mikrokapsulių antibakterines tekstilės gaminių savybes, jie nustatė, kad, lajocelio audinį įmirkčius sėklų ekstrakto ir padengus mikrokapsulėmis su sėklų ekstraktu, po 15 skalbimo ciklų geresnės antibakterinės savybės yra audinio su mikrokapsulėmis. Tačiau galimai didžiausią mikrokapsulių atsparumą skalbimui galima pasiekti MK ant tekstilės medžiagų fiksuojant UV spinduliais. Tyrimais nustatyta, kad dalis MK išlieka net iki 50 skalbimo ciklų (Li, Boyter, Qian, 2005).

MK atsparumą sausam valymui analizavo Rodrigues et al. (2008), nagrinėdami tekstilės gaminius su limoneno mikrokapsulėmis. Šie mokslininkai nustatė, kad po 3 sauso valymo ciklų limoneno mikrokapsulių pašalinano 57 %, o po 5 ciklų – 97 % MK. O kitame tyrime Rodrigues et al. (2009), analizuodami kelių rūšių kvapų mikrokapsulių atsparumą medžiagų dėvėjimo veiksniams, nustatė, kad po pirmo sauso valymo ciklo citrinų kvapo mikrokapsulių pašalinano 38 % MK, o po 5 ciklų – 87 % MK. O Teixeira et al. (2012) nustatė, kad po 5 sauso valymo ciklų mikrokapsulių su limonenu pašalinano 58 %, o mikrokapsulių su vetiverų eteriniu aliejumi pašalinano

47 %. Tokiems tyrimų rezultatams galėjo turėti įtakos ir kiti veiksniai, tarkime, skirtingos naudojamos rišamosios medžiagos ar jų koncentracija.

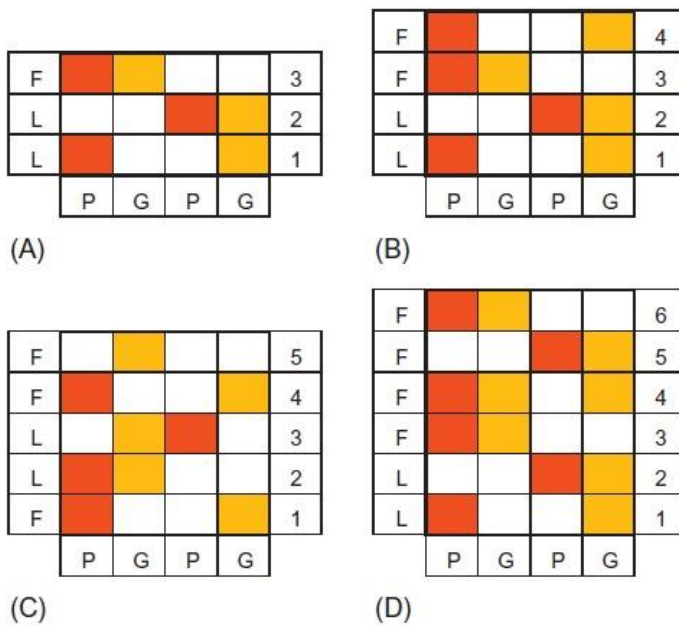
MK atsparumą dilinimui taip pat analizavo Rodrigues et al. (2009): tyrimas parodė, kad po 3 000 dilinimo ciklų ant tekstilės medžiagų buvo pažeista 40 % mikrokapsulių su limonenu, o po 9 000 ciklų – 60 %. Pagal Monllor, Bonet ir Cases (2007) atliktus tyrimus analizuojant kvapių mikrokapsulių savybes ant medvilninio audinio, nustatyta, kad, dilinant piršto formos dilinimo galvute šlapią ir sausą gaminį, po 10 dilinimo ciklų MK, esančios ant šlapio gaminio, yra pažeistos mažiau, todėl ir kvapas išlieka ilgiau.

Kvapių mikrokapsulių atsparumą terminiam poveikiui analizavo Monllor et al. (2009), tyrimo metu jie nustatė, kad, mikrokapsulėmis padengtą medvilninį audinį džiovinant karštu oru, kurio temperatūra yra 120 °C ir daugiau, mikrokapsulės suardomos, taip pat ir tekstilės medžiagą lyginant: didėjant lyginimų skaičiui, vis daugiau MK suardoma.

Apibendrinant galima teigti, jog MK išlieka, kai tekstilės medžiagos veikiamos mechaniniu, cheminiu temperatūros ir vandens poveikiais pakankamai ilgą laiką, nes įsiterpia į verpalų vidų, tačiau svarbu parinkti tinkamas padengimo sąlygas, t. y. rišiklio koncentraciją, padengimo būdą.

1.5. Kilpinių audinių savybės

Sudėtingos sandaros audinių pynimai yra sudaromi su dviem metmenų arba dviem ataudų sistemomis, dvigubi pynimai, daugiasluoksniai pynimai. Šiais pynimais suformuojami specialios struktūros audiniai: pikiniai, lansiniai, brošiniai, pūkiniai, kilpiniai, plisiniai ar ažūriniai. Kilpiniai audiniai audžiami tarpusavyje supinant pagrindo ataudus su pagrindo metmenimis ir kilpiniais metmenimis. Šie audiniai klasifikuojami pagal pynimą, t. y. kiek ataudų primušama vienu metu, paprastai būna nuo dviejų iki šešių ataudų. Dažniausia audinių rūšis, kai audžiama primušant tris ataudus, nes audinio konstrukcija patvari ir gamyba nereikalauja didelių kaštų, palyginti su penkių ar šešių primuštų ataudų audinių atveju. Kilpiniai audiniai audžiami kilpas formuojant vienoje arba abiejose audinio pusėse. 1.16 pav. pateiktos kilpinių audinių principinės schemas audimo metu primušant tris (A), keturis (B), penkis (C) ar šešis (D) ataudus. Paveiksluose raudona spalva žymima pagrindo metmenų perdanga, kai metmuo yra virš ataudų, oranžine spalva žymimas kilpinio metmens persipynimas, kai kilpa yra virš ataudų (Singh, Verma, 2017).

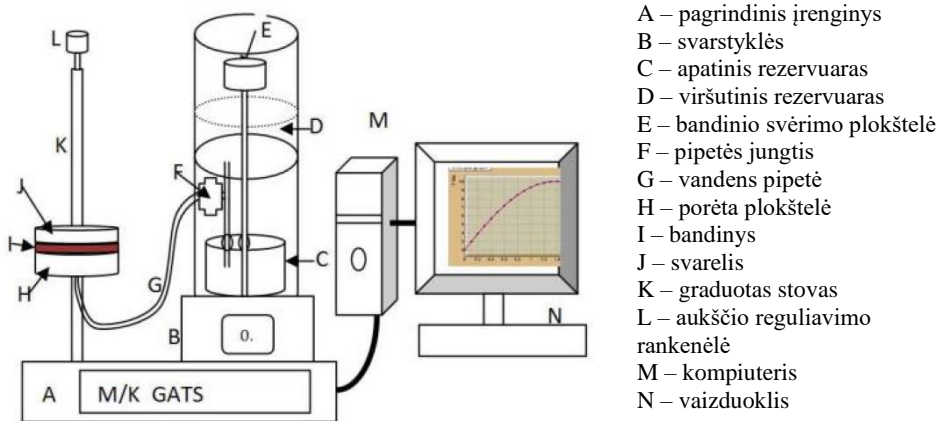


1.16 pav. Kilpinių audinių principinė schema audimo metu primušant: A – tris, B – keturis, C – penkis, D – šešis, ataudus (Singh, Verma, 2017)

Kilpiniai audiniai dažniausiai naudojami saunos, vonios, virtuvės tekstilės gaminiams, kur turi kontaktą su skysčiais. Plačiausiai moksliniai tyrimai analizuoja audinių sorbcines savybes, taip pat ir kitas – fizikines ir mechanines savybes. Komforto jausmą dėvint gaminius iš kilpinių audinių suteikia ypač gera šių tekstilės medžiagų vandens absorbcija, laidumas orui, vandens garų pralaidumas, džiovimo laikas. Kaip žinoma iš literatūros (Karahan (2007), Petrulytė ir Baltakytė (2008, 2009b)), audinių sorbcinės savybės priklauso nuo audinius sudarančių pluoštų (natūralūs ar sintetiniai), audinių struktūros (metmenų ir ataudų tankumo, kilpos aukščio) ar verpalų rūšies. Siekiant įvertinti sorbcines savybes, nustatomos statinė ir dinaminė vandens absorbcijos, vandens garų laidumas.

Analizuojant audinių statinę vandens absorbciją, yra nustatomas vandens kiekis, kurį audinys geba sugerti per tam tikrą laiką. Ši savybė svarbi vartotojui, nes kilpiniai audiniai dažnai naudojami vandeniui sugerti. Karaha ir Eren (2006) analizavo medvilninių kilpinių audinių statinės vandens absorbcijos priklausomybę nuo audinio charakteristikų – metmenų ir ataudų tankumo, kilpos aukščio. Nustatyta, kad statinei vandens absorbcijai labiausiai turi įtakos siūlų tipas, tačiau kilpos aukštis taip pat turėjo svarbos. Tyrėjai pabrėžia, jog audinio ataudų ir metmenų tankumas turi įtakos statinei vandens absorbcijai, tačiau tyrimais nustatyta, jog daugiau įtakos turi verpalų rūšis ir kilpos aukštis (Karahan, Eren, 2006). Statinės vandens absorbcijos priklausomybę nuo kilpos aukščio analizavo Petrulytė ir Baltakytė (2009a). Autorės teigia, kad didžiausiais statinės vandens absorbcijos pokytis, priklausomai nuo kilpos aukščio, gautas tiriant žalius balinto lino audinius. Analizuojant audinių, paveiktų skalbimo su plovikliu, minkštikliu ar tumbleravimo apdailomis, absorbcijos pokyčius, pastebėta, kad vandens absorbcija padidėjo iki 2,2 karto po skalbimo su plovikliu,

tumbleruojant 90–120 min vandens absorbcija padidėjo iki 1,5–3,3 karto, palyginti su žaliais audiniais. Autorių nuomone, šiems pokyčiams turi įtakos audinių paviršinio tankio padidėjimas, pluošto brinkimas ir audinio akučių sumažėjimas (Petrulytė, Baltakytė, 2009a). Išvada, kad vandens absorbcija priklauso nuo kilpos aukščio, patvirtinta ir kitame straipsnyje – Petrulytė ir Našlėnienė (2010). Čia taip pat teigiama, kad 22,3 % daugiau skysčio absorbuoja lininiai kilpiniai audiniai (kilpos aukštis (KA) – 12 mm), palyginti su lininiais / medvilniniais audiniais, kurių kilpos aukštis toks pats. Be to, nustatyta, kad skysčio absorbavimo geba priklauso nuo audinio akytumo, kilpos aukščio ir suteiktų apdailos operacijų – vilgymo, skalbimo be ploviklio ar su plovikliu / minkštikliu, tumbleravimo. Kilpinių audinių, patyrusių apdailos poveikį, skysčio sulaikymo geba, palyginti su žalių audinių, sumažėjo (Petrulytė, Našlėnienė (2010)). Behera ir Singh (2014) analizavo mišriapluoščių kilpinių audinių sorbcines savybes ir tyrime naudojo patentuotą gravimetrinę absorbcijos bandymo sistemą (angl. *Gravimetric absorption testing system (GATS)*) (1.17 pav.). Ši sistema analizuoja sauso bandinio masei tenkančio absorbuoto vandens masės kiekį per laiko vieneta. Autoriai nustatė, kad audiniai, pagaminti iš medvilninių mažo sukrumo plonų verpalų, turintys tankias, aukštas kilpas, pasižymi geromis sorbcinėmis savybėmis (Behera, Singh, 2014). Šią GATS matavimo sistemą naudojo ir daugelis kitų autorių, analizuodami audinių sorbcines savybes (Delkumburewatte, 2011; Fan, 2009, Hes, Williams, 2011; Behera, Singh, 2014).



1.17 pav. Gravimetrinė absorbcijos bandymo sistema (Behera, Singh, 2014)

Kilpiniai audiniai turi suteikti komforto pojūtį, greitai absorbuoti drėgmę nuo kūno, būti laidūs orui ir palaikyti kūno šilumą. Todėl Durur ir Oner (2013) analizavo mišriapluoščių kilpinių audinių savybes, kurios suteikia komforto jausmą dėvint. Tyrimams pasirinko kilpinius audinius, sudarytus iš medvilninių pagrindo siūlų ir skirtingų kilpos aukščių medvilninių ir polipropileno siūlų, kurie sudaro kilpinius metmenis. Nustatyta, kad kilpiniai audiniai su aukštesnėmis kilpomis greičiau absorbuoja vandenį ataudų kryptimi, be to, medvilniniai siūlai, absorbuodami vandenį, jaučiami šlapi, o polipropileno siūlai, sugėrę vandenį, perduoda jį į kitus

sluoksnius, todėl, naudojant gaminius iš tokio audinio, drėgmė nebus jaučiama (Durur, Oner, 2013).

Taigi apžvelgus literatūrą matoma vieninga autorių išvada, jog kilpinių audinių statinė vandens absorbcija priklauso nuo audinio pluoštinės sudėties, kilpos aukščio, audinio tankumo ir suteiktos apdailos poveikio.

Analizuojant audinių dinaminę vandens absorbciją yra nustatomas laikas, per kurį audinys geba absorbuoti tam tikrą vandens kiekį. Dinaminė vandens absorbcija priklauso nuo audinio pluoštinės sudėties ir audinio struktūros (tankumo, kilpos aukščio). Dinaminę vandens absorbciją analizavo daugelis tyrėjų (Karahana (2007); Petruolytė, Baltakytė (2008, 2009b); Sekerden (2012a, 2012b)). Skysčių absorbavimas yra viena pagrindinių kilpinių audinių savybių, todėl svarbu išanalizuoti, kaip greitai audiniai geba sugerti skysčius ir kaip kinta absorbcijos procesas laikui bėgant (Karahana, 2007).

Kilpinių audinių dinaminės absorbcijos procesą analizavo Petruolytė ir Baltakytė (2008, 2009b) pagal savo pasiūlytą tyrimo metodiką, leidžiančią vertinti absorbuojamo skysčio dėmės ploto pokytį. Ši metodika paremta dėmės ploto pradiniu momentu ir dėmės ploto po tam tikro laiko santykiu. Analizuojant dėmės plotų vaizdus tam tikru laiko momentu, galima nustatyti, kada absorbcijos procesas vyksta greičiausiai, kuriuo momentu pradeda lėtėti, kada dėmė stabilizuojasi ir absorbcijos procesas baigiasi. Analizuojant vandens lašo sklidimą audinyje buvo nustatyta, kad dinaminis absorbcijos procesas priklauso nuo audinio struktūros ir apdailos proceso poveikio bei trukmės. Dinaminės absorbcijos procesas lėčiausiai vyksta žaliuose audiniuose, o audinių, paveiktų šlapiąja apdaila ar tumbleravimu, absorbcijos procesas vyksta greičiau (Baltakytė, 2009; Petruolytė, Baltakytė, 2008; Petruolytė, Baltakytė, 2009b). Karahana (2007) analizavo medvilninių kilpinių audinių absorbcijos procesą laikui bėgant, priklausomai nuo siūlų rūšies, siūlų ilginio tankio, ataudų ir metmenų tankumo ir kilpos aukščio. Autorius teigia, jog absorbcijos procesą galima suskirstyti į greitos ir lėtos absorbcijos periodus. Pastebėta, kad nuo absorbcijos pradžios momento iki 30 s absorbcija vyksta greitai (greitasis periodas), o nuo 30 s iki 300 s stebėjimo trukmės absorbcija vyksta lėtai (lėtasis periodas). Taip pat rasta, kad dinaminei vandens absorbcijai labiausiai turi įtakos siūlų rūšis: geriausiomis sorbcinėmis savybėmis pasižymėjo audiniai, išausti iš žiedinio verpimo šukuotinių verpalų (Karahana, 2007). Sekerden (2012a), analizavusi bambuko ir medvilnės kilpinius audinius, nustatė, kad geresnėmis sorbcinėmis savybėmis pasižymi bambuko pluošto audiniai, o, didėjant kilpos aukščiui, vandens absorbavimo laikas trumpėja, t. y. audiniai, kurių kilpos aukštis didesnis, geba greičiau absorbuoti vandenį (Sekerden, 2012a). Taip pat autorė lygino medvilninius kilpinius audinius su modalinio pluošto / medvilnės kilpiniais audiniais ir nustatė, kad, didėjant kilpos aukščiui, skysčio sugėrimo į audinį laikas mažėja (Sekerden, 2012b).

Tekstilės gaminių termofiziologinės savybės priklauso nuo pluoštų higroskopiskumo. Siekiant pagerinti šias savybes, neretai kuriami mišriapluoščiai audiniai, natūralios kilmės pluoštus derinant su sintetiniais. Šiluminės audinių savybes pagerina higrofilieji pluoštai, gebantys drėgmę absorbuoti nuo kūno paviršiaus ir taip gerinantys šilumos laidumą. Audiniai, kontaktuojantys su kūnu, sukuria komfortišką mikroklimatą, galima teigti, kad audinys turi du paviršius: apatinis, liečiantis odą, turi

būti patogus ir prigludantis, o viršutinis, saugantis nuo neigiamų sąlygų (Durur, Oner, 2013; Sadikoglu, 2005; Liu, Choi, Li, 2008). Šiam tikslui audiniai turi ne vien tik gerai absorbuoti vandenį, bet ir gebėti praleisti ir išgarinti vandens garus.

Kilpinių audinių gebėjimą išgarinti vandenį priklausomai nuo kilpos aukščio ir suteiktos apdailos analizavo Petruitytė ir Veličkienė (2011). Tyrimų metu nustatyta, kad audiniai po apdailos (skalbti su plovikliu / minkštikliu) vandenį išgarino greičiau negu žali audiniai, o, priklausomai nuo kilpos aukščio, greičiau išgarinimo procesas vyko audiniuose su žemomis kilpomis (Petruitytė, Veličkienė, 2011). Veličkienė (2016) tyrė ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens išgarinimo priklausomybę nuo audinio struktūros ir nustatė, kad šios pluoštinės sudėties audinių vandens išgarinimo trukmei didžiausią įtaką turi audinių ataudų tankumas, t. y. kuo audinys tankesnis, tuo išgarinimo proceso trukmė ilgesnė (Veličkienė, 2016).

Kilpinių audinių laidumas orui priklauso nuo audinio storio ir akytumo. Stori ir tankūs audiniai yra mažiau laidūs orui. Šias savybes nulemia verpalų ilginis tankis, audinio pynimas, ataudų ir metmenų tankumas. Kilpiniai audiniai dėl savo savitos struktūros yra mažiau laidūs orui, palyginti su lygiais audiniais.

Kilpinių audinių lenkiamasis standumas yra svarbi savybė, nusakanti audinio gebėjimą priglusti ir turinti įtakos grifui. Standžių audinių grifas bus šiurkštus ir nemalonus liesti, žinoma, tai yra nepageidaujama kilpinių audinių savybė, nes gaminiai iš tokių audinių dažnai liečiasi su kūnu. Standūs kilpiniai audiniai naudojami rankšluosčiams, turintiems masažo funkciją, gaminti. Audinių standumui lenkiant turi įtakos audinio charakteristikos (paviršinis tankis, ataudų ir metmenų tankumas, kilpos aukštis ir t. t.) ir suteikiama apdaila. Stori ir didelio paviršinio tankio kilpiniai audiniai yra purūs ir minkšti, be to, audinio paviršiuje tankiai išsidėsčiusios kilpos nulemia audinio minkštumą (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004; Kibayashi, Yokura, Sukigara, 2020). Autoriai, analizavę kilpinių audinių standumą, atsparumą gniuždymui ir grifą, priklausomai nuo audinio struktūros, nustatė, kad didesnio paviršinio tankio audiniai yra standesni; be to, medvilniniai kilpiniai audiniai mažiau standūs negu kanapės / medvilnės kilpiniai audiniai (Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004). Sekerden (2012a), analizavusi medvilninius ir medvilnės / bambuko mišriapluoščius kilpinius audinius, nustatė, jog medvilniniai audiniai yra standesni, palyginti su tokį pat kilpos aukštį turinčiais medvilnės / bambuko kilpiniais audiniais. Be to, mažinant kilpos aukštį, gaunamas mažesnis audinių standumas (Sekerden, 2012a).

Analizuojant kilpinių audinių mechanines savybes, dažniausiai nustatomas atsparumas dilinimui (masės nuostolio nustatymas ar atsparumas pumpuravimuisi), taip pat kilpinio metmens atsparumas ištraukimui. Šie rodikliai nusako audinio ilgaamžiškumą ir estetine savybes. Vartotojams svarbu gaminių funkcionalumas ir estetiškumas, o mažas kilpinio metmens atsparumas ištraukimui blogina audinio estetiškumą. Gamybos proceso metu labai svarbu parinkti tinkamus audimo parametrus siekiant pagerinti pūko kilpos atsparumą ištraukimui (Shanbeh, Najafzadeh, Ravandi, 2012). Siūlo ištraukimo jėga priklauso nuo audinio tankumo, pynimo, apdailos ir iš audinio ištraukiamų siūlų skaičiaus (Bisilik, Korkmaz, 2011). Petruitytė et al. (2013) analizavo linų / medvilnės ir ramės / medvilninių kilpinių audinių atsparumą kilpos ištraukimui. Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių

audinių atsparumą kilpos ištraukimui, nustatyta, kad, ataudų tankumą keičiant nuo 80 dm^{-1} iki 160 dm^{-1} , kilpos atsparumas ištraukimui padidėjo 3,2 kartų, kai ištraukimo intervalas 5 mm, ir 2,1 kartų, kai ištraukimo intervalas 25 mm. Lininiai / medvilniniai audiniai po skalbimo ir tumbleravimo apdailų pasižymėjo kilpos atsparumo ištraukimui sumažėjimu iki 38 % (Petruitytė et al., 2013). Petruitytė, Veličkienė ir Petrusis (2014) analizavo lininių kilpinių audinių pūko kilpos atsparumą ištraukimui priklausomai nuo kilpos aukščio ir poveikio audiniui (vandens, temperatūros ir mechaninio). Tyrimų metu nustatyta, kad žalių audinių kilpos aukštis turi įtakos kilpos atsparumui ištraukimui; vandens poveikis kilpos atsparumą ištraukimui sumažino iki 27,7 %, o skalbimas 120 min padidino. Autorių teigimu, šiuos pokyčius lemia kintanti audinio struktūra veikiant tam tikru poveikiu (Petruitytė, Veličkienė, Petrusis, 2014). Traukiant kilpinį metmenį iš audinio, vyksta sąveika tarp siūlų sistemų: kuo tankesni audiniai, tuo ištraukiamam siūlui reikia įveikti didesnę trinties jėgą siūlų sankirtos taškuose.

Kilpiniai audiniai atsparesni trinčiai, palyginti su lygiais audiniais, nes, mechaniniu poveikiu veikiant kilpinius audinius, pirmiausia pasišalina kilpinis paviršius, o šiam tikslui pasiekti audinys turėtų patirti net 25 000 dilinimo ciklų poveikį (Veličkienė, 2016). Audinių atsparumui dilinimui turi įtakos audinio struktūra ir suteikta apdaila. Dilinimo proceso metu audinio irimas prasideda, kai kontakto vietose pluoštai deformuojasi, linksta, skyla ir galiausiai – nulūžta. Kilpinių audinių atsparumas dilinimui taip pat priklauso nuo pluošto stiprumo ypatybių. Sekerden (2012a) lygino medvilninių ir bambuko pluošto kilpinių audinių atsparumą dilinimui ir nustatė, kad bambuko kilpiniai audiniai yra mažiau atsparūs mechaniniam poveikiui nei medvilniniai. Tačiau šis skirtumas išryškėjo tik pasiekus 10 000 dilinimo sūkių skaičių, o, dilinimo procesą analizuojant esant mažesniai sūkių skaičiui, aiškių skirtumų nepastebėta (Sekerden, 2012a). Kitų autorių tyrimuose teigiama, jog poveikis vandeniui sumažina kilpinių audinių atsparumą dilinimui (Swani, Hari, Anandjivala, 1984).

Apibendrinimas

Tekstilės medžiagas ar gaminius padengiant mikrokapsulėmis sukuriama aukštesnę pridėtinę vertę turintys ir tam tikrą funkciją atliekantys gaminiai: sukaupiantys / atiduodantys šilumą, turintys vabzdžius atbaidantį poveikį, aromaterapinį poveikį ar kitas funkcijas gebantys atlikti gaminiai. Kaip mikrokapsulių šerdinį komponentą įterpiant eterinį aliejų, sukuriamos mikrokapsulės, kuriomis padengus tekstilės medžiagas gaminiams galima suteikti aromaterapinį, insekticidinį ar net antibakterinį poveikį. Plačiai žinoma, kad, garinant ar tepant kūną ypatingomis savybėmis pasižyminčiais eteriniais aliejais, gali būti net gydoma, nes eteriniai aliejai teigiamai veikia kvėpavimo sistemą, odą. Pažymėtina, kad dėl itin stipraus eterinių aliejų tiesioginio poveikio gali kilti alergija, odos ir kvėpavimo takų pažeidimai, ypač aktualu šias medžiagas naudoti ne tiesioginiu būdu, bet įterpiant į mikrokapsules ir taip kontroliuojant jų išsiskyrimą.

Tekstilės medžiagoms / gaminiams padengti mikrokapsulėmis plačiausiai naudojami padengimo metodai, kurių metu gaminiai panardinami į emulsiją su MK ir

rišamąją medžiagą. Mikrokapsulėmis padengus medžiagas / gaminius, svarbu nustatyti mikrokapsulių morfologines savybes (formą ir dydį) bei sudedamąsias dalis ir jų kiekį, termines savybes, MK šerdinio komponento išlaisvinimo efektyvumą. Šios savybės dažniausiai analizuojamos literatūroje, tačiau stinga tyrimų rezultatų matematinės analizės, kuri leistų prognozuoti tekstilės medžiagų / gaminių kokybinius rodiklius kuriant naujus produktus. Analizuojant mikrokapsulių dydį, pluošto paviršiaus morfologiją ir prisitvirtinimo efektyvumą, naudojama skenuojamoji elektroninė mikroskopija, o, mikrokapsules ir pluoštus tiriant FTIR metodu, nustatomos tam tikros cheminių junginių grupės. Norint nustatyti MK ilgaamžiškumą, atliekami medžiagų dėvėjimo tyrimai (skalbinimas, sausas valymas, dilinimas). Atlikti tekstilės medžiagų, padengtų mikrokapsulėmis, atsparumo medžiagų dėvėjimo veiksniams tyrimai nėra pakankamai išsamūs ir atliekami tik su paprastų pynimų audiniais ar mezginiais, tačiau tyrimų, kaip mikrokapsulių apdaila veikia sudėtingos sandaros audinių geometrinius rodiklius, fizikines ir mechanines savybes, literatūros nėra.

Kilpiniai audiniai dėl savo unikalios sandaros – kilpinio paviršiaus – dažniausiai naudojami saunos, vonios, namų tekstilei, ypač patalpose, kuriose yra didesnis drėgnis arba kontaktas su drėgme / skysčiais, nes geba absorbuoti didelį kiekį vandens, palyginti su lygiais audiniais. Todėl ypač aktualu išanalizuoti tokių medžiagų statinės ir dinaminės absorbcijos reiškinius. Šaltiniuose teigiama, kad audinių sorbcinės savybės priklauso nuo pluoštinės sudėties, sandaros ir geometrinių savybių bei audiniams suteiktos apdailos. Kilpinių audinių gaminių, pvz., drabužių, komforto savybės priklauso nuo gebėjimo sulaikyti šilumą, absorbuoti ir išgarinti nuo kūno paviršiaus drėgmę ir laidumo orui. Sudėtingos sandaros audinių laidumas orui priklauso nuo audinio akytumo, storio, tankumo, pynimo ir siūlų ilginio tankio, rūšies bei apdailos. Literatūroje dažniausiai analizuojami medvilniniai ar lininiai kilpiniai audiniai, rečiau kanapiniai, bambukiniai ar ramės audiniai.

Kilpinių audinių su ramės kilpiniais metmenimis fizikinės ir mechaninės savybės mažai analizuotos literatūroje, o kai kurios visai netirtos. Mokslinių tyrimų, analizuojančių kilpinių audinių, padengtų mikrokapsulėmis, sandaros ir geometrinius rodiklius, taip pat fizikines ir mechanines savybes, nerasta nei Lietuvoje, nei pasaulyje.

2. DARBO METODIKA

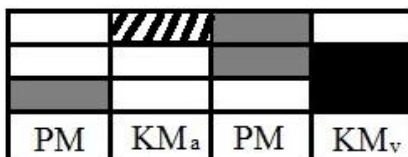
2.1. Tyrimo objektas





Tyrimo objektas – įvairios pluoštinės sudėties verpalai ir ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai, padengti mikrokapsulėmis su eukaliptų eteriniu aliejumi. Disertacinio darbo metu ištirtas mikrokapsulių prisitvirtinimo efektyvumas prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų. Tyrimams buvo naudoti medvilniniai (50 tex), ramės (67 tex), dirbtiniai bambuko (75 tex), lininiai (68 tex) ir balinti lininiai (50 tex) verpalai. Taip pat analizuoti žali (be apdailos) ir padengti mikrokapsulėmis ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai pasižymi dvejopu kilpos aukščiu, skirtingu ataudų tankumu, padengimo proceso metu naudoto rišiklio koncentracija ir skalbimo procedūromis. Audinių sandaros rodikliai pateikti 2.1 lentelėje.

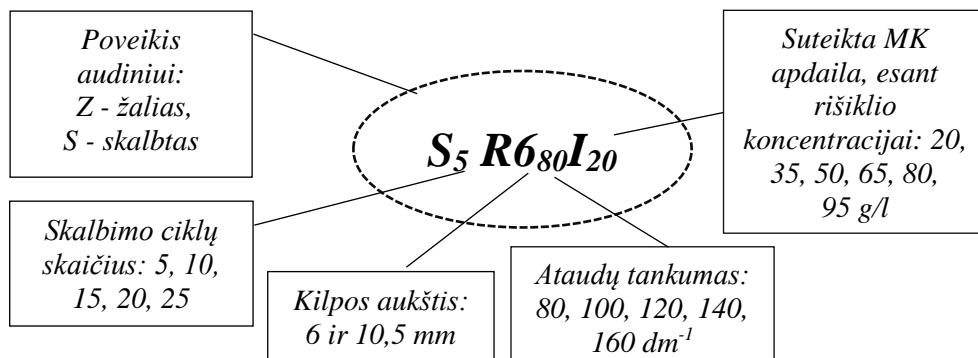
2.1 lentelė. Ramės kilpinių audinių pluoštinė sudėtis ir sandara

Audinio varianto žymėjimas	Kilpos aukštis, m	Audinius sudarančių verpalų ilginis tankis, tex			Tankumas, dm ⁻¹	
		pagrindo ataudai	pagrindo metmenys	kilpiniai metmenys	kilpinių ir pagrindo metmenys	ataudų
R6₈₀						80
R6₁₀₀			suktiniai	ramės		100
R6₁₂₀	6	medvilniniai	medvilniniai	verpalai,	250	120
R6₁₄₀		i verpalai,	i verpalai,	67		140
R6₁₆₀		50	2 x 25			160
R10,5₁₆₀	10,5					160

Eksperimentams naudoti kilpiniai audiniai, kurių kilpiniai metmenys sudaryti iš ramės pluošto verpalų, o pagrindo metmenys ir ataudai – iš medvilnės pluošto verpalų. Audiniai išausti įmonėje UAB „A grupė“ (Lietuva) iešminėms kompiuterizuotomis *Smith Textile* audimo staklėmis. Ramės kilpinių audinių pynimo raportas pavaizduotas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių pynimo raportas: PM – pagrindo metmenys, KM_a – apatinės audinio pusės kilpiniai metmenys, KM_v – viršutinės audinio pusės kilpiniai metmenys,  – pagrindo metmuo, esantis po ataudu,  – pagrindo metmuo virš ataudu,  – apatinės pusės kilpinis metmuo,  – viršutinės pusės kilpinis metmuo



2.2 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių variantų aiškinimas

Audinių ir verpalų apdailai buvo pasirinktos komercinės mikrokapsulės su eukaliptų eteriniu aliejumi (LJ Specialities, Jungtinė Karalystė) ir rišamoji medžiaga *ITOBINDER AG* (LJ Specialities, Jungtinė Karalystė). Rišiklis yra akrilinė emulsija, skirta įvairios pluoštinės sudėties tekstilės gaminiams mikrokapsulėmis padengti. Gamintojo duomenimis, MK yra pieno konsistencijos pastos pavidalo, kurio kietosios dalelės sudaro 50 %, pastos pH 6–7. Mikrokapsulių veiklioji medžiaga išlaisvinama paveikus mechaniškai. Bandiniams padengti mikrokapsulėmis pagal gamintojo rekomendacijas buvo paruošiamas tirpalas, kurį sudaro 1 l vandens, 30 g/l mikrokapsulių ir 80 g/l rišamosios medžiagos, kurios koncentracija buvo keičiama. MK prie pluošto pritvirtina rišiklis. Padengimo MK procesas susideda iš audinių įmirkymo tirpale, džiovavimo kondicinėmis sąlygomis 24 val., džiovavimo 1 min ir fiksavimo 2 min krosnelėje *SNOL 60/300 LFN* (AB „Umega“, Lietuva). Tyrimams pasirinktos apdailos proceso režimai pateikti 2.2 lentelėje.

2.2. lentelė. Padengimo MK proceso režimai

Bandiniai	MK koncentracija, g/l	Rišiklio koncentracija, g/l	Džiovinimo ir fiksavimo temperatūra SNOL krosnelėje, °C	
			džiovinimo	fiksavimo
medvilniniai, balinti lininiai, lininiai, bambuko, ramės verpalai	30	80		120
				130
				140
				150
				160
		100–110	170	
Ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai		20		
		35		
		50		150
		65		
		80		
		95		

Siekiant ištirti ramės / medvilninių kilpinių audinių, padengtų MK su eukaliptų eteriniu aliejumi, fizikinių ir mechaninių savybių pokyčius, paveikus juos skalbimo procedūromis, audiniai buvo skalbiami buitinio skalbimo mašina „Electrolux EWT 10S410W“, pagal LST EN ISO 6330:2012 standartą. Bandiniai skalbti 5, 10, 15, 20 ir 25 skalbimo ciklus naudojant komercinį skalbiklį *Bobas by E* (P&G, Vokietija). Skalbimo proceso režimas pateiktas 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Buitinio skalbimo proceso režimas

Skalbimo mašinos tipas	B tipas (bandiniai į skalbimo mašiną įdedami vertikaliai)
Skalbiamų bandinių masė su balastu*	2,0±0,1 kg
Skalbiklio kiekis	20±1 g
Skalbiklis	<i>Bobas by E</i> (sudėtis: 5-15 % anijoninės paviršiaus aktyvumo medžiagos, deguoninis baliklis, <5% nejoninės paviršiaus aktyvumo medžiagos, muilas, polikarboksilatai, fosfonatai, zeolitai, optinis baliklis, kvapiosios medžiagos)
Džiovinimas	Bandiniai džiovinami laisvai pakabinus
Skalbimo tipas	Normalus
Skalbimo temperatūra, °C	40±3
Skalbimo laikas, min	12
Skalavimo laikas, min	3
Viso skalbimo procedūros laikas, min	15

* celiulioziniams bandiniams naudojamas medvilninis balastas (medvilniniai rankšluosčiai).

2.2. Tyrimo metodika

Prieš atliekant bandymus bandiniai buvo kondicionuojami standartiniame bandymų klimato, kur kondicionavimo ir bandymo aplinka atitiko LST EN ISO 139: 2005/A1:2011 standarto reikalavimus.

Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių su MK savybes, buvo ištirti sandaros, fizikiniai ir mechaniniai rodikliai:

- paviršinis tankis;
- storis;
- statinė vandens absorbcija;
- dinaminė vandens absorbcija;
- vandens garų absorbcija;
- vandens išgarinimas;
- laidumas orui;
- lenkiamasis standumas;
- atsparumas dilinimui (nustatomas Martindale'o metodu);
- pūko kilpos atsparumas ištraukimui .

Skirtingos pluoštinės sudėties verpalų ir ramės / medvilninių kilpinių audinių ir mikrokapsulių būklė, taip pat padengimo efektyvumas nustatytas *skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu (SEM) FEI Quanta 200 FEG* (JAV). Tyrimų metu SEM greitinančioji įtampa – 5÷20 kV, darbinis atstumas 8,2–9,4 mm, detektoriaus tipas – LFD, didinimas – 500X, 2 000X, 5 000X, 10 000X mastelis 10, 20, 40, 50, 200 μm.

Mikrokapsulių, verpalų ir audinių, padengtų MK, SEM nuotraukos analizuotos *Liucia G 5.00* (Čekija) vaizdų analizavimo programa. Nustatytas MK su eukaliptų eteriniu aliejumi vidutinis skersmuo 1,47 μm, daugiausia MK, kurių skersmuo kinta nuo 0,4 iki 0,7 μm, – apie 24 %. MK skersmens pasiskirstymas kinta pagal normalųjį skirstinį.

Buvo atlikta mikrokapsulių *Furjė transformacinių infraraudonųjų spindulių spektroskopija (FTIR)*. Matavimai atlikti FTIR spektrofotometru *Spectrum GX* (Perkin Elmer, JAV), atspindžio spektrai užrašyti 400–4 000 cm⁻¹ bangos skaičių spektriniame diapazone. Matavimo parametrai: skiriamoji geba 2 cm⁻¹, skenavimo greitis – 0,2 cm/s, skenavimo skaičius – 20 kartų. Duomenims apdoroti naudota *Spectrum* programa. MK spektrams registruoti buvo ruošiamos tabletės: 1 mg MK sumaišoma su 200 mg optiškai švaraus KBr, presuojama vakuumine presforma.

2.2.1. Sandaros ir geometrinių rodiklių nustatymo metodikos

Verpalų ilginio tankio nustatymo metodika. Vertinant MK prisitvirtinimo prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų efektyvumą, buvo nustatomas verpalų ilginis tankis pagal ISO 1973-1995 standartą.

Audinių paviršinio tankio nustatymo metodika. Audinio paviršinis tankis nustatytas pagal LST EN 12127: 1999 standartą. Tyrimui iškirpti 5 elementarieji 100 cm² bandiniai. Eilės tvarka bandiniai pasverti elektroninėmis KERN EW 150-3M (KERN & Sohn Gm Bh, D-72336, kurių maksimali svėrimo masė 150 g ir minimali svėrimo masė 0,02 g) svarstyklėmis, kurių svėrimo tikslumas – 0,001 g. Audinio paviršinis tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

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

čia *PT* – audinio paviršinis tankis, g/m²; *m* – elementariojo bandinio masė, g; *A* – elementariojo bandinio plotas, cm².

Audinių storio ir paviršinio sluoksnio storio nustatymo metodika. Audinių storis nustatytas pagal LST EN ISO 5084: 2 000 standartą. Bandymai atlikti stormačiu *Textil-Dickenmesser DPT 60 digital* (Hans Schmidt & CO GMBH, Vokietija) (2.3 pav.). Kilpinių audinių storis nustatytas esant $S_1=0,1$ kPa, $S_2 = 0,196$ kPa ir $S_3 = 9,81$ kPa apkrovoms, kai matavimo plokštumos plotas 20 cm^2 ir elementariųjų bandymų skaičius – 5. Esant apkrovai S_1 , nustatomas audinio storis, o audinio paviršinio sluoksnio storis S_p apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_p = S_2 - S_3; \quad (2.2)$$

čia S_p – paviršinio sluoksnio storis, mm; S_2 – audinio storis, esant $0,196$ kPa (2 g/cm^2) apkrovai; S_3 – audinio storis, esant $9,81$ kPa (100 g/cm^2) apkrovai.

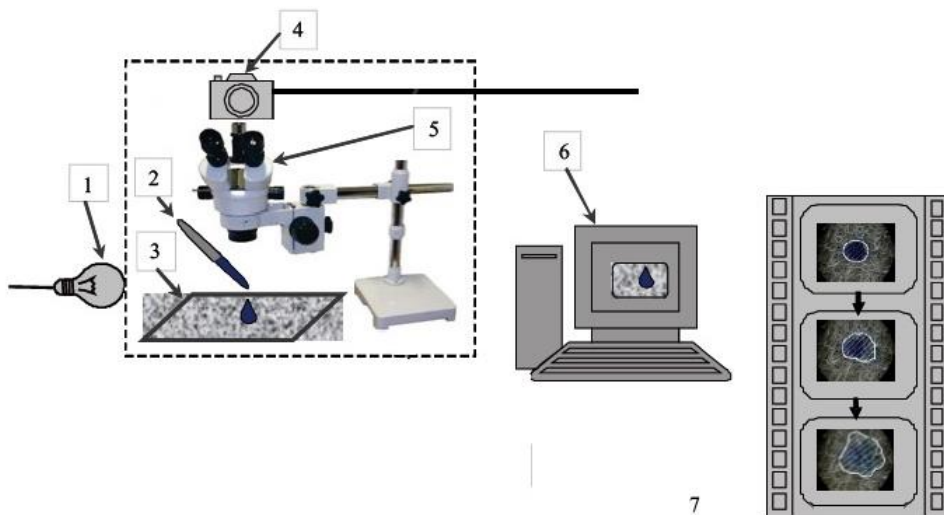
2.2.2. Audinių fizikinių savybių nustatymo metodikos

Audinių statinės vandens absorbcijos nustatymo metodika. Statinė vandens absorbcija nustatyta pagal BV S1008 „Bureau Veritas Consumer Products Service BV S1008“ metodiką (Karahana ir Eren, 2006). Bandiniai 1 min įmerkami į vandenį, ištraukus 3 min laikomi pakabinti, kad nulašėtų vandens perteklius, ir sveriami elektroninėmis KERN EW 150-3M svarstyklėmis. Statinė vandens absorbcija apskaičiuojama pagal formulę:

$$W_{st} = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100; \quad (2.3)$$

čia W_{st} – statinė vandens absorbcija, %; m_w – šlapio audinio masė, g; m_d – sauso audinio masė, g.

Audinių dinaminės vandens absorbcijos nustatymo metodika. Bandiniams fotografuoti ir filmuoti naudota skaitmeninė kamera *Nikon Coolpix 4500* (Nikon Corporation, Japonija), sujungta su personaliniu kompiuteriu. Audinių absorbcijos tyrimas atliktas pagal Petrulytės ir Baltakytės (2009b) pasiūlytą tyrimo metodiką, pagal kurią matuojamas skysčio dėmės plotas laikui bėgant. Bandymai atlikti pagal sumodeliuotą schemą, pateiktą 2.3 pav. Dinaminės absorbcijos tyrimas buvo atliktas audinį filmuojant iš viršutinės pusės. Distiliuoto vandens lašą (absorbata) užlašinant ant kilpinio audinio (absorbento) paviršiaus, tuo metu filmuojant absorbato elgseną laikui bėgant. Tam, kad absorbcijos procesas būtų aiškiai matomas, lašinamas distiliuotas vanduo nudažytas nedideliu kiekiu rašalo, kur lašo kiekis $\sim 0,11$ g. Tyrimo metu buvo analizuojamos dėmės nuotraukos, kadruotos kas 10 s laiko tarpus. Tyrimo metu naudota *Coolpix 4500* skaitmeninė kamera ir *Nikon Stereoscopic Zoo Microscope SMZ 800* stereomikroskopas. Dėmės plotas matuotas *Metric 7.0* vaizdų analizavimo programa.



2.3 pav. Audinių dinaminės absorbcijos tyrimo schema: 1 – šviestuvai, 2 – pipetė, 3 – bandinys, 4 – skaitmeninė kamera, 5 – stereomikroskopas, 6 – kompiuteris, 7 – filmuoto vaizdo kadrai (Petrulytė, Baltakytė, 2009b)

Dėmės ploto kitimas analizuotas nuo lašo projekcijos į audinį pradinio momento iki 80 s. Išimtinai R10,5₁₆₀I₈₀ audinio varianto dėmės plotas analizuotas iki 600 s, momento, kai dėmės plotas nebekinta arba pokytis yra mažai reikšmingas, t. y. absorbcijos procesas baigiasi. Minėto audinio varianto dinaminės absorbcijos procesas vyko ilgiau negu žalių arba skalbtų audinių. Tyrimo metu apskaičiuotas dėmės ploto pokytis W_{din} , lyginant jį su pradiniu momentu PM, pagal formulę:

$$W_{din} = \frac{M-PM}{PM} \times 100; \quad (2.4)$$

čia W_{din} – dėmės ploto pokytis, %; M – dėmės plotas duotuoju momentu, mm²; PM – dėmės plotas pradiniu momentu, mm².

Vandens garų absorbcijos nustatymo metodika. Vandens garų absorbcija (VGA) nustatyta pagal standartą LST EN 13515:2004. Bandymams atlikti buvo naudojamas eksikatorius, kuriame bandiniai buvo garinami 8 val. Tyrimui pasirinktas elementariųjų bandymų skaičius – 5. Bandiniai sveriami elektroninėmis svarstyklėmis *KERN EW 150-3M*. Vandens garų absorbcija apskaičiuojama pagal formulę:

$$VGA = \frac{m_1-m_0}{A}; \quad (2.5)$$

čia VGA – vandens garų absorbcija, mg/cm², m_0 – sauso bandinio masė, mg; m_1 – garinto bandinio masė, mg; A – bandinio plotas, cm².

Audinio džiūvimo greičio nustatymo metodika. Audinio džiūvimo greitis nustatytas apskaičiuojant vandens likučio koeficientą (VL) pagal FTTS-FA-004 metodiką. Tyrimo metu ant bandinio yra užlašinamas distiliuoto vandens lašas lašintuvu, nuo bandinio atitolusiu 1 cm atstumu. Bandiniai sveriami elektroninėmis

svarstyklėmis *KERN EW 150-3M*, sveriant atidaromi visi svarstyklių langeliai, taip sudarant natūralus oro kondicionavimą. Bandinių masė matuojama nuo pradinio momento kas 10 min iki 180-tos min. Toks laiko intervalas pasirinktas, nes nustatyta, kad vėliau skysčio išgarinimo procesas vyksta labai lėtai ir pokyčiai nebėra reikšmingi. Tyrimui pasirinktas elementariųjų bandymų skaičius – 5. Vandens likučio koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$VL = \frac{m_i - m_s}{m_l - m_s} \times 100; \quad (2.6)$$

čia VL – vandens likučio koeficientas, %; m_i – bandinio masė duotuoju laiko momentu, g; m_s – sauso bandinio masė, g; m_l – bandinio masė, su vandens lašu, g.

Laidumo orui nustatymo metodika. Laidumas orui nustatytas pagal LST EN ISO 9237:1997 standartą. Bandymo metu matuojamas oro srauto, prasiskverbiančio per tam tikrą medžiagos plotą, esant tam tikram slėgių skirtumui, debitas. Bandymai atlikti *LI4DR (Karl Schroder KG, Vokietija)* laidumo orui matavimo prietaisu. Elementariųjų bandymų skaičius – 5, bandinio plotas – 5 cm². Laidumas orui apskaičiuotas pagal formulę:

$$R = \frac{q_v}{A} \times 167; \quad (2.7)$$

čia R – laidumas orui, dm³/(m²·s); q_v – oro srauto debitas, dm³/min; A – bandinio plotas, cm²; 167 – vienetų perskaičiavimo koeficientas.

2.2.3. Audinių mechaninių savybių nustatymo metodikos

Lenkiamojo standumo nustatymo metodika. Audinių lenkiamojo standumo matavimai atlikti pagal metodiką, atitinkančią ISO 9073-7 standartą. Matavimai atlikti lankstomačiu PT-2. Šis audinių lenkiamojo standumo matavimo principas pagrįstas gravitacija, t. y. audinio, įtvirtinto kaip gembinės sijelės, galai nusvyra veikiami gravitacijos jėgos. Bandiniai matuoti metmenų ir ataudų kryptimis, bandinio dydis 160×30 mm. Lenkiamasis standumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C_l = \frac{m \times g \times l^3}{A}; \quad (2.8)$$

čia C_l – lenkiamasis standumas, μN·m²; m – bandinio masė, g; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s²; l – bandinio nusvirusios dalies ilgis, m; A – rodiklis, priklausantis nuo bandinio santykinio vidutinio nuosvyrio.

Audinių lenkiamojo standumo anizotropijos dydis nustatytas pagal 2.9 formulę:

$$\alpha = \frac{C_m}{C_a}; \quad (2.9)$$

čia lenkiamasis standumas metmenų (C_m) ir ataudų (C_a) kryptimis.

Tekstilės medžiagų atsparumo dilinimui nustatymas Martindale'o metodu. Masės nuostolio nustatymo metodika. Kilpinių audinių masės nuostolis nustatytas Martindale 'o metodu pagal LST EN ISO 12947-3:1998 standartą. Bandinių skersmuo 38 mm, elementariųjų bandinių skaičius 5. Masės nuostolio bandymo intervalai parinkti standartiniai (5 000, 7 500, 10 000, 15 000, 25 000 sūkių skaičius), papildant juos 100 ir 1 000 sūkių intervalais, norint nustatyti dilinimo įtaką mikrokapsulėms, esančioms kilpiniame audinyje. Bandinių masės nuostolis apskaičiuotas pagal formulę:

$$ADm = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100; \quad (2.10)$$

čia ADm – audinių masės nuostolis, %; m_1 – pradinė bandinio masė, g; m_2 – bandinio masė po tam tikro sūkių skaičiaus, g.

Pūko kilpos atsparumo ištraukimui nustatymo metodika. Kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui bandymai atlikti remiantis LST EN ISO 15598: 2008 standartu. Bandymai atlikti Zwick/Z005 (Zwick GmbH & Co. KG, Vokietija) tempimo mašina, kur atstumas tarp spraustuvų – 110 mm, tempimo greitis – 100 mm/min. Kilpos atsparumo ištraukimui rezultatai analizuoti testXpert® programine įranga, pasirinkus 5, 10, 15, 20 ir 25 mm kilpos atsparumo ištraukimui intervalus. Elementariųjų bandymų skaičius – 15.

2.3. Eksperimentinių rezultatų apdorojimo metodika

Atliktas eksperimentinių rezultatų matematinis statistinis apdorojimas. Buvo apskaičiuoti rezultatų statistiniai rodikliai: aritmetinis vidurkis (\bar{x}), vidutinis kvadratinis nuokrypis (S) ir dispersija (S^2). Bandymų rezultatų patikimumui įvertinti apskaičiuotos absoliutinė atsitiktinė (Δ_α), santykinė atsitiktinė paklaidos (δ_α) ir variacijos koeficientas (V_k). Norint eksperimentų rezultatams taikyti matematinę analizę, buvo tikrinamas eksperimentų taškų dispersijų vienaarūšiskumas, remiantis Kočreno (G_k) (W.G. Cochran) kriterijumi. Nustačius, jog dispersijos yra vienaarūšės, buvo nustatomas eksperimento informatyvumas pagal Fišerio (R.A. Fisher) (F_k) kriterijų. Patvirtinus eksperimento informatyvumą, nustatytos empirinės lygtys ir determinacijos koeficientas (R^2), naudojant „Microsoft Excel“ programinį paketą.

Toliau pateikiamos skaičiavimų formulės ir paaiškinimai.

Kočreno kriterijus (dispersijos vienaarūšės, jeigu $G < G_{lent}$) (Milašius, 2011):

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum S^2}; \quad (2.11)$$

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

Vienarūšėms dispersijoms apskaičiuotas visų eksperimento taškų aritmetinis vidurkis \bar{x} , dispersija tarp bandymo vidurkių S_v^2 ir vidutinė bandymų dispersija S_y^2 (Milašius, 2011):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{x}_i}{N}; \quad (2.12)$$

$$S_y^2 = \frac{\sum S^2}{N}; \quad (2.13)$$

$$S_v^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{x}_i - \bar{X})^2}{N-1}; \quad (2.14)$$

čia: N – eksperimento taškų skaičius.

Fišerio kriterijus (eksperimentas yra informatyvus, jei $F > F_{\text{lent}}$) (Milašius, 2011):

$$F = \frac{S_v^2}{S_y^2}. \quad (2.15)$$

3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

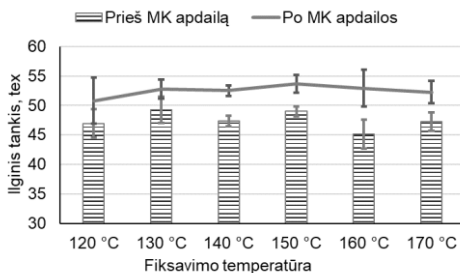
3.1. Mikrokapsulių prisitvirtinimo prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų efektyvumas

Tekstilės gaminių padengimas mikrokapsulėmis yra vienas naujausių būdų, suteikiančių tekstilei naujų savybių. MK prisitvirtinimo efektyvumas prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų yra aktualus gamintojams, norint prognozuoti būsimiems tekstilės gaminiams suteiktų savybių efektyvumą ir ilgaamžiškumą.

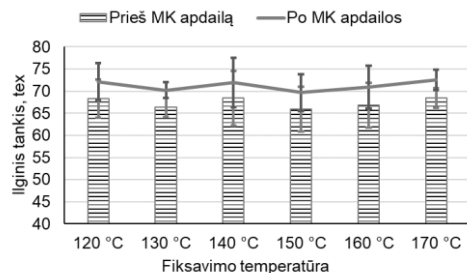
Skyriaus uždavinys – nustatyti ir palyginti MK su eteriniu aliejumi prisitvirtinimo prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų efektyvumą, keičiant MK fiksavimo temperatūrą.

Dėl mokslinių tyrimų, analizuojančių MK prisitvirtinimo galimybių prie įvairių pluoštų, trūkumo darbe pasirinkta ištirti MK prisitvirtinimo efektyvumą. Mikrokapsulių prisitvirtinimo prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų tyrimams buvo naudoti medvilniniai (50 tex), ramės (67 tex), dirbtiniai bambuko (75 tex), lininiai (68 tex) ir balinti lininiai (50 tex) verpalai. Pastarieji pasirinkti dėl dažno pasirinkimo kilpinių audinių gamyboje, ypač – kilpiams metmenims, ir norint įvertinti MK prisitvirtinimo efektyvumą verpalams suteikus cheminį (balinimo) poveikį. Tyrimų metu buvo keičiama MK padengimo proceso fiksavimo temperatūra (T_F) nuo 120 °C iki 170 °C.

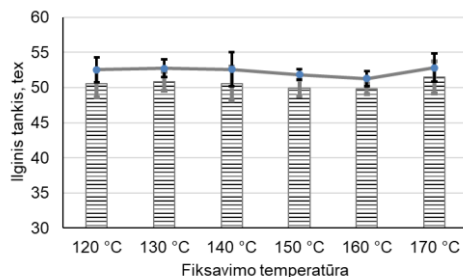
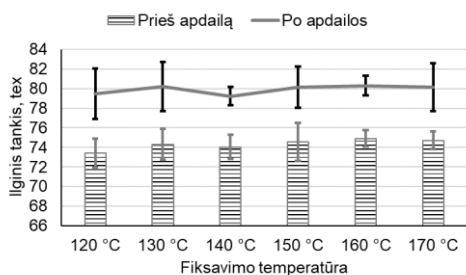
Šio tyrimo metu buvo nustatomas verpalų ilginio tankio padidėjimas, kurį labiausiai lemia rišklio / MK kiekis verpaluose. Eksperimentų metu nustatyta, kad ramės, medvilnės, bambuko, lino ir balinto lino verpalų ilginis tankis po padengimo proceso, esant skirtingoms fiksavimo temperatūroms, padidėjo. Rezultatai pateikti 3.1 paveiksle. Nustatyta, kad medvilnės verpalų ilginis tankis po padengimo proceso padidėjo 2,7–3,9 %, lininių verpalų – 5,2–6,2 %, bambuko verpalų – 7,0–8,3 %. O ramės ir balintų lininių verpalų ilginis tankis atitinkamai padidėjo 10,1–13,0 % ir 7,1–17,3 %. Atlikus verpalų ilginio tankio po padengimo MK statistinę analizę nustatyta, kad verpalų ilginio tankio po padengimo MK santykinė atsitiktinė paklaida (δ_a) yra iki 7,7 %, o variacijos koeficientas (V_k) iki 6,2 %.



a)

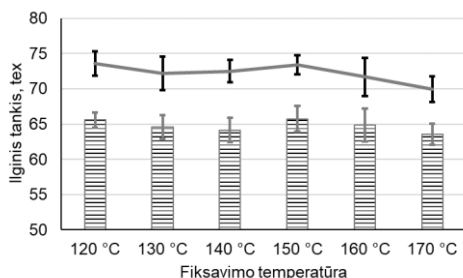


b)



c)

d)

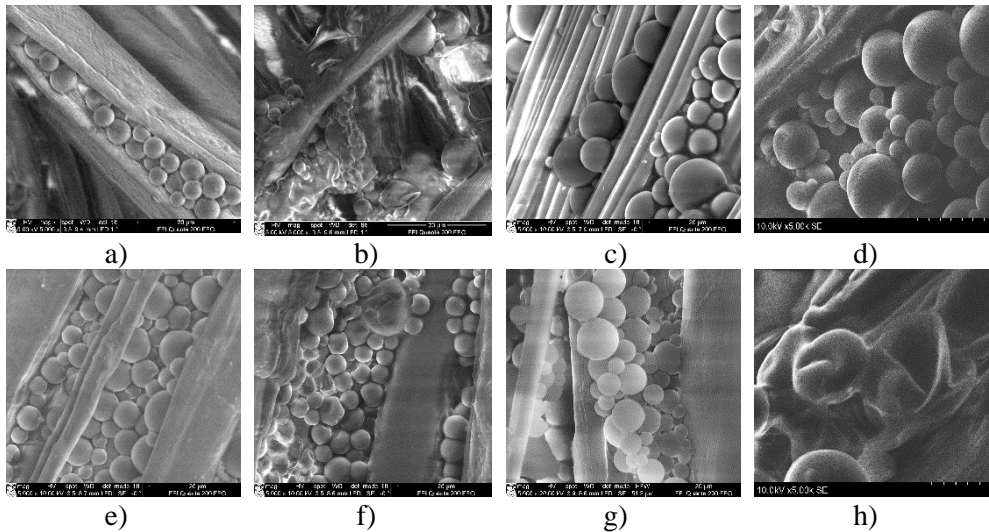


e)

3.1 pav. Skirtingos pluoštinės sudėties verpalų ilginio tankio pokytis, esant skirtingai MK fiksavimo temperatūrai: a) balinti lininiai; b) lininiai; c) bambuko; d) medvilnės; e) ramės

Didžiausias ilginio tankio pokytis nustatytas ramės (13,0 %) ir balintų lininių verpalų (17,3 %), atitinkamai esant 140 °C ir 160 °C fiksavimo temperatūrai, o mažiausias – medvilnės verpalų (2,7 %), kai fiksavimo temperatūra 170 °C. Tokius skirtingus ilginio tankio pokyčius gali lemti celiuliozinių pluoštų struktūra (Rocha Gomes, 2013). Nors šių pluoštų cheminė struktūra yra panaši, tačiau skiriasi makromolekulių išsidėstymo pobūdis ir tankis, esant didesniems tarpams tarp makromolekulių lengviau absorbuojamas vanduo. Ramės pluoštas yra labai higroskopiškas ir geba absorbuoti didelį kiekį vandens (Blackburn, 2005). Bandiniai apdailos metu yra pamerkami MK / rišiklio / vandens į emulsiją, todėl po apdailos MK pastebimas palyginti ryškus ramės verpalų ilginio tankio padidėjimas. Medvilnė taip pat gerai absorbuoja skysčius, tačiau absorbcijos procesas pagerėja po cheminės apdailos (balinimo, merserizavimo), nes suardomas makromolekulių tinklas ir tarp jų padidėja tarpai, taip pat iš pluošto pašalinamos priemaišos (Topalovic et al., 2007). Šiems tyrimams pasirinkti chemiškai nepaveikti medvilnės verpalai, todėl tai gali turėti įtakos palyginti nedideliu ilginio tankio padidėjimui. Beje, pastebimas aukštos temperatūros poveikis, ypač kai MK prisitvirtina pluošto paviršiuje, o ne vidiniuose sluoksniuose: padaugėja deformuotų ir susprogusių (3.2 pav., b). Analizuojant lininius verpalus, didelis skirtumas nustatytas, kai fiksavimo temperatūra – 160 °C. Nustatyta, kad balintų lininių verpalų ilginis tankis padidėjo 11,1 % daugiau nei natūralaus lino verpalų. Šį skirtumą galimai lėmė balinimo procesas, kuris padidina pluošto higroskopiškumą. Šio proceso metu iš linų pluošto pašalinami pektinai, hemiceliuliozės ir ligninas, todėl padidėja pluošto adhezija (Abdel-Halim, 2008).

Vis dėlto suprantama, kad, siekiant detaliau iširti MK, reikia naudoti vaizdo analizę. Darbe analizuotų mikrokapsulių su eteriniu aliejumi forma ir morfologija tirta skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu (SEM). MK prisitvirtinimo prie skirtingos pluoštinės sudėties verpalų (medvilnės, bambuko, ramės, lininių ir balintų lininių) efektyvumas puikiai atsispindi SEM nuotraukose, pateiktose 3.2 paveiksle. Nuotraukose matoma, kad MK yra prisitvirtinusios prie visų rūšių verpalų paviršių ir įsiterpusios į verpalų vidų, tarp pluoštų. Taip pat pastebima, kad MK su eukaliptų eteriniu aliejumi neturi jokių pažeidimų ir išlikusi taisyklinga sferiška forma, kai apdailos proceso metu fiksavimo temperatūra kinta 120–140 °C intervalu. Panašius rezultatus gavo ir kiti autoriai (Monllor et al., 2009), nustatę, kad pipirmėčių kvapo MK, prisitvirtinusios prie medvilninio audinio, nėra pažeistos ar praradusios sferišką formą, kai buvo fiksuojamos karštu oru, esant iki 120 °C temperatūrai, o, didinant temperatūrą, vis daugiau MK suardoma, nes vienas iš eterinio aliejaus atpalaidavimo būdų yra kapsulių destrukcija paveikus aukšta temperatūra. Disertacinio tyrimo metu nustatyta, kad, MK fiksavimo prie pluoštų temperatūrai esant 120–150 °C, MK yra mažiausiai pažeidžiamos, taigi ir turi ilgiau išlaikyti veikliąją medžiagą.



3.2 pav. Verpalų SEM nuotraukos (didinimas x5 000), esant skirtingai fiksavimo temperatūrai: a) medvilnės verpalai, kai T_F – 120 °C; b) medvilnės verpalai, kai T_F – 170 °C; c) bambuko verpalai, kai T_F – 150 °C; d) natūralaus lino verpalai, kai T_F – 150 °C; e) ramės verpalai, kai T_F – 140 °C; f) ramės verpalai, kai T_F – 170 °C; g) balinti lininiai verpalai, kai T_F – 140 °C; h) balinti lininiai verpalai, kai T_F – 160 °C

Literatūros analizė parodė, kad autoriai nustato ar patvirtina MK apvalkalo medžiagos, veikliosios medžiagos ar rišiklio cheminę sudėtį, taip pat patvirtina MK buvimą ant tekstilės medžiagų. C.S.N.R. Teixeira et.al. (2012), atlikę komercinių levandų, mėtų, obuolių ir eukaliptų mikrokapsulių FTIR tyrimus, nustatė visuose analizuojamuose bandiniuose pasikartojančią smailę (1737 cm^{-1}), kuri, autorių nuomone, identifikuoja C=O grupės vibracijas formaldehide. Žinodami, kad levandų MK apvalkalo medžiaga yra melaminformaldehidai, ir palyginę su kitų MK FTIR

spektrais, teigia, kad visų tiriamų MK apvaskalo medžiaga gali būti melamino kopolimeras. Šio disertacinio tyrimo analizuojamų mikrokapsulių FTIR spektras panašus, taip pat turi C=O grupės smailę (1733 cm^{-1}), todėl šių mikrokapsulių apvaskalo medžiaga galėtų būti identiška. Be to, melamino kopolimeras dažnai pasirenkamas MK gamyboje apvaskalo medžiagai.

Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti, kad efektyviausias MK prisitvirtinimas yra prie ramės pluošto. Nors didžiausias MK prisitvirtinimas nustatytas prie balintų lininių verpalų, esant $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, tačiau pastebima MK sienelių deformacijų ir pažeidimų. Nustačius, kad geriausiai MK prisitvirtina prie ramės pluošto, tolimesniems tyrimams buvo pasirinkti sudėtingos sandaros audiniai, kuriuos sudaro pagrindo, metmenų ir ataudų, medvilniniai verpalai, o kilpinius metmenis – ramės verpalai. Atliktas verpalų su MK tyrimas leido parinkti ir optimalią audinių su MK fiksavimo temperatūrą – $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2. Mikrokapsulėmis padengtų kilpinių audinių sandaros ir geometrinių rodiklių, fizikinių ir mechaninių savybių tyrimas

Padengus kilpinius ramės / medvilninius audinius MK su eukaliptų eteriniu aliejumi, galima suteikti audiniams ilgalaikį aromatą, kuris dėvint ar naudojant gaminių leistų mėgautis aromaterapija, nes kvapioji medžiaga atpalaiduojama kontroliuojamu būdu. Kaip žinoma, kilpiniai audiniai plačiai naudojami buityje, todėl svarbu, kad gaminiai atitiktų gamybos ekonominius rodiklius ir vartotojų lūkesčius. Dėl šios priežasties yra nustatomi audinių sandaros ir geometriniai rodikliai, nulemiantys audinių fizikines ir mechanines savybes.

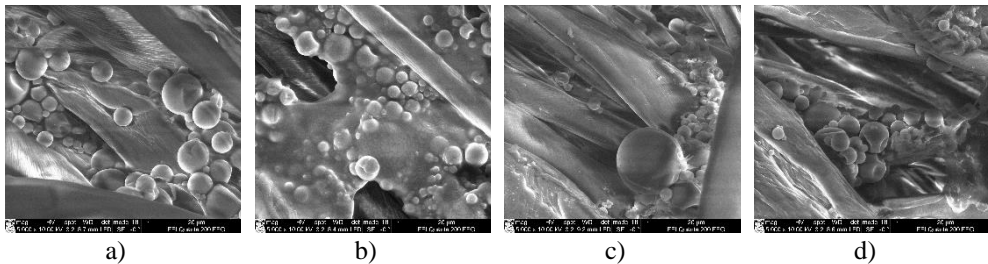
3.2.1. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių paviršiniam tankiui ir storiui

Skyriaus uždavinys – nustatyti MK įterpimo į kilpinius audinius procese naudojamos rišamosios medžiagos koncentracijos įtaką kilpinių audinių paviršiniam tankiui.

Sudėtingos sandaros audinių paviršinis tankis – viena pagrindinių audinio sandaros savybių, nes nuo jos priklauso audinio gebėjimas absorbuoti skysčius ir laidumas orui. Kaip žinoma iš literatūros, audinių paviršinis tankis didėja, didinant kilpos aukštį ir ataudų tankumą, šią išvadą padarė Angelova ir Kushlova (2016), savo tyrime analizuodamos medvilninių kilpinių audinių paviršinio tankio priklausomybę nuo kilpos aukščio ir ataudų tankumo. Baltakytė (2009) ir Veličkienė (2016) savo disertaciniuose darbuose taip pat nustatė stiprų ryšį tarp kilpinio audinio paviršinio tankio ir kilpos aukščio. Baltakytė (2009) nustatė, kad kanapinių / medvilninių, lininių / medvilninių ir lininių sudėtingos sandaros audinių paviršinis tankis didėjo nuo $474,6$ iki $834,0\text{ g/m}^2$, didinant kilpos aukštį. Veličkienė (2016) nustatė, kad žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių paviršinis tankis didėjo nuo $274,8$ iki $441,9\text{ g/m}^2$, kai kilpos aukštis kito nuo $4,5$ iki $10,5\text{ mm}$.

Nustatant ramės / medvilninių sudėtingos sandaros audinių, padengtų MK su eteriniu aliejumi, paviršinių tankių, tarpusavyje buvo lyginami vienodo kilpos aukščio (6 mm) ir skirtingo ataudų tankumo ($80\text{-}160\text{ dm}^{-1}$) kilpiniai audiniai, kuriems buvo

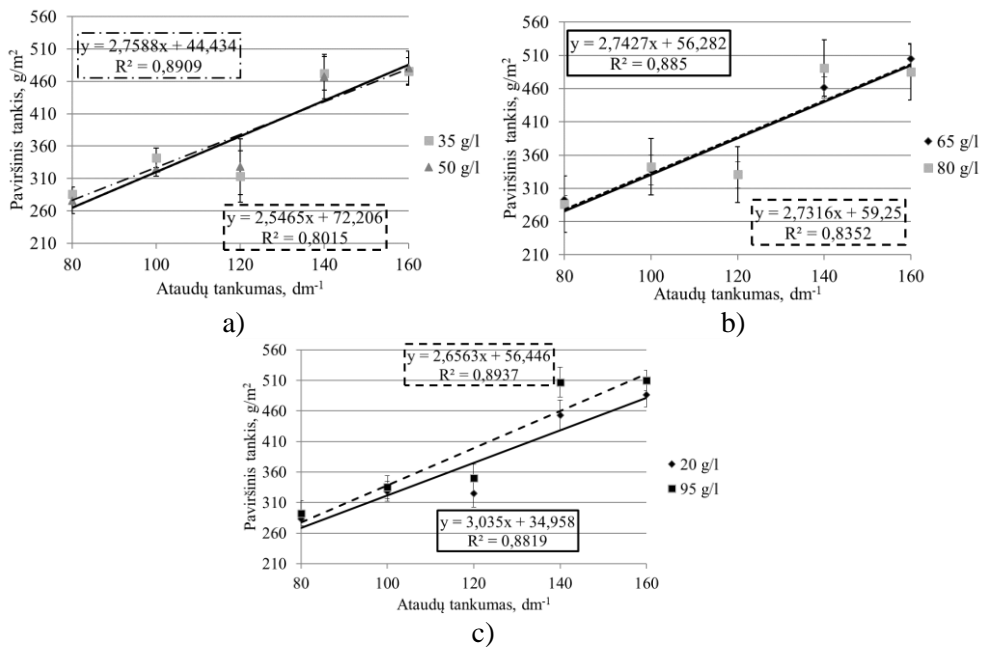
suteikiama apdaila su MK, keičiant rišamosios medžiagos koncentraciją nuo 20 iki 95 g/l tirpale. Buvo atlikta audinių analizė skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu, norint nustatyti, ar padengimo proceso metu MK prisitvirtina prie kilpinių metmenų ir pagrindo verpalų. Iš 3.3 pav. matyti, kad mikrokapsulės yra sferiškos formos ir skirtingų dydžių. Yra žinoma, kad audinių padengimas MK leidžia joms ne tik prisitvirtinti audinio paviršiuje, bet ir įsiterpti į vidinius audinių sluoksnius, todėl mikrokapsulės įsiskverbė iki pagrindo ataudų ir metmenų siūlų. Pastebima, kad daugiau mikrokapsulių prisitvirtina esant didesnei rišiklio koncentracijai. Be to, dažnai ant verpalų susidaro MK sancaupų, dėl šios priežasties gali būti, kad audinys MK padengiamas nevienodai. Kiti autoriai (Monllor et al., 2010) taip pat tyrė rišiklio koncentracijos įtaką MK prisitvirtinimui prie medvilninio audinio ir padarė išvadą, kad, esant didesnei rišiklio koncentracijai, MK prisitvirtina daugiau. Tai nustatė analizuodami SEM nuotraukas audinių po 20 skalbimo ciklų, kurie buvo padengiami MK be rišiklio ir audinių su rišikliu, kai koncentracija 5 ir 10 g/l. Nustatyta, kad audiniuose, apdorotuose be rišiklio, MK neaptikta, o su rišikliu audinio paviršiuje aptinkama MK net po 20 skalbimo ciklų (Monllor et al., 2010).



3.3 pav. Sudėtingos sandaros audinių pagrindo verpalų SEM nuotraukos (didinimas $\times 5\ 000$): a) pagrindo ataudas, kai RK 20 g/l, AT 80 dm^{-3} ; b) pagrindo metmuo, kai RK 95 g/l, AT 80 dm^{-3} ; c) pagrindo ataudas, kai RK 20 g/l, AT 160 dm^{-3} ; d) pagrindo metmuo, kai RK 95 g/l, AT 160 dm^{-3}

Ramės / medvilninių kilpinių audinių paviršinio tankio rezultatai pateikti 3.4 paveiksle. Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių, padengtų MK su eukaliptų eteriniu aliejumi, paviršinio tankio priklausomybę nuo ataudų tankumo ir rišiklio koncentracijos, rasta, kad didžiausias paviršinio tankio padidėjimas (23,08 ir 27,11 %) yra, kai rišiklio koncentracija 80 ir 95 g/l, o ataudų tankumas 140 dm^{-3} . Ir, žinoma, mažiausias paviršinio tankio padidėjimas (8,18 %) nustatytas 120 dm^{-3} ataudų tankumo audinių, kurie apdoroti MK, esant 35 g/l rišiklio koncentracijai. Analizuojant rišiklio koncentracijos įtaką audinių paviršiniui tankiui, nustatyta, kad 20–65 g/l RK paviršinį tankį padidina iki 15 %. Ramės / medvilninių kilpinių audinių ($R_{60-160}I_{20}$) paviršinis tankis, esant 20 g/l rišiklio koncentracijai ir skirtingam ataudų tankumui, didėjo nuo 282,9 iki 486,3 g/m^2 , audinių $R_{60-160}I_{95}$ paviršinis tankis didėjo nuo 292,6 iki 510,3 g/m^2 . Nustatytas $R_{10,5160}I_{80}$ varianto paviršinio tankio padidėjimas 30,56 % po MK apdailos proceso. Kilpinių audinių paviršinio tankio padidėjimui turi įtakos ir audinio santrauka, atsirandanti, kai MK padengiamas audinys.

Kaip žinoma, audinio paviršinis tankis yra labai svarbus sandaros rodiklis, lemiantis audinio masę, o kartu ir gaminio masę. Tai svarbi savybė vartotojui, nes ji turi įtakos audinio purumui, vandens absorbcijai, laidumui orui, šilumos laidumui. Mažo paviršinio tankio gaminyt būtų gerai laidus orui, tačiau taip pat būtų laidus šilumai. Vis dėlto dažnai pageidautina, kad kilpiniai audiniai, naudojami, pvz., drabužiams, pasižymėtų mažu šilumos laidumu. Veličkienė (2016), tirdama žalius ramės / medvilninius kilpinius audinius ($AT = 8-16 \text{ cm}^{-1}$), padarė išvadą, kad ataudų tankumas turi didesnę įtaką vandens garų absorbcijai nei kilpos aukštis, nes, didinant ataudų tankumą, vandens garų absorbcija padidėjo nuo 21,4 iki 61,5 g/m^2 . O, kaip žinoma, didinant ataudų tankumą, didėja ir audinio paviršinis tankis. Ši tendencija matoma 3.4 pav., kur pateikiama audinių paviršinio tankio priklausomybė nuo ataudų tankumo.



3.4 pav. Sudėtingos sandaros audinių paviršinio tankio priklausomybė nuo ataudų tankumo: a) kai RK 35 ir 50 g/l, b) kai RK 65 ir 80 g/l, c) kai RK 20 ir 95 g/l

Disertacinio darbo metu buvo patikrintas ramės / medvilninių kilpinių audinių, padengtų MK, paviršinio tankio rezultatų informatyvumas. Gautas stiprus ryšys tarp paviršinio tankio priklausomybės nuo ataudų tankumo. Audinių $R_{60-160}I_{20}$, $R_{60-160}I_{35}$, $R_{60-160}I_{50}$, $R_{60-160}I_{65}$, $R_{60-160}I_{80}$ ir $R_{60-160}I_{95}$ variantų paviršinio tankio rezultatų apibrėžties koeficientai aprašant tiesinėmis lygtimis pateikti 3.4 paveiksle. Taip pat, atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių paviršinio tankio rezultatų statistinę analizę, nustatyta, kad santykinė paklaida yra nuo 1,7 % iki 13,2 %, variacijos koeficientas nuo 1,6 % iki 12,6 %.

Kilpinių audinių MK apdailos įtakos storio ir paviršinio sluoksnio storio analize

Atlikti ramės / medvilninių kilpinių audinių storio ir paviršinio sluoksnio storio tyrimai. Audinio storis yra vienas svarbiausių veiksnių, turinčių įtakos audinių šilumos laidumui, laidumui orui, audinio svoriui ir standumui. Iš esmės audinio storis – tai atstumas tarp dviejų lygiagrečių plokštelių, veikiamų tam tikru slėgiu (Sanad ir Cassidy, 2016). Kilpinių audinių storis yra didelis, palyginti su lygiais audiniais, nes priklauso nuo kilpų aukščio ir kilpų išsidėstymo tankumo.

3.1 lentelė. Sudėtingos sandaros audinių storio ir paviršinio sluoksnio storio (S_p) matavimų rezultatai, esant $S_1 = 0,1$ kPa, $S_2 = 0,196$ kPa ir $S_3 = 9,81$ kPa apkrovoms

Audinių variantai	ZR680-100	R680I20-95	R6100I20-95	R6120I20-95	R6140I20-95	R6160I20-95
S₁, mm	2,09–3,43	2,87–3,10	3,11–3,76	3,14–3,54	3,75–4,06	3,83–4,75
S₂, mm	2,06–3,40	2,86–3,00	3,15–3,68	3,15–3,48	3,88–4,04	3,89–4,50
S₃, mm	1,26–2,13	1,83–2,05	2,03–2,39	1,98–2,30	2,67–2,87	2,77–3,34
S_p, mm	0,80–1,26	0,95–1,03	1,12–1,29	1,17–1,18	1,17–1,21	1,12–1,16

Kilpinių audinių storis didėja didinant ataudų tankumą. Ramės / medvilninių kilpinių, žalių ir padengtų MK, esant skirtingai rišklio koncentracijai, audinių storio ir paviršinio sluoksnio storio rezultatai, priklausomai nuo ataudų tankumo, pateikti 3.1 lentelėje. Atlikus audinių storio rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad santykinė atsitiktinė paklaida (δ_a) yra iki 6,4 %, o variacijos koeficientas (V) iki 8,9 %. Didinant ataudų tankumą, kilpinių audinių po padengimo proceso storis S_1 padidėja 33,5–47,4 %, o, palyginti su žaliais (nepadengtais MK) audiniais, storis S_1 labiausiai padidėja audinių variantų R680I20-95, t.y 37,3–48,3 %, mažiausiai padidėja audinių variantų R6160I20-95, t. y. 11,6–33,2 %. Tokiems rezultatams įtakos turi audinio ataudų tankumas, nes mažo ataudų tankumo audiniai yra liaunesni, o, apdorojus juos MK apdaila, jie tampa standesni, ir matavimo metu kilpos išlaiko savo formą ir nepasiduoda slėgiui. Šis reiškinys mažiau pastebimas didelio ataudų tankumo audiniuose, nes jie savaime yra standesni, ir kilpos, išsidėsčiusios viena arti kitos, priešinasi suspaudimui. Taigi, nustačius kilpinių ramės / medvilninių audinių storį ir paviršinio sluoksnio storį prieš ir po padengimo mikrokapsulėmis, pastebima, kad audinių storis ženkliai didėja didinant ataudų tankumą.

Nustatytas ZR10,5₁₆₀ R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₅₋₂₅R10,5₁₆₀ variantų storis ir paviršinio sluoksnio storis. Žalių ZR10,5₁₆₀ varianto audinių storis, esant skirtingoms apkrovoms, yra 4,46–2,50 mm. Šios grupės bandiniams suteikus MK apdailą, storis padidėjo apie 20 %, esant S_1 ir S_2 apkrovoms, ir apie 45 %, esant S_3 apkrovai. Padengtų MK audinių storis po 25 skalbimo ciklų sumažėja nuo 11,57 % iki 8,01 %, esant skirtingoms apkrovoms. Skalbimo procesas mažina audinių storį, šiai išvadai antrina Jucienė et al. (2006). Autoriai analizavo džinsinių audinių storį po minkštinimo ir skirtingų skalbimo procedūrų. Tyrimo metu nustatė, kad po minkštinimo procedūros audinio storis padidėjo 12,5 %, o po enziminio skalbimo audinio storis sumažėjo nuo 1,20 mm iki 1,12 mm. Autorių teigimu, audinio storio padidėjimą nulėmė minkštiklio verpalams suteikiamas putlumas, o storio sumažėjimą – skalbimo metu išplaunamų

priemaišų ir plaukelių netekimas, suteikiantis verpalams lygumo (Jucienė et al., 2006).

Apibendrinimas

Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių, padengtų MK, paviršinio tankio tyrimus, nustatytas stiprus ryšys tarp audinių ataudų tankumo ir paviršinio tankio, esant visoms rišiklio koncentracijoms. Nustatyta, kad, padengus kilpinius audinius MK su eteriniu aliejumi, audinių paviršinis tankis padidėja iki 23,08 ir 27,11 %, kai rišiklio koncentracija 80 ir 95 g/l, o ataudų tankumas 140 dm^{-1} . MK apdaila turi įtakos audinių storiui, nes rišamoji medžiaga sustandina audinio kilpas, kurios suspaudimo metu išlieka standžios ir geba priešintis suteikiamai apkrovai. Analizuojant skalbimo proceso įtaką audinių storiui nustatyta, kad padengtų MK audinių storis, esant skirtingoms apkrovoms, po 25 skalbimo ciklų sumažėja nuo 11,57 % iki 8,01 %.

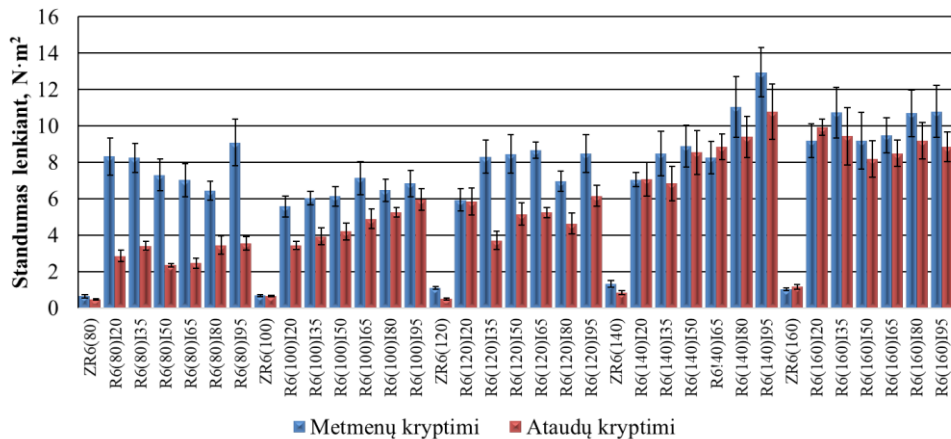
3.2.2. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių lenkiamajam standumui

Audinių lenkiamasis standumas apibūdinamas kaip audinio gebėjimas pasipriešinti lenkimui. Tekstilės gaminių lenkiamasis standumas pirmiausia priklauso nuo jų sudarančių pluoštų standumo, audinio storio ir apdailos. Stori ir didelio paviršinio tankio audiniai geba geriau pasipriešinti lenkimui, ir atvirkščiai – ploni audiniai yra gerokai liaunesni. Nuo audinių lenkiamojo standumo priklauso ir gaminių pojūtis liečiant.

Šiame darbe nustatytas kilpinių audinių lenkimo standumas ir ištirta padengimo MK ir rišiklio koncentracijos įtaka audinių lenkimo standumui.

Audinių lenkimo standumas nustatytas tiriant žalius ir su MK apdaila, keičiant rišiklio koncentraciją, ramės/medvilnius kilpinius audinius ataudų ir metmenų kryptimis. Gamybos proceso metu žinoti šiuos rodiklius naudinga, nes galima prognozuoti būsimo gaminio grifą. Literatūroje teigiama (Javid et al., 2014), kad, padidėjus MK koncentracijai, MK tankiau užpildo tarpus tarp pluoštų, todėl pluoštams sunkiau prasislinkti vienas kito atžvilgiu ir padidėja lenkiamasis standumas. Po apdailos MK buvo pastebėtas reikšmingas lenkiamojo standumo padidėjimas, kuriam įtakos turėjo rišiklis, sukūręs ryšius tarp gretimų pluoštų. Todėl pluoštai mažiau juda vienas kito atžvilgiu, sumažėja audinio deformacijos, ir audinys tampa standesnis. Tačiau pastebėta, kad, padidėjus į mikrokapsules įterpiamo aliejaus koncentracijai, audinys tampa minkštesnis, galimai dėl eterinio aliejaus išlaisvinimo iš MK (Javid et al., 2014). Kiti (Kim ir Cho, 2002) autoriai nustatė, kad poliesterinio (PES) audinio lenkiamasis standumas padidėjo nuo $0,049 \text{ gf}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$ iki $0,255$ ir $0,282 \text{ gf}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$, didinant mikrokapsulių koncentraciją, atitinkamai 5 ir 40 % (Kim, Cho, 2002). Kaip matoma, MK apdaila keičia audinių paviršiaus morfologiją, o tai turi įtakos ir standumui. Padengiant kilpinius audinius mikrokapsulėmis, rišamoji medžiaga padengia audinį ir įsiskverbia į vidinius audinio sluoksnius. Šio disertacinio tyrimo metu nustatyti ramės / medvilninių kilpinių audinių lenkiamojo standumo rezultatai patekti 3.5 ir 3.6 paveiksluose. Dėl kilpinių audinių specifinės sandaros, paviršiuose išsidėsčiusių kilpų tūrinės struktūros su tuščiavidurėmis ertmėmis ir audinių tankumo padidėjimo (aptarta 3.2.1 skyriuje) po apdailos proceso pastebėtas

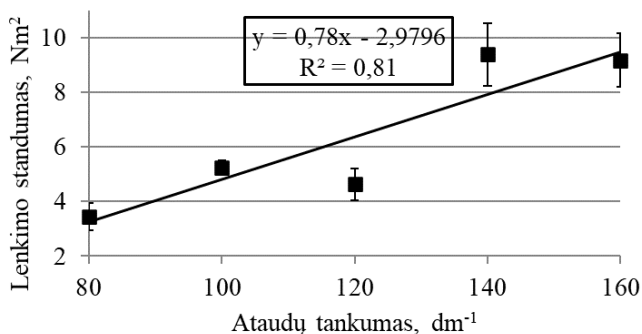
visų bandinių lenkiamojo standumo padidėjimas. Tyrimų metu nustatyta, kad žalių audinių lenkimo standumas metmenų kryptimi kinta nuo 0,65 iki 1,33 Nm², o ataudų kryptimi – nuo 0,46 iki 1,16 Nm², įvertinant visus ataudų tankumus. O padengtų MK bandinių lenkimo standumas metmenų kryptimi kinta nuo 5,57 Nm² (variantas R6₁₀₀I₂₀) iki 12,92 Nm² (variantas R6₁₄₀I₉₅) ir ataudų kryptimi – nuo 2,35 Nm² (variantas R6₈₀I₅₀) iki 10,78 Nm² (variantas R6₁₄₀I₉₅). Audinių lenkiamojo standumo padidėjimui gali turėti įtakos ir audinio tankumo padidėjimas po šlapios MK apdailos, nes celiulioziniai audiniai, veikiami vandens, traukiasi ir tankėja. Tačiau taip pat ir mikrokapsulių rišamoji medžiaga užpildo oro tarpus tarp pluoštų ir, padengdama siūlų paviršių, padidina šių sukibimą, todėl audinys tampa standesnis ir atsparesnis lenkimui. Kaip matoma iš rezultatų (3.5 pav.), lyginant padengtus MK kilpinius audinius su žaliais, nustatyta, kad standumas lenkiant padidėja 5,3–14,0 kartus, lyginant metmenų kryptimi, ir 5,1 – 12,8 kartus, lyginant ataudų kryptimi.



3.5 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių standumas lenkiant

Kaip matome, šie tyrimai iš dalies patvirtina kitų autorių darbų rezultatus, kad audinių apdaila MK padidina audinių lenkimo standumą. O Son et al. (2014) teigia, kad padengto MK medvilninio mezginio standumui ir laidumui orui turi įtakos minkštiklio naudojimo eiliškumas. Kaip žinoma, minkštiklis tekstiliniams gaminiams suteikia minkštumo, o mikrokapsulės tekstilinius gaminius standina. Jie nustatė, kad, minkštiklį įterpiant į MK pastą ir vienu metu įmirkant, medžiaga išlieka minkštesnė nei minkštinant po padengimo mikrokapsulėmis (Son et al., 2014).

Nustatyta audinių lenkiamojo standumo priklausomybė nuo ataudų tankumo ataudų kryptimi (3.6 pav.). Šiuo atveju matoma, kad audinio lenkiamasis standumas didėja, didėjant ataudų tankumui. Lenkiamojo standumo priklausomybė nuo ataudų tankumo aprašoma tiesine lygtimi ($R^2 = 0,8100$).



3.6 pav. Ramės / medvilninių sudėtingos sandaros audinių lenkiamojo standumo priklausomybė nuo ataudų tankumo (ataudų kryptimi), kai RK 80 g/l

Kilpinių audinių standumas lenkiant priklauso nuo jų storio, sandaros rišlumo ir apdailos MK. Mažo ataudų tankumo audiniai yra plonesni ir liaunesni nei tankūs audiniai, nes jų siūlų perdangos yra ilgesnės. Metmenų kryptimi audiniai yra standesni nei ataudų kryptimi dėl didesnio metmenų siūlų sukrio, tokia tendencija matoma ir ištyrus kilpinius audinius. Palyginus žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių lenkimo standumą metmenų ir ataudų kryptimis, matoma, kad variantų ŽR6₈₀ ir ŽR6₁₂₀ standumas metmenų kryptimi yra apie 30 % didesnis nei ataudų kryptimi. Didžiausias standumo lenkiant skirtumas tarp metmenų ir ataudų kryptimi po padengimo MK matomas, kai audinių ataudų tankumas 80 dm^{-1} . Šiuo atveju audiniai po padengimo proceso yra 46–68 % standesni metmenų kryptimi nei ataudų kryptimi.

Kadangi tekstilės gaminiai yra anizotropiški, t. y. įvairiomis kryptimis gali deformuotis skirtingai, todėl taip pat reikia įvertinti kilpinių audinių po MK apdailos anizotropijos dydį, šie rezultatai pateikti 3.2 lentelėje. Žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių anizotropijos dydis kinta nuo 0,89 iki 2,22, priklausomai nuo ataudų tankumo.

3.2 lentelė. Ramės / medvilninių kilpinių audinių anizotropijos dydis po padengimo mikrokapsulėmis

Bandinių grupė	R6 ₈₀ I ₂₀₋₉₅	R6 ₁₀₀ I ₂₀₋₉₅	R6 ₁₂₀ I ₂₀₋₉₅	R6 ₁₄₀ I ₂₀₋₉₅	R6 ₁₆₀ I ₂₀₋₉₅
Anizotropijos dydis (α)	1,87–3,11	1,15–1,62	1,01–2,25	0,93–1,24	0,92–1,22

Anizotropijos koeficiento dydis priklauso nuo audinio standumo lenkiant metmenų ir ataudų kryptimi santykio. Kuo audiniai standesni metmenų kryptimi, tuo $\alpha > 1$; tokia priklausomybė būdinga mažo ataudų tankumo kilpiniams audiniams. Tankių audinių $\alpha \leq 1$. Tai reiškia, kad audinių standumas metmenų ir ataudų kryptimi susivienodina arba audiniai ataudų kryptimi yra standesni. Ši tendencija matoma ištyrus ŽR6₁₄₀₋₁₆₀ ir R6₁₄₀₋₁₆₀I₂₀₋₉₅ audinių variantus.

Apibendrinimas

Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti, kad sudėtingos sandaros audinių padengimas mikrokapsulėmis su eukaliptų eteriniu aliejumi turi įtakos audinių standumui lenkiant. Gauta, kad, lyginant padengtų MK kilpinių audinių ir žalių audinių lenkiamąjį standumą, šis rodiklis padidėja 5,3–14,0 kartus, tiriant metmenų kryptimi, ir 5,1–12,8 kartus, tiriant ataudų kryptimi. MK apdaila labiausiai turi įtakos liauniems audiniams, kurių ataudų tankumas yra mažas. Esant didesniai kilpinių audinių ataudų tankumui ($140\text{--}160\text{ dm}^{-1}$), pastebimas mažesnis standumo lenkiant skirtumas tarp metmenų ir ataudų kryptimi. Mažo ataudų tankumo (80 dm^{-1}) audiniai po padengimo proceso yra 46–68 % standesni metmenų kryptimi nei ataudų kryptimi.

3.2.3. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių atsparumui dilinimui

Dėvint tekstilės gaminių, jis nuolat veikiamas įvairių mechaninių poveikių, todėl vienas svarbiausių gaminių ilgaamžiškumo nustatymo metodų yra dilinimas. Šis procesas ypač svarbus ir gaminiams su mikrokapsulių apdaila, nes, dilinant gaminį tam tikru sūkių skaičiumi, galima įvertinti MK pažeidimus, kurie galėtų nulemti MK suteiktų ypatybių veikimo trukmę. Kilpinių audinių dilinimo procesas yra kur kas ilgesnis nei lygių audinių, nes kilpiniai audiniai turi didesnę atraminę paviršių (tai paviršiaus dalis, kuria audinys kontaktuoja su plokštuma). Dilinimo proceso metu pirmaisia yra nudildomi kilpiniai metmenys, vėliau – audinio pagrindo siūlai. Audinių atsparumui dilinimui taip pat turi įtakos gaminiams suteikta apdaila – skalbimas, tumbleravimas ar poveikis cheminėmis medžiagomis, kurie mažina gaminių ilgaamžiškumą.

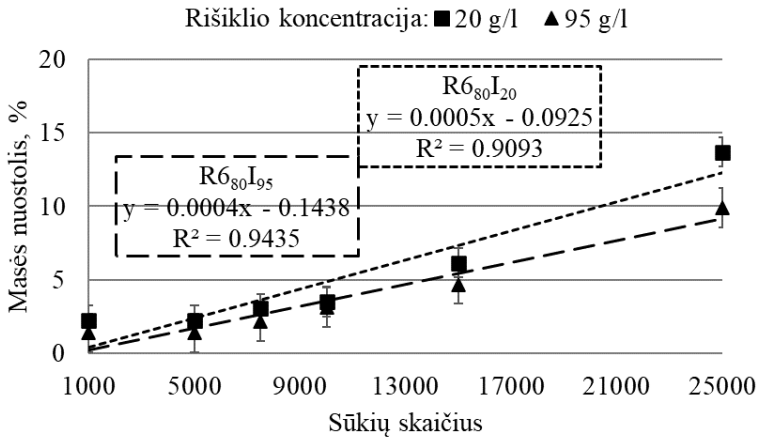
Skyriaus uždavinys – nustatyti sudėtingos sandaros audinių su MK apdaila atsparumą dilinimui, kurio metu buvo vertinamas kilpinių audinių masės nuostolis ir mikrokapsulių pažeidimas, esant tam tikram dilinimo sūkių skaičiui.

Sudėtingos sandaros audinių atsparumo dilinimui bandymai buvo atlikti su padengtais mikrokapsulėmis ramės / medvilniniais kilpiniais audiniais, kurių kilpos aukštis 6 mm ir ataudų tankumas 80 ir 160 dm^{-1} , bandiniai tarpusavyje skyrėsi padengimo proceso metu naudoto rišiklio koncentracija ($20\text{--}95\text{ g/l}$). Taip pat buvo analizuojami skalbti su plovikliu (5–25 ciklus) ramės / medvilniniais kilpiniais audiniais, kurių ataudų tankumas 160 dm^{-1} ir kilpos aukštis 10,5 mm. Kilpinių audinių masės nuostolis analizuotas nuo 1 000 iki 25 000 sūkių skaičiaus, nes, esant didesniai sūkių skaičiui, žali audiniai suyra. Norint įvertinti pirminius mikrokapsulių pažeidimus, atlikta SEM analizė ir po 100 dilinimo sūkių.

Padengtų MK kilpinių audinių masės nuostolio nustatymas

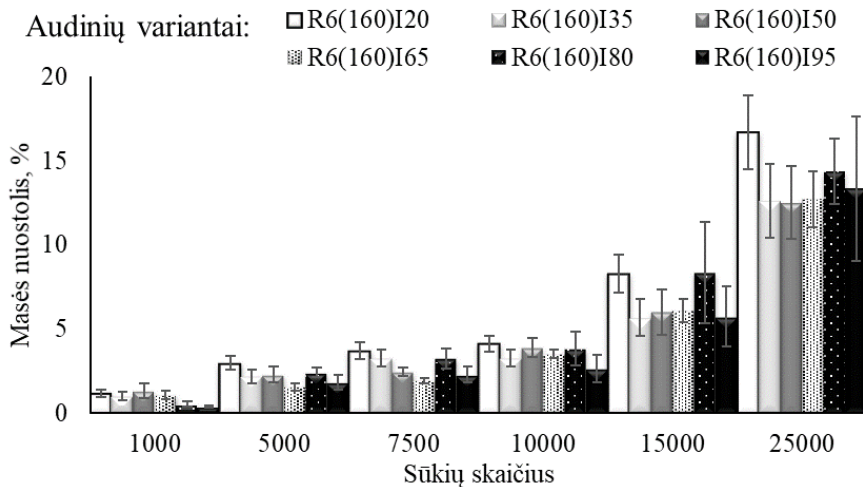
Veličkienė, Petrulytė ir Petrulis (2014) nustatė, kad ramės / medvilnės kilpiniai audiniai, kurių kilpos aukštis 6 mm ir ataudų tankumas $8\text{--}12\text{ cm}^{-1}$, suiro esant 25 000 sūkių skaičiui, o kilpiniai audiniai, turintys $7,5\text{--}10,5\text{ mm}$ kilpas, suiro tik esant 40 000 sūkių skaičiui. Atsižvelgiant į kitų tyrėjų patirtį ir į tai, kad ramės verpalai yra tinkami suformuoti žemas taisyklingas kilpas bei vienodą audinio kilpinę dangą. Šiam disertaciniam tyrimui buvo pasirinkti ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai, kurių

kilpos aukštis 6 mm, ataudų tankumas 80, ir 160 dm⁻¹ ir pasirinkta audinius analizuoti priklausomai nuo mikrokapsulių rišiklio koncentracijos, nes rišiklis, padengdamas verpalų paviršių, didina audinių atsparumą dilinimui. Siekiant sukurti didelio paviršinio tankio storus audinius, tolesniems tyrimams buvo pasirinkta grupė audinių, kurių kilpos aukštis 10,5 mm. Ši grupė buvo analizuota po padengimo MK ir skalbimo proceso, nes kilpiniai audiniai su aukštomis kilpomis yra ilgaamžiškesni nei audiniai su mažu kilpų aukščiu. Ramės / medvilninių R_{680I20} ir R_{680I95} variantų audinių atsparumo dilinimui rezultatai parodė, kad, lyginant audinius, apdorotus MK, su mažiausia ir didžiausia rišiklio koncentracija, po 25 000 sūkių kilpinių audinių R_{680I95} varianto masės nuostolis yra 3,78 % mažesnis nei R_{680I20} varianto. Kaip matyti iš 3.9 pav., kilpinius audinius įmirkant mikrokapsulėmis, rišamoji medžiaga padengia verpalų paviršių ir mechaninio poveikio metu sulėtina verpalų irimą. Esant didžiausiai rišiklio koncentracijai (95g/l), rišikliu padengiamas didesnis verpalų paviršiaus plotas. Taip pat, atlikus tyrimų rezultatų R_{680I20} ir R_{680I95} kilpinių audinių variantų matematinę analizę, nustatytas eksperimento informatyvumas, įrodantis, jog egzistuoja ryšys tarp kilpinių audinių masės nuostolio ir dilinimo sūkių skaičiaus, aprašomas tiesinėmis lygtimis (3.7 pav.). Kaip matoma iš rezultatų, masės nuostolio skirtumas, esant didžiausiai ar mažiausiai rišiklio koncentracijai, yra iki paklaidų ribų, kai dilinimo ciklų skaičius kinta iki 10 000 sūkių. Šio disertacinio tyrimo rezultatus palyginus su Veličkienės (2016) tyrimų rezultatais, pastebimas skirtumas tarp padengtų MK ir nepadengtų MK kilpinių audinių. Autorė teigia, jog ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai su 6 mm kilpos aukščiu ir 8 cm⁻¹ ataudų tankumu po 5 000 sūkių neteko 12,28 % masės, o tokie patys audiniai su MK apdaila po 5 000 sūkių masės neteko vos 2,26 % ir 1,40 %, atitinkamai esant 20 g/l ir 95 g/l rišiklio koncentracijai. Analizuojant rišiklio koncentracijos įtaką audinių masės nuostoliams, reikšmingų skirtumų tarp padengto MK audinio ir žalio nepastebima, nes dilinant pluoštas nuo bandinio paviršiaus pasišalina vėliau: pirma atsiskyrę plaukeliai susivelia tarpusavyje ir sudaro pluošto pumpurėlius. Kad MK apdaila padidina audinių atsparumą dilinimui, pastebima 3.10 pav., nes padengto MK audinio kilpos po 10 000 sūkių dar yra nesuspumpuravusios. Be abejo, šią ypatybę audiniai prarastų po tam tikro skalbimų ciklų skaičiaus.



3.7 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių R₆₀I₂₀ ir R₆₀I₉₅ variantų masės nuostolis

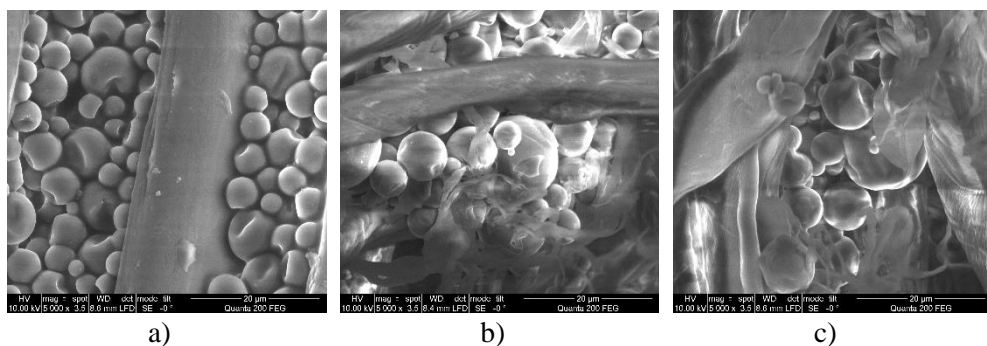
Ramės / medvilninių kilpinių audinių varianto R₆₁₆₀ po apdailos mikrokapsulėmis, esant skirtingai rišklio koncentracijai (20–95 g/l), rezultatai pateikti 3.8 paveiksle. Kaip matyti iš šio paveikslo, didinant dildymo sūkių skaičių nuo 1 000 iki 25 000, audinių masės nuostolis padidėjo nuo 0,37 iki 16,67 %. Lyginant rezultatus priklausomai nuo rišklio koncentracijos, ryškaus skirtumo iki 10 000 sūkių skaičiaus nenumatyta, tačiau, audinius dildant iki 25000 sūkių skaičiaus, audiniai, kurių rišklio koncentracija mažiausia, masės netenka daugiausia. Svarbu pažymėti, kad šio disertacinio darbo rezultatai yra panašūs į Veličkienės, Petrulytės ir Petrulio (2014), pastebima tokia pat audinio masės nuostolio tendencija, kad didžiausias masės nuostolis yra tarp 15 000 ir 25 000 sūkių skaičiaus.



3.8 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių po MK apdailos masės nuostolis

Lyginant ramės / medvilniųjų kilpinių audinių atsparumą dilinimui po 25 000 sūkių, esant didžiausiam ir mažiausiam ataudų tankumui (80 ir 160 dm⁻¹), kai kilpos aukštis 6 mm, pastebima, kad variantas R6₈₀I₉₅ neteko 9,90 % masės, o variantas R6₁₆₀I₉₅ – 13,35 %. Taigi, ir apdorojus kilpinius audinius MK apdaila, kaip ir buvo tikėtasi, išlieka tendencija, kad audiniai su didesniu ataudų tankumu masės netenka daugiau.

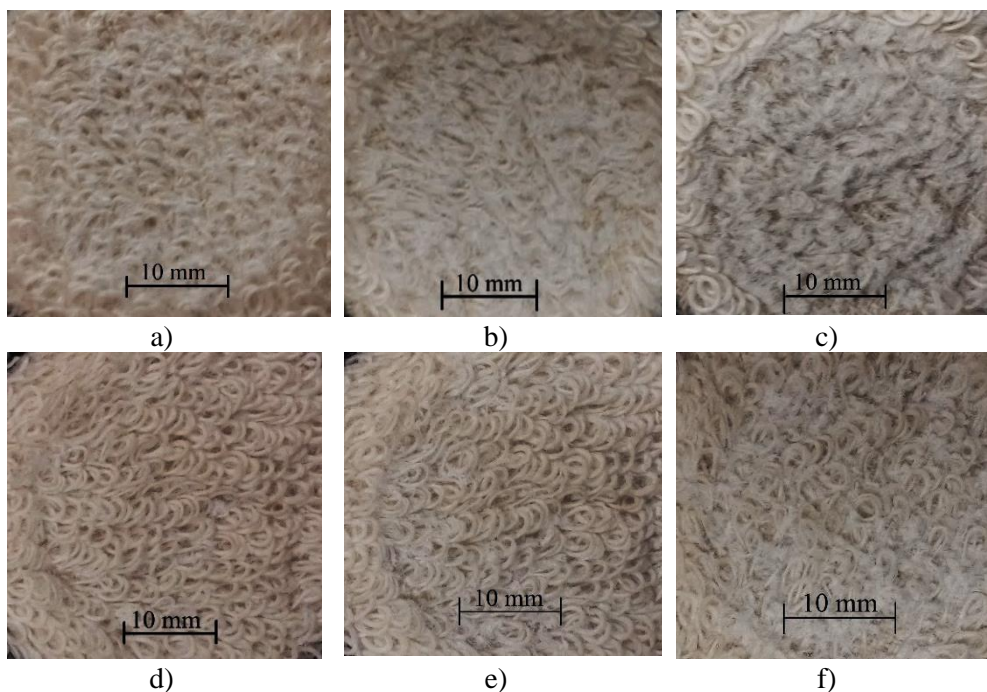
3.9 pav. pateiktos kilpinių audinių sudarančių verpalų SEM nuotraukos. Analizuojant SEM nuotraukas pastebima, jog dalis ant verpalų paviršiaus esančių mikrokapsulių po 100 sūkių yra pažeidžiamos, t. y. matoma MK formos pakitimų. Veikiamos trinties jėgos, MK praranda sferišką formą, ilgainiui gniuždomos atpalaiduoja veikliąsias medžiagas. Tačiau vidiniuose verpalų sluoksniuose MK, susitelkusios į aglomeratus, geba atlaikyti daugiau dilinimo ciklų. Vertinant mikrokapsules po 10 000 sūkių pastebima suirusių MK ir rišamosios medžiagos nuoplaisų, tai reiškia, kad veikiamas trinties jėgos rišiklis gali mažinti MK prisitvirtinimo prie pluošto galimybes, ir iš gaminio dėvėjimo metu mikrokapsulės galėtų lengvai pasišalinti. Po 25 000 sūkių matoma dar daugiau rišiklio liekanų pluošto paviršiuje. Didžiosios MK, esančios ant verpalų paviršiaus, yra pažeistos ir atpalaidavusios savo veikliąją medžiagą, tačiau, įsiskverbusios į verpalų vidinius sluoksnius, MK geba išlaikyti sferišką formą, taigi, jos yra išlaikiusios veikliąją medžiagą.



3.9 pav. Kilpinių audinių SEM nuotraukos (didinimas x5 000): a) po 100 sūkių; b) po 10 000 sūkių; c) po 25 000 sūkių

Lyginant žalius audinius su padengtais mikrokapsulėmis (3.10 pav.) matoma, jog MK apdaila lėtina audinio kilpų pažeidimą, deformavimąsi, sutraukymą. Kaip matoma iš 3.10 pav., a, dildant žalius audinius, jau po 5 000 sūkių audinio kilpos pradeda veltis ir kilpas sudarančių ramės verpalų plaukeliai pasišiaušia. Po 10 000 sūkių (3.10 pav., b) susivėlusios kilpos sudaro vientisą paviršių, kuriame sveikų kilpų beveik nebesimato. Toliau didėjant sūkių skaičiui iki 25 000, pradeda formuotis pluošto gumulėliai, kurie dilinimo proceso metu iškrenta, atidengdami kilpinio audinio pagrindo siūlus (3.10 pav., c). Daug lėtesnis audinio kilpinės dangos ir audinio pagrindo irimo procesas pastebimas suteikus MK apdailą, nes pvz., po 5 000 dildymo sūkių (3.10 pav., d) audinio išvaizda nepakinta, kilpos išlieka sveikos ir plaukelių atsiskyrimo požymių nepastebima. Net padidinus sūkių skaičių iki 10 000, kilpų struktūra beveik nepakinta. Ir tik pasiekus 25 000 sūkių skaičių, pastebimas

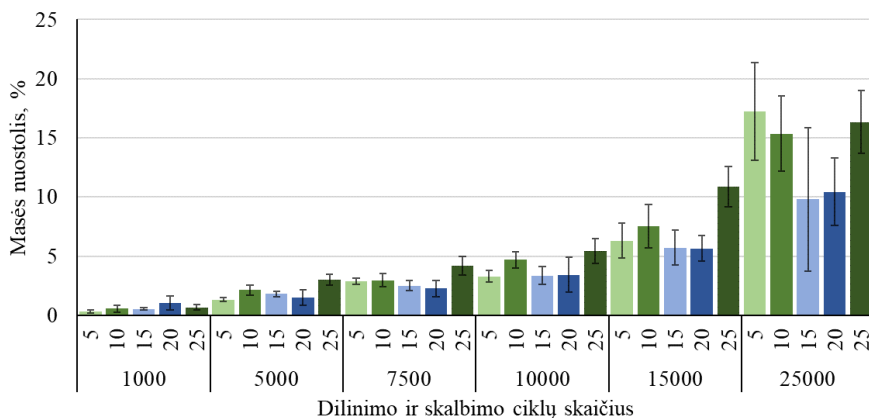
kilpų plaukelių atsiskyrimas nuo verpalų. Sekerden (2012a) lygino medvilninių ir bambuko / medvilninių kilpinių audinių atsparumą dilinimui iki 10 000 sūkių skaičiaus. Tyrimų metu audinius dilinant iki 7 500 sūkių skaičiaus, reikšmingo skirtumo tarp skirtingos pluoštinės sudėties audinių nepastebėta, nes, kaip teigia autorė, vienu atveju medvilniniai audiniai, kitu atveju bambuko / medvilnės audiniai netekdavo daugiau masės. Tačiau pastebėta, kad audinių masės nuostolio skirtumas išryškėja audinius dilinant iki 10 000 sūkių skaičiaus, ir nustatyta, jog daugiau masės neteko bambuko / medvilniniai kilpiniai audiniai, kurių kilpos aukštis kito 5,4–9 mm. Autorės teigimu, tokiems tyrimų rezultatams galėjo turėti įtakos mažesnis bambuko verpalų sukris, todėl plaukelių pasišalina daugiau. Swani et al. (1984) teigia, kad kilpiniai audiniai, kurių kilpos sudarytos iš žiedinio verpimo siūlų, yra atsparesni dilinimui, nesvarbu, ar jie analizuojami šlapi, ar sausi, palyginti su pertrauktinio verpimo verpalų kilpiniais metmenimis. Tačiau šlapi audiniai yra mažesnio atsparumo dilinimui, palyginti su sausais (Swani et al., 1984). Cheng et al. (2009) analizavo kosmetinės tekstilės eksploatacines savybes. Šiems tyrimams pasirinko medvilninį audinį, padengtą komercine odos priežiūros priemone, t. y. silikono danga su eteriniais aliejais ir vitaminais. Tyrimų metu nustatyta, kad silikono danga, padengta ant medvilninio audinio, nepatiria pažeidimų dilinant audinį iki 100 sūkių. Ir po 50 skalbimo ciklų dar vis aptinkama dangos likučių ant verpalų paviršiaus, nors dangos pažeidimai pastebimi jau po 15 skalbimo ciklų. Taigi, verpalų sandara turi didelę svarbą tekstilės gaminių dėvėjimui skalbiant ir yra labai svarbus veiksnys, vertinant gaminio ir jam suteiktos apdailos ilgaamžiškumą.



3.10 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių varianto R10,5₁₆₀ nuotraukos po dilinimo proceso: a) žali po 5 000 sūkių; b) žali po 10 000 sūkių; c) žali po 25 000 sūkių; d) padengti MK po 5 000 sūkių; e) padengti MK po 10 000 sūkių; f) padengti MK po 25 000 sūkių

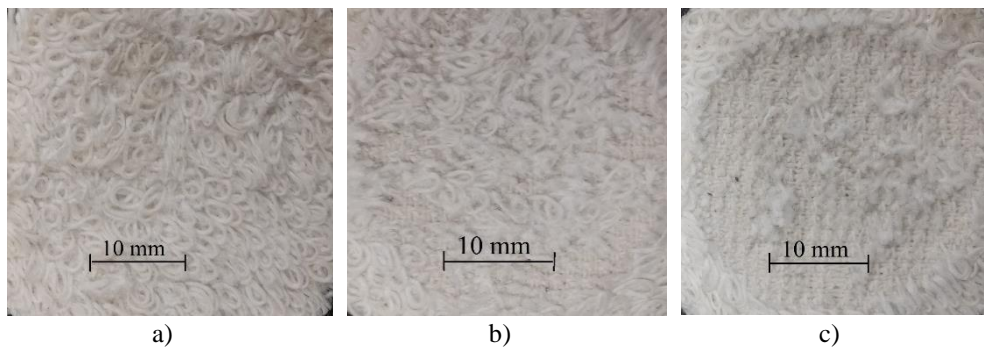
Padengtų MK ir skalbtų kilpinių audinių masės nuostolio nustatymas

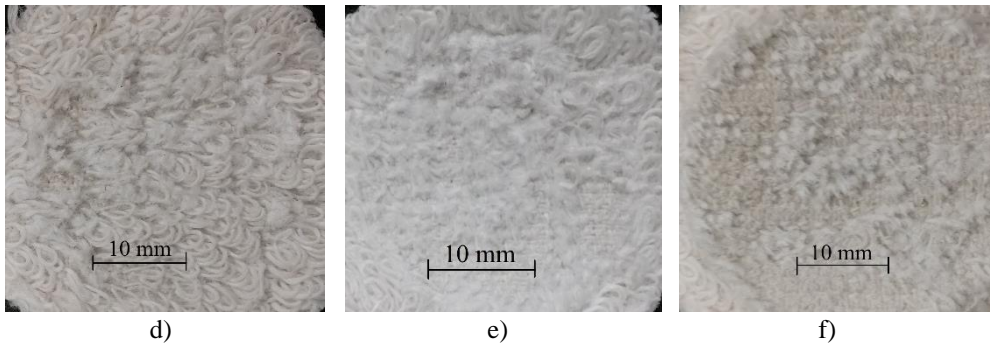
Atlikti ramės / medvilninių kilpinių audinių su MK apdaila skalbimo proceso įtakos atsparumo dilinimui tyrimai, nes žinoma, kad skalbimo procesas turi įtakos audinių atsparumui mechaniniam poveikiui. Skalbimo procesas, kai audinys veikiamas vandens, mechaninio, cheminio ir terminio poveikių, turi įtakos audinio struktūrai: audinys traukiasi, tankėja, o, didinant skalbimo skaičių, iš audinių sudarančių verpalų šalinasi pluoštas, ir audinys pradeda plonėti. Šiems tyrimams buvo pasirinkta grupė bandinių, kurių kilpos aukštis 10,5 mm, ataudų tankumas 160 dm⁻¹. Ši bandinių grupė nuo anksčiau analizuotų skiriasi tik kilpos aukščiu ir MK apdaila, suteikta esant pastoviai rišklio koncentracijai (80 g/l). Kadangi ankstesniuose tyrimuose pastebėta, jog audiniai su didesniu kilpos aukščiu yra atsparesni mechaniniam poveikiui, todėl ši grupė pasirinkta analizuoti padengus MK ir po skalbimo proceso. Žalių audinių varianto ZR10,5₁₆₀ masės nuostolis kito nuo 0,9 iki 7,4 %, o padengtų MK varianto R10,5₁₆₀I₈₀ masės nuostolis kito 0,1 iki 5,8 %, rezultatus lyginant nuo 1 000 iki 25 000 dilinimo ciklų skaičiaus. Ir šiuo atveju MK apdaila šiek tiek sumažina audinio masės nuostolį. Kilpinių audinių su MK apdaila ir po skalbimo proceso tyrimų rezultatai pateikti 3.11 paveiksle.



3.11 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių varianto R10,5₁₆₀I₈₀ masės nuostolio po skalbimo proceso rezultatai

R10,5₁₆₀I₈₀ varianto ramės / medvilninių kilpinių audinių po skalbimo proceso rezultatai parodė, kad ši procedūra sumažina audinių atsparumą dilinimui, palyginti tiek su žaliais bandiniais, tiek su padengtais MK audiniais. Nustatyta, kad šio varianto masės nuostolis po 5 skalbimo ciklų yra 1,33 kartų didesnis nei to paties varianto neapdorotų audinių ir 1,97 kartų nei padengtų MK po 25 000 sūkių skaičiaus. Analizuojant rezultatus po 5 000–15 000 sūkių skaičiaus, daugiausia masės neteko bandiniai skalbti 25 kartus, t. y. atitinkamai 3,02–10,89 %, nes didelis skalbimų skaičius pakeičia audinio struktūrą: audinys traukiasi, kilpos priglunda prie audinio pagrindo ir iš verpalų pasišalina pluoštas. Minėtų kilpinių audinių išvaizdos pokyčiai, o kartu ir masės netekimas iliustruotas 3.12 paveiksle.





3.12 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių varianto R10,5₁₆₀I₈₀ nuotraukos po 10 skalbimo ciklų: a) po 5 000 sūkių; b) po 15 000 sūkių; c) po 25 000 sūkių; po 25 skalbimo ciklų: d) po 5 000 sūkių; e) po 15 000 sūkių; f) po 25 000 sūkių

Kilpinius audinius, padengtus MK su eukaliptų eteriniu aliejumi, skalbimo procesas veikia panašiai, nepriklausomai nuo to, ar audiniai skalbti 10, ar 25 skalbimo ciklus. Kaip matoma iš 3.12 pav., po 5 000 sūkių kilpos pradeda veltis, bandinio, skalbto 25 skalbimo ciklus, kilpos susipumpuoja, nes skalbimo metu verpalus sudarantys plaukeliai persilenka į verpalo paviršių ir susivelia. Dilinimo ciklų skaičių padidinus iki 15 000, audiniai, skalbti 10 skalbimo ciklų (3.12 pav., b), yra pradėję netekti pūkinio paviršiaus ir tik vietomis likusios nepažeistos kilpos, visas kitas paviršius yra nudilintas iki audinio pagrindo. Itin akivaizdus audinio pagrindo išryškėjimas matomas 3.12 pav., e, kuriame pateiktas audinio, skalbto 25 kartus, vaizdas: dėl susilpnėjusių verpalų yra pašalintas beveik visas audinio kilpinis paviršius ir matomos tik likusios pavienės kilpų sąvėlos. Po 25 000 sūkių tiek po 10, tiek po 25 skalbimo ciklų (3.12 pav., c ir f) yra matomas visas audinio pagrindas su nedidelėmis kilpų liekanomis – susivėlusiomis pluošto plaukelių sancaupomis. Viršijus šią ribą, kilpiniai audiniai nėra tinkami eksploatuoti, nes netenka kilpinio pūko paviršiaus ir tinkamos vartotojui išvaizdos. Palyginus 3.10 pav. ir 3.12 pav. vaizdus, galima teigti, kad skalbimo procesas neigiamai veikia kilpinių audinių atsparumą dilinimui, nes skalbtų bandinių po 25 000 dilinimo sūkių atraminis paviršius pasišalina iki audinio pagrindo siūlų, priešingai nei žalių ar padengtų MK audinių, kai atraminis paviršius yra suveliamas, ir tokie audiniai netinkami eksploatuoti.

Apibendrinimas

Apibendrinant kilpinių audinių MK apdailos įtaką atsparumui dilinimui galima teigti, kad, padengus audinius MK su eukaliptų eteriniu aliejumi, audinių atsparumas dilinimui padidėja, nes verpalų paviršių padengia rišamoji medžiaga ir dilinimo metu neleidžia plaukeliams atsiskirti nuo verpalo paviršiaus. Rišiklio koncentracijai esant 20 g/l iki 95 g/l, nustatyta, kad kilpinių audinių R6₈₀I₉₅ varianto masės nuostolis yra 3,78 % mažesnis nei R6₈₀I₂₀ varianto po 25000 sūkių. Analizuojant rezultatus su tarpinėmis rišiklio koncentracijomis nustatyta, kad jie kinta paklaidų intervale. Skalbimo procesas akivaizdžiai sumažina kilpinių audinių atsparumą mechaniniam poveikiui. Skalbimo proceso metu kinta audinio struktūra – audinys

traukiasi, kilpos priglunda prie audinio pagrindo, didėjant skalbimų skaičiui, pradeda šalintis pluoštas. Taip pat skalbimo metu suardoma rišiklio plėvelė, dengianti verpalo paviršių, dėl ko pluoštas pasišalina lengviau. Analizuojant kilpinius audinius su 10,5 mm kilpos aukščiu, nustatyta, kad masės nuostolis po 5 skalbimo ciklų yra 1,33 kartų didesnis nei neapdorotų audinių ir 1,97 kartų nei padengtų MK po 25 000 sūkių skaičiaus.

3.2.4. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių laidumui orui

Audiniai dėl savo konstrukcinių ir geometrinių savybių užtikrina puikias gaminių termofiziologines savybes. Plačiai žinoma, kad audinio akytumą yra viena iš pagrindinių savybių, lemiančių audinio laidumą orui. Kilpinių audinių laidumas orui priklauso nuo audinio struktūros savybių: kilpos aukščio, ataudų tankumo, pynimo ar verpalų pluoštinės sudėties.

Šiame skyriuje pateikti žalių ir padengtų MK ramės / medvilninių kilpinių audinių laidumo orui, keičiant rišiklio koncentraciją, ataudų tankumą ir dilinimo ciklų skaičių, tyrimų rezultatai. Taip pat išanalizuotas padengtų MK ir skalbtų kilpinių audinių laidumas orui, priklausomai nuo dilinimo ciklų skaičiaus.

Kaip minėta, kilpinių audinių laidumui orui lemiamą svarbą turi kilpų aukštis. Kilpos aukščio didinimas neigiamai veikia kilpinių rankšluosčių laidumą orui. Prie tokios išvados priėjo autorė Sekerden (2018), analizavusi kilpinių audinių, skirtų rankšluosčiams, laidumą orui, priklausomai nuo kilpos aukščio (5,4–9 mm) ir kilpinių metmenų pluoštinės sudėties. Taip pat nustatė, kad audinys su bambuko kilpiniais metmenimis yra laidesnis orui nei su medvilniniais kilpiniais metmenimis, todėl, kad bambuko pluoštas yra laidesnis dėl mikrotarpelių / mikroakučių juose. Žinoma, tekstilės gaminių laidumas orui priklauso ir nuo suteiktos apdailos. MK apdailos procese rišiklis yra svarbus, nes nuo jo priklauso mikrokapsulių prisitvirtinimas ir išlikimas dėvėjimo metu. Be to, svarbu ir rišiklio kiekis, nes nuo to gali priklausyti gaminių laidumas orui.

Žalių ir padengtų MK kilpinių audinių laidumo orui analizė

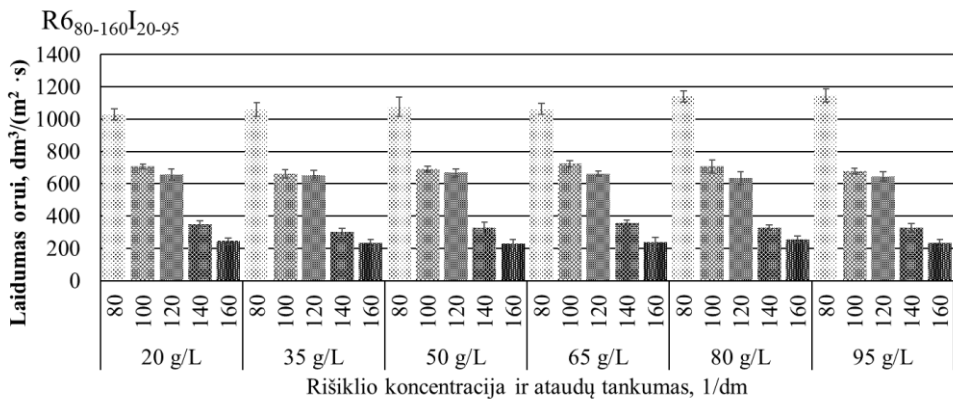
Šio disertacinio darbo metu nustatytas ramės / medvilninių kilpinių audinių, pasižyminčių skirtingu ataudų tankumu ($80\text{--}160\text{ dm}^{-1}$), kurių kilpos aukštis 6 mm, laidumas orui prieš padengimo MK procesą ir po jo, keičiant rišiklio koncentraciją ($20\text{--}95\text{ g/l}$). Audinių ZR₆₈₀₋₁₆₀ variantų prieš padengimo procesą laidumo orui rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. ZR₆₈₀₋₁₆₀ variantų prieš padengimo procesą laidumo orui rezultatai

Variantai	ZR680	ZR6100	ZR6120	ZR6140	ZR6160
R, dm³/(m²·s)	1286,8±37,0	961,2±36,6	916,6±36,0	541,8±18,6	390,6±21,9

Iš 3.3 lentelėje pateiktų rezultatų matoma tendencija, kad, didinant kilpinių audinių ataudų tankumą, laidumas orui mažėja. Nustatytas kilpinių audinių laidumo orui pokytis padengus audinius MK, esant skirtingoms rišiklio koncentracijoms, ir rezultatai pateikti 3.13 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių po padengimo MK

didžiausia ir mažiausia laidumo orui vertės nustatytos R₆₈₀I₉₅ ir R₆₁₆₀I₅₀ audinių variantams, atitinkamai 1146,7±38,7 ir 228,2±24,1 dm³/(m²·s). Laidžiausi orui išlieka R₆₈₀ varianto audiniai, padengus juos MK, esant skirtingoms rišiklio koncentracijoms, šių laidumas orui padidėjo 1029,8–1146,7 dm³/(m²·s). Ir, priešingai, mažiausiai laidūs orui R₆₁₆₀ varianto audiniai, kurių laidumas orui kinta 228,2–256,1 dm³/(m²·s), rišiklio koncentraciją didinant nuo 20 iki 95 g/l. Atliekant rezultatų palyginamąją analizę matoma, kad didėjant ataudų tankumui, padengtų MK audinių laidumas orui sumažėja iki 784,9 dm³/(m²·s), kai rišiklio koncentracija 20 g/l, ir iki 912,9 dm³/(m²·s), kai rišiklio koncentracija 95 g/l, t. y. 76,2 ir 79,6 %. Lyginant audinių, padengtų MK, laidumo orui rezultatus, esant skirtingai rišiklio koncentracijai, su žaliais, kai ataudų tankumas 80 dm⁻¹, audinių laidumas orui sumažėjo 10,89–19,97 %, ir atitinkamai, kai ataudų tankumas 100 dm⁻¹, 120 dm⁻¹, 140 dm⁻¹ ir 160 dm⁻¹ – 24,71–31,09 %, 27,12–30,77 %, 34,24–44,52 %, 34,43–41,58 %. Išanalizavus ramės / medvilninių kilpinių audinių laidumą orui po padengimo mikrokapsulėmis, nustatyta, kad apdaila laidumui orui turėjo neigiamos įtakos audinių R₆₁₄₀I₂₀₋₉₅ ir R₆₁₆₀I₂₀₋₉₅ variantams, kurių paviršinis tankis didžiausias (AT – 140–160 dm⁻¹). Šiems rezultatams turėjo įtakos didelis ataudų tankumas, nulemiantis mažesnę audinio akytumą ir arčiau viena kitos išsidėsčiusias kilpas. Tokius tankius audinius paveikus MK apdaila, rišamosios medžiagos verpalai tarsi suklijuojami tarpusavyje. O mažiausias laidumo orui pokytis nustatytas R₆₈₀I₂₀₋₉₅ variantų audinių, palyginti su žalių audinių laidumu orui. Analizuodami MK apdailos įtaką tekstilės gaminių laidumui orui, Jaafar et. al. (2012) nustatė, kad mezginių, įmirkytų mikrokapsulėmis su Jojoba eteriniu aliejumi, akrilo pagrindo rišiklio koncentracijai esant 20 g/l, laidumas orui sumažėjo 6 %. Taip pat Lee ir Yi (2013) tyrinėjo medvilnės ir lajocelio mezginius, padengus MK, ir pastebėjo, kad laidumas orui sumažėjo atitinkamai 37–39 % ir 26–27 %.

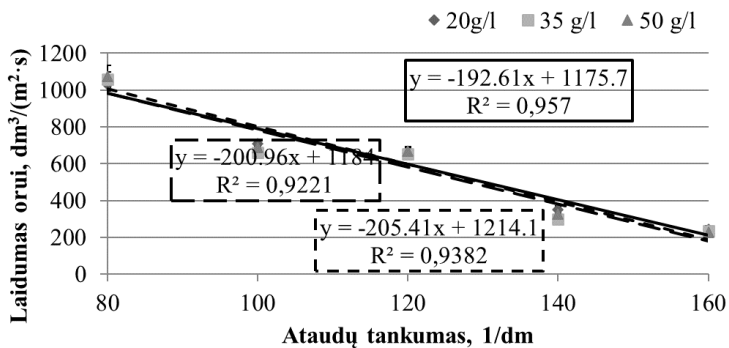


3.13 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių laidumas orui po MK apdailos

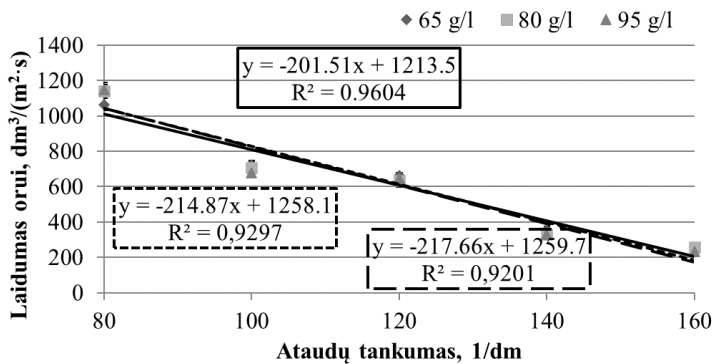
Pažymėtina ir kitų tyrėjų patirtis, kad mikrokapsulių apdaila turi neigiamos įtakos tekstilės gaminių laidumui orui. Son et al. (2014) į mezginių padengimo MK procesą įterpė minkštiklį. Jį naudojo dviejuose skirtinguose etapuose: vieniems bandiniams minkštiklį naudojo kartu MK padengimo metu, o kitus bandinius

minkštino po padengimo MK ir dažymo proceso. Rezultatai parodė, kad bandinių laidumas orui po dažymo ir MK apdailos proceso sumažėjo 6,9 %, minkštiklį naudojant kartu MK padengimo metu, laidumas orui sumažėjo 17,0 %, o, bandinius minkštinant po padengimo MK ir dažymo, laidumas orui sumažėjo 10,6 % (Son et al., 2014). Taigi, galima daryti prielaidą, kad tekstilinius gaminius minkštinti geriau po MK apdailos.

Atlikus kilpinių audinių R680-160I20-95 variantų matematinę analizę, esant skirtingoms rišklio koncentracijoms, nustatyta empirinė priklausomybė tarp laidumo orui ir paviršinio tankio. Rezultatus aprašant tiesine lygtimi, gauti aukšti apibrėžties koeficientai ($R^2 = 0,9201-0,9604$). Kilpinių audinių R680-160 variantų, esant skirtingoms rišklio koncentracijoms (20–95 g/l), laidumo orui rezultatai pateikti 3.14 paveiksle.



a)



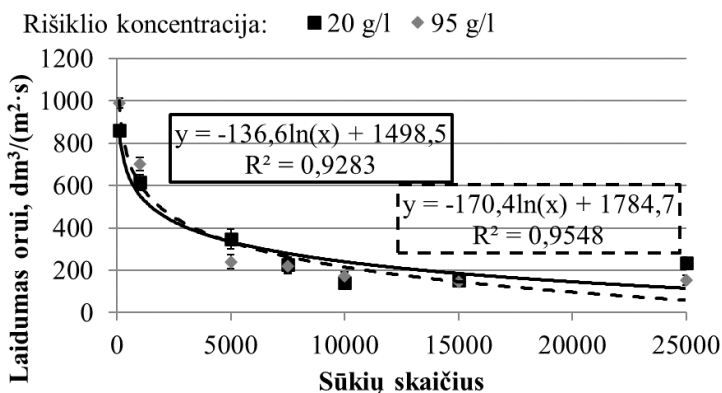
b)

3.14 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių laidumo orui priklausomybė nuo audinių ataudų tankumo esant skirtingoms rišklio koncentracijoms: a) 20 g/l, 35 g/l, 50 g/l; b) 65 g/l, 80 g/l, 95 g/l

Rezultatai rodo, kad kilpinių audinių padengimas MK ir riškliu veikia audinių struktūrą. Apdaila MK sumažina tarpus, esančius verpaluose ir tarp siūlų sistemų, audiniai susitraukia, ir padidėja jų paviršinis tankis. Dėl šių pokyčių sumažėja audinių pralaidumas orui.

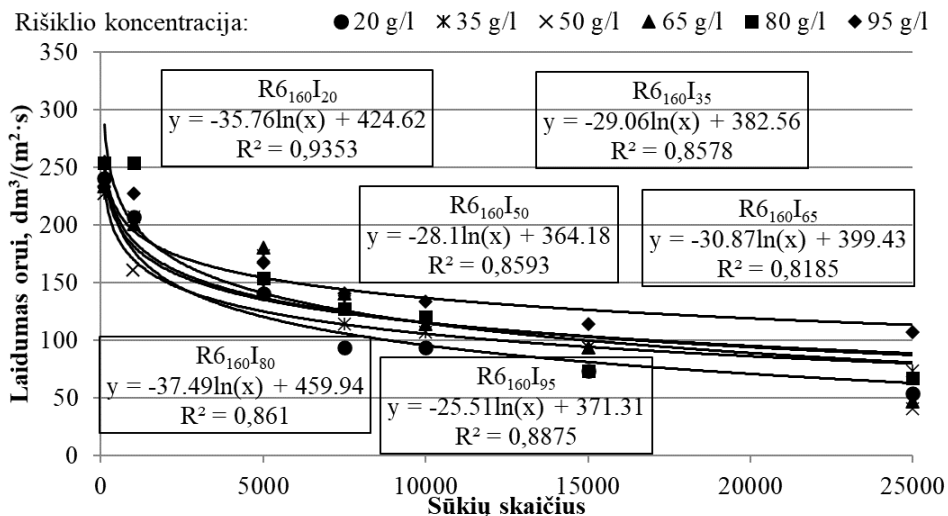
Padengtų MK kilpinių audinių laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo

Nustatant audinių laidumo orui priklausomybę nuo dilinimo ciklų skaičiaus, analizuoti R₆₈₀I₂₀, R₆₈₀I₉₅ variantai ir R₆₁₆₀I₂₀₋₉₅ bandinių grupė. Analizei pasirinkti audinių su 6 mm kilpos aukščiu ir 80 dm⁻¹ ataudų tankumu, tik mažiausios ir didžiausios rišiklio koncentracijos bandiniai dėl kitų eksperimento taškų didelės tyrimų rezultatų sklaidos. Bandymų metu pastebėjus laidumo orui pokyčius, jau po 100 sūkių įtrauktas papildomas eksperimento taškas. Audinių, padengtų MK, laidumas orui po 100 sūkių R₆₈₀I₂₀ ir R₆₈₀I₉₅ variantų sumažėjo atitinkamai 16,3 ir 13,8 %. O bandinių grupės R₆₁₆₀I₂₀₋₉₅ tik 0,5–2,9 %. Didesni laidumo orui pokyčiai nustatyti kilpinius audinius paveikus 1 000–25 000 sūkių skaičiumi. Nustatyta, kad R₆₈₀I₂₀ ir R₆₈₀I₉₅ variantų laidumas orui po 1 000 ir 25 000 sumažėjo apie 40 % ir iki 87 %, palyginti su mechaninio poveikio nepatyrusiais audiniais. Kilpinių audinių R₆₁₆₀I₂₀₋₉₅ variantų laidumas orui sumažėjo 1–30 % ir 54–82 %, atitinkamai po 1000 ir 25000 sūkių, palyginti su bandiniais, kurie nebuvo dildomi. Žalius audinius paveikus mechaniniu poveikiu, jų laidumas orui mažėja iki tam tikros ribos, vėliau, dilinimo metu pasišalinant pluoštui, laidumas orui pradeda didėti. Audinius padengus MK, ši tendencija pakinta, audiniai geba atlaikyti didesnę dilinimo ciklų skaičių iki pluoštui pradėdant pasišalinti. Tyrimų rezultatus palyginus su Veličkienės et al. (2014), kuri taip pat tyrė ramės / medvilninius audinius su 6 mm kilpos aukščiu ir 80 dm⁻¹ ir 160 dm⁻¹ ataudų tankumu, rezultatais, matoma, kad žali, paveikti mechaniniu poveikiu audiniai yra laidesni orui nei padengti MK. Nustatyta, kad padengtų MK audinių (RK 20-95 g/l, AT 80 dm⁻¹) laidumas orui sumažėja 37,6–45,3 % po 1 000 dilinimo ciklų ir 63,3–70,4 % po 10 000 dilinimo ciklų. Kilpinių audinių po dilinimo laidumas orui R₆₈₀I_{20,95} variantų kito 861,7–140,3 mm/s ir 988,6–147,0 dm³/(m²·s), atitinkamai esant 20 ir 95 g/l rišiklio koncentracijai. Atlikus rezultatų matematinę analizę nustatyta, kad R₆₈₀I₂₀ ir R₆₈₀I₉₅ variantams egzistuoja matematinis ryšys tarp laidumo orui ir dilinimo ciklų skaičiaus. Rezultatai aprašomi logaritmine lygtimi, apibrėžties koeficiento (R²) vertės pateiktos 3.15 paveiksle.



3.15 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių (AT – 80 dm⁻¹) laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo ciklų skaičiaus

Didesnio paviršinio tankio (AT – 160 dm⁻¹) audiniai turi didesnę atraminę paviršių ir didesnę kilpų skaičių, tankiai išsidėsčiusį abiejose audinio pusėse. Todėl tai turi įtakos audinio gebėjimui sudaryti kliūtį oro prasiskverbimui pro audinio akutes. Analizuojant audinius su 160 dm⁻¹ ataudų tankumu, buvo palyginti R6₈₀I₂₀ ir R6₁₆₀I₂₀, taip pat ir R6₈₀I₉₅ ir R6₁₆₀I₉₅ variantų laidumo orui rezultatai, esant 5 000, 10 000 ir 25 000 sūkių skaičiui. Nustatyta, kad audinių su 160 dm⁻¹ ataudų tankumu laidumas orui atitinkamai yra 30,56 %, 23,09 % ir 30,40 % mažesnis nei audinių su 80 dm⁻¹ ataudų tankiu, esant 95 g/l rišiklio koncentracijai. O, esant 20 g/l rišiklio koncentracijai, didesnio paviršinio tankio audinių laidumas orui yra mažesnis 59,61 %, 33,36 % ir 77,16 %, atitinkamai po 5 000, 10 000 ir 25 000 dilinimo ciklų. Iš rezultatų matoma, kad didelio paviršinio tankio audiniai, esant mažesnei rišiklio koncentracijai, dilinimo metu labiau susivelia ir taip padidina laidumo orui skirtumą, gaunamą ištyrus 80 dm⁻¹ ir 160 dm⁻¹ ataudų tankumo audinius. O maksimali rišiklio koncentracija didesnę dilinimo ciklų skaičių išlaiko taisyklingą, nepažeistą kilpų struktūrą.



3.16 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių (AT – 160 dm⁻¹) laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo ciklų skaičiaus

3.16 pav. pateiktos ramės / medvilninių R6₁₆₀I₂₀₋₉₅ audinių variantų laidumo orui empirinės priklausomybės nuo dilinimo ciklų skaičiaus. Šių audinių variantų laidumo orui ir sūkių skaičiaus priklausomybės aprašomos logaritminėmis lygtimis, kurių R² yra pakankamai aukšti ir įrodo, jog tarp šių kintamųjų egzistuoja stiprus ryšys.

Padengtų MK kilpinių audinių laidumo orui priklausomybė nuo skalbimo ir dilinimo procesų

Skalbimo procesas keičia tekstilės gaminių struktūrą, todėl kinta ir kitos medžiagų savybės. Siekiant ištirti kilpinių, padengtų MK ir skalbtų audinių laidumo

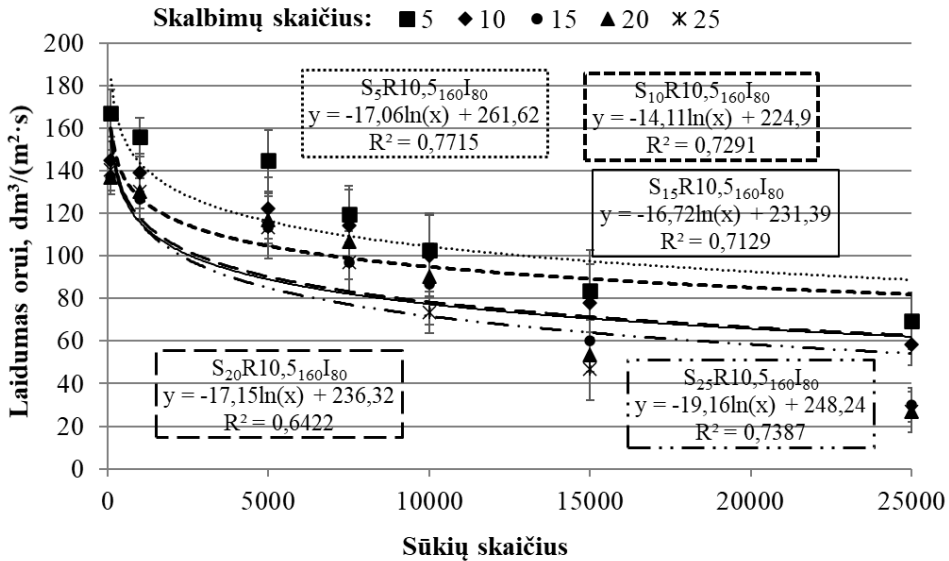
orui pokyčius po skalbimo proceso, buvo atlikti ramės / medvilninių kilpinių audinių su MK apdaila skalbimo proceso įtakos laidumo orui tyrimai. Šiems tyrimams buvo pasirinkta R10,5₁₆₀ bandinių grupė. Skalbimo procesas turi įtakos audinių santraukai, dėl to kinta paviršinis tankis. Ir, kaip žinoma, padidėjus audinių paviršiniam tankiui, laidumas orui sumažėja. Baltakytė ir Petrulytė (2008) nustatė, kad mišriapluoščių (kanapių / medvilnės) kilpinių audinių laidumas orui po skalbimo su plovikliu sumažėjo iki 3,1 kartų, palyginti su žalių audinių laidumu orui. Šiame disertaciniame darbe, siekiant ištirti laidumo orui pokyčius po skalbimo ir dilinimo procesų, buvo analizuojami ir lyginami žali (ZR10,5₁₆₀), padengti MK (R10,5₁₆₀I₈₀), skalbti (S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀) 5, 10, 15, 20 ir 25 skalbimo ciklus audiniai ir dilinti 100–25 000 dilinimo sūkliais.

Nustatyta, kad ramės / medvilninių kilpinių audinių ZR10,5₁₆₀ varianto laidumas orui 322,87 dm³/(m²·s). Padengus šiuos audinius MK, laidumas orui sumažėjo iki 178,13 mm/s, t. y. 1,8 karto. Audinių, padengtų MK, laidumas orui po skalbimo proceso sumažėjo 12,50 % ir 17,50 %, atitinkamai po 10 ir 25 skalbimo ciklų. Tai įrodo, kad apdaila mikrokapsulėmis sumažina skalbimo proceso įtaką kilpinių audinių laidumui orui.

Taigi, iš rezultatų matoma, kad padengimo MK procesas sumažina kilpinių audinių laidumą orui. MK rišamoji medžiaga sustandina kilpas, sumažina tarpus / akutes, esančius verpaluose / pluoštuose, todėl orui sunkiau prasiskverbti pro audinį. Nustačius padengtų MK audinių laidumo orui pokytį po skalbimo proceso, matoma, kad laidumas orui mažėja, didėjant skalbimų skaičiui, tačiau tai nėra toks ryškus pokytis, kaip laidumo orui sumažėjimas po padengimo MK. Skalbiant padengtus MK audinius, kilpos išlaiko stabilią formą, audinys nekeičia savo išvaizdos, tačiau yra mažiau laidus orui, palyginti su žaliu audiniu.

Nustatant padengtų MK ir skalbtų kilpinių audinių laidumo orui pokyčius po dilinimo, analizuoti S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų audiniai. Pastebėjus laidumo orui pokyčius po 100 sūkių, pradėti fiksuoti rezultatai. Laidumo orui mažėjimas pastebimas anksčiau negu įprastai, nes nuo trinties MK rišamoji medžiaga užklįjuoja verpaluose esančius tarpus. Analizuojant S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų rezultatus pastebėta, kad laidumas orui nuosekliai mažėja, didėjant sūkių skaičiui. Padengto MK audinio kilpos dilinimo metu pasišalina palaipsniui, ir net pasiekus 25 000 sūkių skaičių audinio pagrindas nėra pradildomas. Analizuojant, kaip kito audinių laidumas orui po tam tikro skalbimų skaičiaus, nustatyta ramės / medvilninių kilpinių audinių po 20 skalbimo ciklų mažiausia laidumo orui vertė – 26,72 dm³/(m²·s) (po 25 000 sūkių skaičiaus). O po 5 ir 10 skalbimų laidumas orui yra 61,60 % ir 54,29 % atitinkamai didesnis (po 25 000 sūkių). Matoma, kad, didėjant skalbimų skaičiui, audinys geba praleisti vis mažesnę oro srauto kiekį. Prie šios išvados priėjo ir kiti autoriai (Juciene et. al., 2006; Baltakytė ir Petrulytė, 2008).

Skalbtų (5–25 skalbimo ciklus) kilpinių audinių laidumas orui po dilinimo proceso (100–25 000 sūkių) kito nuo 167,00 iki 26,72 dm³/(m²·s). Skalbtų 25 skalbimo ciklus audinių laidumo orui rezultatus palyginus su neskalbtų, nustatyta, kad S₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ varianto laidumas orui yra 70,62 % mažesnis nei R10,5₁₆₀I₈₀. Nustatyta ramės / medvilninių kilpinių audinių po skalbimo proceso laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo ciklų skaičiaus, rezultatai pateikti 3.17 paveiksle.



3.17 pav. Skalbimų ramės / medvilninių kilpinių audinių (KA – 10,5 mm; AT – 160 dm⁻¹) laidumo orui priklausomybė nuo dilinimo ciklų skaičiaus

Skalbimų kilpinių audinių, laidumo orui matematinės priklausomybės pasižymi informatyvumu, ir rezultatai gali būti aprašomi polinominėmis lygtimis (apibrėžties koeficientas $R^2 = 0,6422 \div 0,7715$).

Apibendrinimas

Apibendrinat ramės / medvilninių kilpinių audinių laidumo orui analizės rezultatus galima teigti, kad apdaila mikrokapsulėmis sumažina audinių laidumą orui. Kilpinių audinių padengimas MK ir rišikliu veikia audinių struktūrą: sumažina tarpus, esančius verpaluose ir tarp siūlų sistemų, audiniai susitraukia ir padidėja jų paviršinis tankis. Palyginus padengtų MK kilpinių audinių laidumo orui rezultatus su žalių audinių laidumo orui rezultatais nustatyta, kad žali audiniai yra 10,89–44,52 % laidesni orui, esant 80–160 dm⁻¹ ataudų tankumui.

Dilinant padengus MK kilpinius audinius yra ardoma rišklio plėvelė, dengianti verpalo paviršių, kurios atplaišos lieka įstrigusios tarp verpalų ir neleidžia plaukeliams pasišalinti, todėl pastebimas laidumo orui sumažėjimas. Audinių R6₈₀I₉₅ po dilinimo proceso laidumas orui sumažėjo daugiau nei 80 %, o R6₈₀I₂₀ – daugiau nei 70 %.

Skalbimo procesas padidina audinių paviršinį tankį. Ramės / medvilninių kilpinių audinių, padengtų MK, skalbtų 25 skalbimo ciklus, laidumas orui sumažėjo apie 70 %, palyginti su padengtais MK nescalbtai audiniais.

3.2.5. Mikrokapsulių apdailos įtaka kilpinių audinių pūko kilpos atsparumui ištraukimui

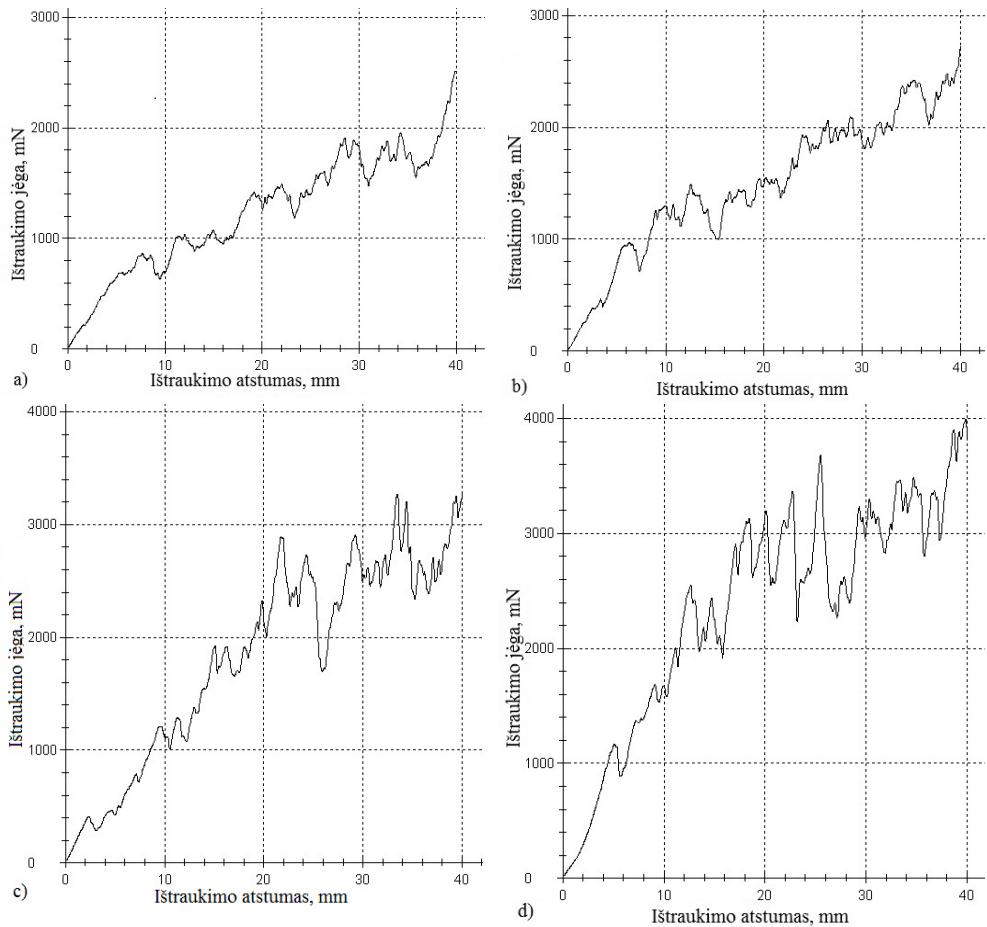
Viena pagrindinių kilpinių audinių problemų yra kilpinio metmens atsparumas ištraukimui, kuris turi įtakos audinio funkcionalumui ir neabejotinai – išvaizdai (Shanbeh et.al., 2012). Analizuojant literatūrą, šaltinių, susijusių su kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui, rasta nedaug. Autorių teigimu, siūlo ištraukimo jėga priklauso nuo audinio pynimo ir paviršinio tankio (Bisilik ir Korkmaz, 2011). Petrulytė et al. (2013) nustatė, kad kilpinio metmens ištraukimo jėga taip pat priklauso ir nuo kilpos aukščio, ataudų tankumo ir suteikiamos apdailos. Taip pat autoriai teigia, kad, esant kilpinio metmens verpalų nevienodumui (sustorėjimų ir suplonėjimų), kilpinio metmens ištraukimo metu atsiranda siūlo strigimo ir slydimo reiškinys. Šis reiškinys labiau būdingas lininiams verpalams, o ramės verpalas traukiamas iš audinio judėjo tolygiai (Petrulytė et al., 2013).

Skyriaus uždavinys – nustatyti kilpinių audinių su MK apdaila ir audinių su MK apdaila kilpinio metmens atsparumą ištraukimui po skalbimo proceso.

Kilpinio metmens atsparumui ištraukimui analizuoti buvo pasirinkti ramės / medvilninių kilpinių audinių R6₈₀₋₁₆₀I₂₀₋₉₅ ir S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantai. Analizuojant kilpinio metmens ištraukimo jėgą, daryta prielaida, kad, traukiant verpalą iš audinio, verpalų skerspjūvio forma nekinta ir ištįsa yra nereikšminga. Ši prielaida pagrįsta tuo, kad ramės verpalai yra mažos ištįsos, o verpimo metu suteiktas sukris išlaiko stabilų verpalų skerspjūvį.

Padengtų MK kilpinių audinių kilpinio metmens atsparumo ištraukimui priklausomybė nuo ataudų tankumo ir rišiklio koncentracijos

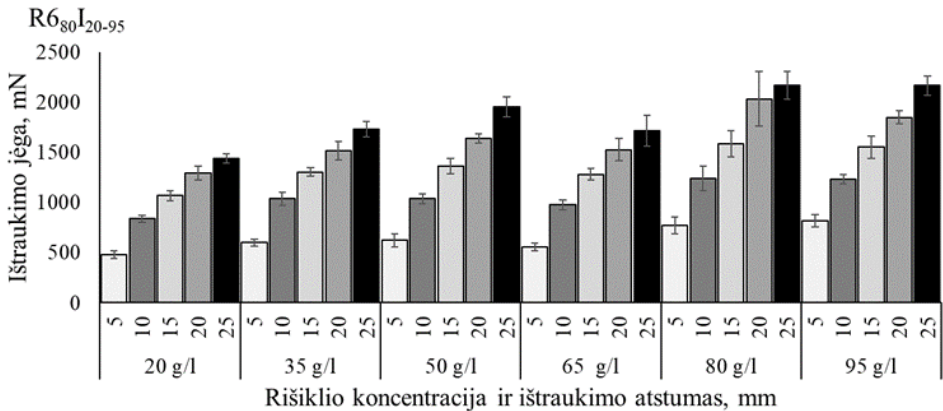
Nustatant kilpinio metmens atsparumą ištraukimui priklausomai nuo ataudų tankumo ir rišiklio koncentracijos, buvo analizuoti audiniai, kurių kilpos aukštis 6 mm, o ataudų tankumas – skirtingas: nuo 80 dm⁻¹ iki 160 dm⁻¹. 3.18 pav. pateiktos charakteringos ramės / medvilninių kilpinių audinių kilpos ištraukimo kreivės, esant skirtingam ataudų tankumui ir rišiklio koncentracijai. Iš pateiktų kreivių matoma, kad, esant mažiems ataudų tankumui ir rišiklio koncentracijai (a), kilpinis metmuo traukiamas gana tolygiai, palyginti su didelio tankumo audiniu (d), kuriam padengti MK buvo naudota 95 g/l rišiklio koncentracija. Iš pastarosios kreivės matomas ryškus ištraukimo jėgos padidėjimas ir išryškėjęs siūlo slydimo / strigimo pobūdis.



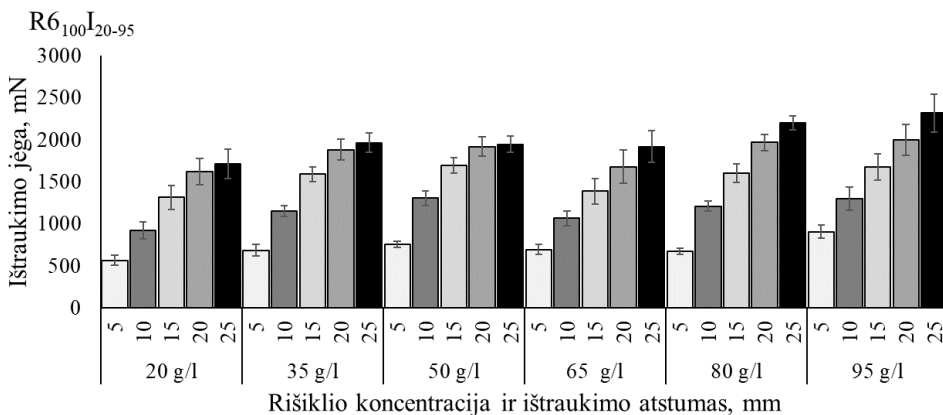
3.18 pav. Ramės / medvilniųjų kilpinių audinių būdingos kilpos ištraukimo kreivės:
a) R₆₈₀I₂₀ varianto; b) R₆₈₀I₉₅ varianto; c) R₆₁₆₀I₂₀ varianto; d) R₆₁₆₀I₉₅ varianto

R₆₈₀₋₁₆₀I₂₀₋₉₅ audinių variantų kilpos atsparumo ištraukimui rezultatai pateikti 3.19 paveiksle. Analizuojant ramės / medvilniųjų kilpinių audinių R₆₈₀₋₁₆₀I₂₀₋₉₅ variantų kilpinio metmens ištraukimo rezultatus, pastebėta, kad ištraukimo jėga kinta nuo 299,1 iki 3456,7 mN, esant 5–25 mm ištraukimo intervalui. Mažiausia kilpos ištraukimo jėga buvo nustatyta R₆₁₂₀I₂₀ audinio varianto (ištraukimo intervalas 5 mm). Tikėtina, kad toks rezultatas gautas dėl audinio sandaros nevienodumo. Kaip ir tikėtasi, didžiausia ištraukimo jėga nustatyta ištyrus audinio R₆₁₆₀I₉₅ variantą (ištraukimo intervalas 25 mm), nes jo ataudų tankumas yra didžiausias ir MK apdailai naudota maksimali rišiklio koncentracija. Kilpą traukiant iš tankaus audinio, siūlui reikia įveikti didesnę pasipriešinimą sąveikaujant su daugiau metmenų ir ataudų sankirtos taškų. Neabejotinai ištraukimo jėgą padidina rišiklio koncentracija, turinti įtakos verpalų tarpusavio sukibimui. Analizuojant kilpos ištraukimo jėgą priklausomai nuo rišiklio koncentracijos, esant ataudų tankumui 80–160 dm⁻¹, kai ištraukimo intervalas 10 mm, nustatyta, kad jėga padidėjo 37,9, 32,2, 39,9, 59,5, 40,3 ir 41,8 %, kai rišiklio koncentracija atitinkamai buvo 20, 35, 50, 65, 80 ir 95 g/l. Šią

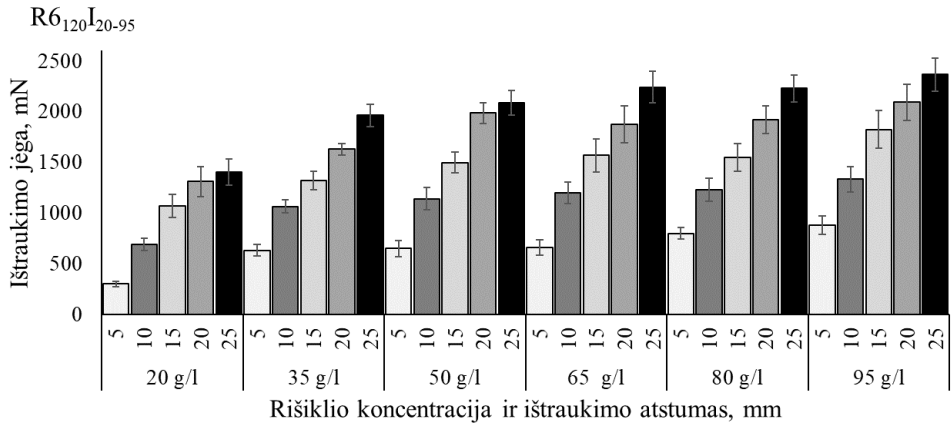
prielaidą patvirtina ir Bisilik ir Korkmaz (2011), analizavę audinius, sudarytus iš dviejų siūlų sistemų ir išaustų skirtingais pynimais. Autoriai nustatė, kad siūlas, traukiamas iš audinio metmenų kryptimi, patiria didesnę pasipriešinimą nei traukiamas ataudų kryptimi, nes audinių metmenų tankumas 38 cm^{-1} , o ataudų tankumas 18 cm^{-1} . Esant didesniam tankumui, verpalai išsidėsto arčiau vienas kito ir, traukiant siūlą iš audinio, jį veikia didesnė trinties jėga, todėl ištraukimui sunaudojama daugiau energijos. Lyginant kilpos ištraukimo jėgos rezultatus priklausomai nuo rišiklio koncentracijos (ištraukimo intervalas 5–25 mm) matoma, kad, esant RK 20 g/l, kilpos ištraukimo jėga kinta nuo 479,0 iki 1437,8 mN, o koncentraciją padidinus iki 95 g/l, ištraukimo jėga – nuo 816,5 iki 2165,6 mN. Kaip matoma iš diagramų, pateiktų 3.19 ir 3.20 pav., didėjant kilpos ištraukimo intervalui, reikalinga vis didesnė jėga, nepriklausomai nuo to, kokia rišiklio koncentracija buvo naudota padengimo proceso metu. Be to, palyginus R₆₈₀I₂₀ ir R₆₈₀I₉₅ variantus, matoma, kad kilpos ištraukimo jėga padidėjo apie 50 % (ištraukimo intervalas 25 mm).



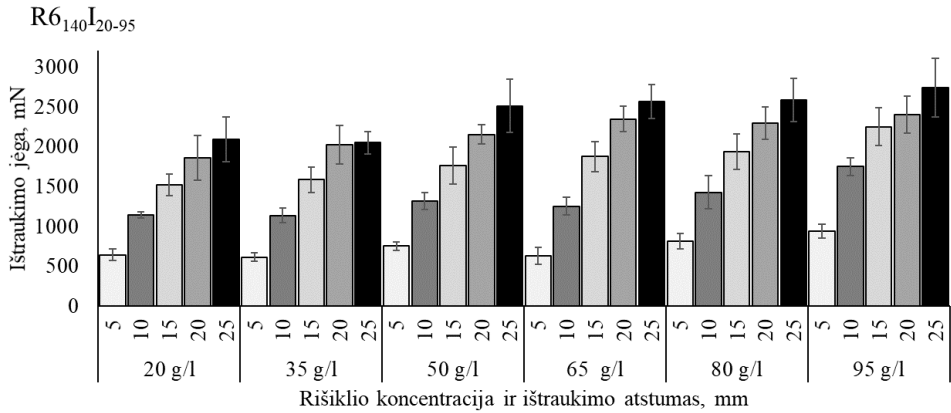
a)



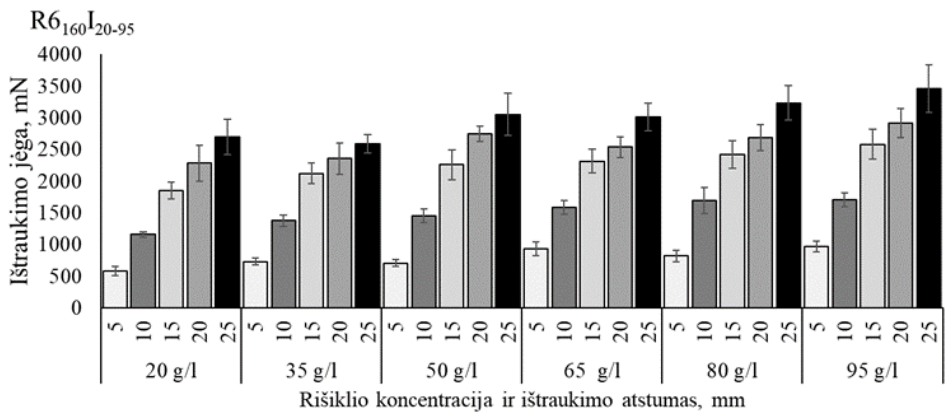
b)



c)



d)

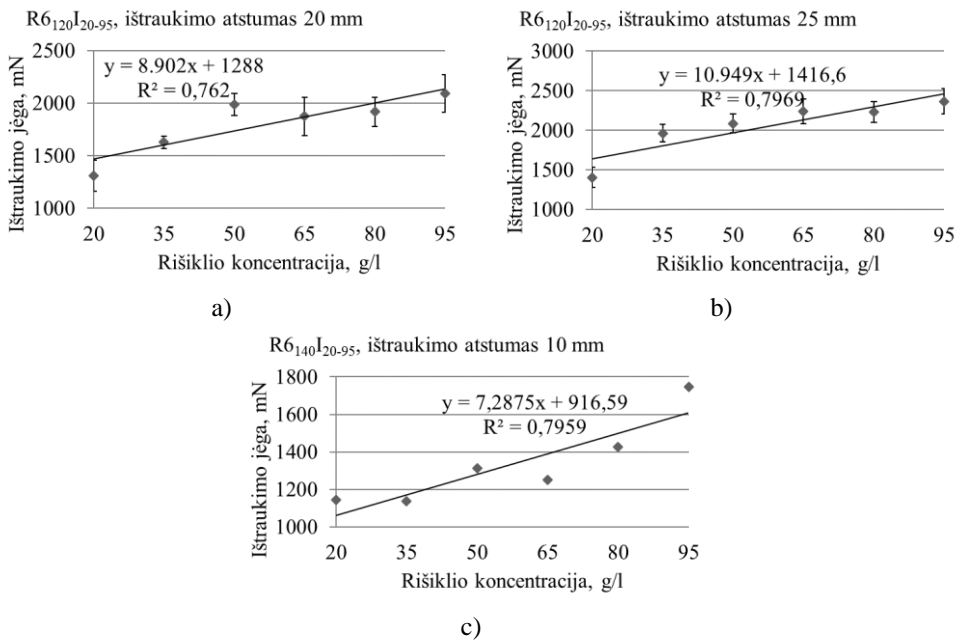


e)

3.19 pav. Kilpinių audinių $R_{680-160I_{20-95}}$ variantų kilpinio metmens ištraukimo jėgos priklausomybė nuo rišiklio koncentracijos

Palyginus ramės / medvilninių kilpinių audinių, padengtų MK, pūko kilpos ištraukimo jėgos rezultatus priklausomai nuo ataudų tankumo (ištraukimo intervalas 25 mm), nustatyta, kad 160 dm^{-1} tankumo audiniams naudojama 87,63 % didesnė jėga nei 80 dm^{-1} tankumo audiniams, esant 20 g/l rišiklio koncentracijai. O, esant 95 g/l rišiklio koncentracijai, ištraukimo jėga padidėja 59,62 %. Esant maksimaliai rišiklio koncentracijai, kilpos ištraukimo jėga padidėja mažiau, nes 80 dm^{-1} ataudų tankumo audiniai po padengimo proceso tampa standesni, ir dėl rišiklio sukibę verpalai sunkiau persislenka vienas kito atžvilgiu.

Atlikus audinių $R6_{120}I_{20-95}$ (ištraukimo intervalas 20 ir 25 mm) ir $R6_{140}I_{20-95}$ (ištraukimo intervalas 10 mm) variantų rezultatų matematinę analizę, nustatytas eksperimento informatyvumas, t. y. egzistuoja ryšys tarp kilpos ištraukimo jėgos ir rišiklio koncentracijos. Rezultatai aprašyti tiesinėmis lygtimis, apibrėžties koeficientai pateikti 3.20 pav. ir siekia $R^2 = 0,762\text{--}0,7969$.



3.20 pav. Kilpinių audinių $R6_{160}I_{20-95}$ variantų kilpinio metmens ištraukimo jėgos priklausomybė nuo rišiklio koncentracijos: a) $R6_{120}I_{20-95}$, kai kilpos ištraukimo intervalas 20 mm; b) $R6_{120}I_{20-95}$, kai kilpos ištraukimo intervalas 25 mm; c) $R6_{140}I_{20-95}$, kai kilpos ištraukimo intervalas 10 mm

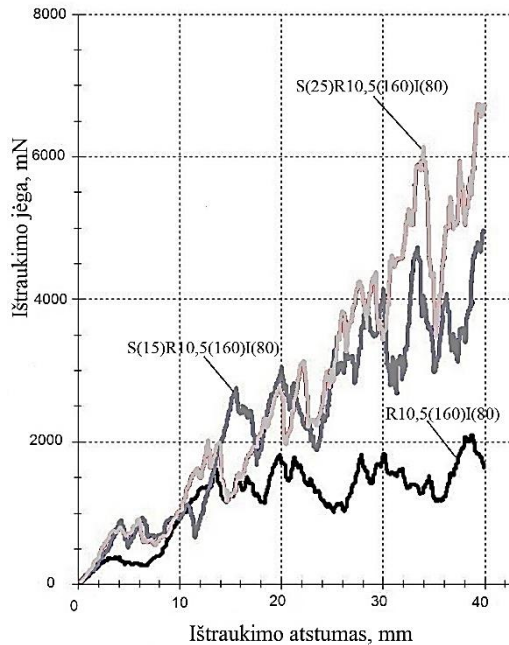
Įvertinant apdailos įtaką kilpos ištraukimui, buvo palyginti žali ir padengti MK kilpiniai audiniai. Žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių pūko kilpos atsparumo ištraukimui priklausomybę nuo ataudų tankumo analizavo Veličkienė (2016). Palyginus rezultatus pastebėta, kad žalių ir padengtų MK audinių kilpos atsparumo ištraukimui jėga priklauso nuo pasikeitusios audinio struktūros. Daugeliu atvejų MK apdaila padidino kilpos atsparumą ištraukimui, nes padidėjo audinio standumas, o nuo jo priklauso siūlų gebėjimas persislinkti metmenų ir ataudų sankirtos taškuose. Iš padengto MK audinio kilpinis metmuo išsitraukia sunkiau, nes atsiranda didesnė

trinties jėga, neleidžianti verpalams persislinkti vienas kito atžvilgiu. Todėl, palyginus padengtų MK ir žalių audinių kilpos ištraukimo jėgos rezultatus, gauta, kad mažiausiai kilpos ištraukimo jėgos vertės padidėjo 0,4–1,1 kartų, didžiausio ataudų tankumo (160 dm^{-1}) audinių, esant 20–95 g/l rišiklio koncentracijai. Didžiausias jėgos pokytis nustatytas 80–100 dm^{-1} ataudų tankumo audinių ir yra net 2,8–3,6 kartų, analizuojant 10 mm kilpos ištraukimo intervalą.

Apibendrinant galima teigti, kad kilpinio metmens atsparumui ištraukimui audinio struktūra turi reikšmingos įtakos. Padengus kilpinius audinius MK, kilpos atsparumas ištraukimui padidėja. Nustatyta kilpos ištraukimo jėgos priklausomybė nuo rišiklio koncentracijos patvirtinta matematinių modelių informatyvumu.

Padengtų MK kilpinių audinių kilpinio metmens atsparumo ištraukimui priklausomybė nuo skalbimo proceso

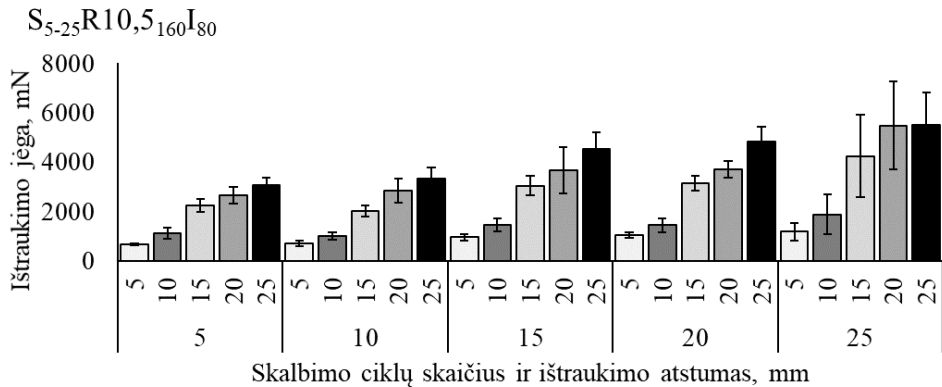
Nustatant kilpinio metmens ištraukimo jėgos pokyčio priklausomybę nuo skalbimo ciklų skaičiaus, buvo analizuoti ramės / medvilniniai kilpiniai audiniai, kurių kilpos aukštis 10,5 mm, o ataudų tankumas 160 dm^{-1} . Nustatyta žalių, padengtų MK ir padengtų / skalbtų 5–25 skalbimo ciklus audinių pūko kilpos ištraukimo jėga. Kaip žinoma, skalbimo procesas keičia kilpinio audinio struktūrą – audinys traukiasi, keičiasi kilpos forma, kilpas sudarančių verpalų pluoštai sukimba tarpusavyje, verpalai netenka dalies pluošto, ir audinys plonėja. Kintanti audinio struktūra turi įtakos kilpos ištraukimo procesui. Kaip minėta, kilpos atsparumui ištraukimui turi įtakos ataudų tankumas ir suteikiama audiniui apdaila. Kad skalbimo procesas didina pūko kilpos atsparumą ištraukimui, nustatė ir Petruolytė, Veličkienė ir Petrulis (2014), išanalizavę kilpinių audinių su lininiais kilpiniais metmenimis pūko kilpos ištraukimo priklausomybę nuo skalbimo trukmės, jie nustatė, kad 10 min. skalbimo procesas kilpos atsparumą ištraukimui padidino 1,7 kartų. Šiame disertaciniame darbe patvirtina minėta tendencija atsispindi 3.21 paveiksle.



3.21 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių būdingos kilpinio metmens ištraukimo kreivės po padengimo MK ir padengimo / skalbimo procesų

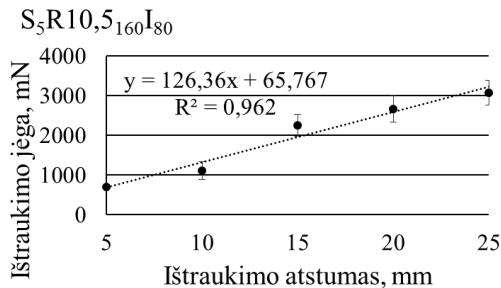
Siekiant įvertinti kilpos ištraukimo jėgos pokyčius po audiniams suteiktos apdailos, buvo nustatyta $R10,5_{160}I_{80}$ bandinių kilpos ištraukimo jėga prieš skalbimo procesą, kuri kito nuo 637,93 iki 2369,66 mN, kai ištraukimo intervalas 5–25 mm. Žalių $ZR10,5_{160}$ bandinių kilpos ištraukimo jėga kito nuo 306,24 iki 1609,27 mN, kai ištraukimo intervalas 5–25 mm. Audinio padengimo MK procesas kilpos ištraukimo jėgą padidino 2,1 ir 1,5 kartų, atitinkamai esant 5 ir 25 mm ištraukimo intervalui. Šiam jėgos padidėjimui neabejotinai turi įtakos rišiklis, nes jis suteikia audiniui standumo, sutvirtina ir greta esančius pluoštus, todėl jų tarpusavio kibumas padidėja.

Skalbimo procesas susideda iš keleto veiksnių, veikiančių audinio struktūrą, tai vandens, cheminis, šilumos ir mechaninis poveikiai. Po skalbimo proceso audinio kilpos tampa putlesnės, puresnės, sumažėja atstumai tarp jų. Analizuojant kilpinio metmens ištraukimo jėgos pokyčius po skalbimo (3.22 pav.) nustatyta, kad $S_{5-25}R10,5_{160}I_{80}$ variantų kilpos ištraukimo jėga kito nuo 694,93 iki 5516,79 mN, kai ištraukimo intervalas 5–25 mm. Be to, palyginus 10, 15, 20 ir 25 skalbimo ciklus skalbtų audinių kilpos ištraukimo jėgą su 5 kartus skalbtų audinių, rasta, kad kilpos ištraukimo jėga padidėjo atitinkamai 4,5 ir 8,8 %, 40,3 ir 47,1 %, 53,4 ir 57,6 %, 71,0 ir 79,4 %, kai ištraukimo intervalas 5 ir 25 mm.



3.22 pav. Ramės / medvilniinių kilpinių audinių kilpos ištraukimo priklausomybė nuo skalbimo ciklų skaičiaus, esant skirtingam kilpos ištraukimo intervalui

Atliekant rezultatų matematinę analizę nustatyta kilpos ištraukimo jėgos priklausomybė nuo kilpos ištraukimo intervalo po 5 skalbimo ciklų (3.23 pav). Gautas stiprus ryšys tarp kintamųjų aprašomas tiesine lygtimi, kai $R^2 = 0,962$.



3.23 pav. Kilpinio metmens ištraukimo jėgos priklausomybė nuo ištraukimo intervalo po 5 skalbimo ciklų

Išanalizavus kilpinio metmens ištraukimo jėgos rezultatus, nustatyta, kad skalbimo procesas padidina kilpos atsparumą ištraukimui. Kilpos ištraukimo jėga po 25 skalbimo ciklų didesnė 3,9–3,4 ir 1,9–2,3 karto, palyginti su žaliais ir padengtais MK audiniais, ištraukimo intervalui esant 5–25 mm.

Apibendrinimas

Mikrokapsulių apdaila padidina kilpinių audinių pūko kilpos atsparumą ištraukimui. Nustatyta, kad padengtų MK su eteriniu aliejumi kilpinių audinių pūko kilpos ištraukimo jėga didėja, didėjant kilpos ištraukimo intervalui. Taip pat kilpos atsparumas ištraukimui priklauso nuo audinio ataudų tankumo ir MK padengimo metu naudojamo rišiklio koncentracijos. Didžiausias pūko kilpos ištraukimo jėgos pokytis nustatytas 80–100 dm⁻¹ ataudų tankumo audinių ir yra net 2,8–3,6 karto, analizuojant 10 mm kilpos ištraukimo intervalą. Kilpos atsparumui ištraukimui turi įtakos

skalbimo procesas. Kilpinių audinių kilpos ištraukimo jėga po 25 skalbimo ciklų padidėjo daugiau nei tris kartus, palyginti su žalių audinių kilpos ištraukimo jėga.

3.3. Kilpinių audinių, padengtų mikrokapsulėmis, sorbcinių savybių tyrimas

Viena pagrindinių tekstilės gaminių iš kilpinių audinių funkcijų yra sugerti drėgmę, todėl moksliniuose tyrimuose plačiausiai analizuojamos kilpinių audinių sorbcinės savybės, t. y. statinė ir dinaminė absorbcijos, norint nustatyti, kokį skysčio kiekį geba sugerti audinys ar per kokį laiko tarpą sugertis įvyksta. Taip pat analizuojama vandens garų absorbcija, norint nustatyti, kaip audinys absorbuoja drėgmę iš aplinkos. Neabejotinai sorbcinėms savybėms turi įtakos audinio struktūra, pluoštinė sudėtis ir suteikta apdaila. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad kilpinių audinių gebėjimui absorbuoti skysčius įtakos turi kilpinius audinius sudarančių kilpinių metmenų kilpos aukštis, tankumas, verpalų ilginis tankis, pluošto rūšis, verpalų struktūra (sukris, gamybos būdas), akytumas ir kt. (Sing, Verma, 2017). Mokslininkų teigimu (Karahana, 2007; Karahana ir Eren, 2006; Karahana et al. 2005), kilpinių audinių statinė ir dinaminė absorbcijos priklauso nuo verpalų sudarančių kilpinius metmenis struktūros, taip pat įtakos turi audinio tankumas. Nustatyta, kad didžiausia statinės absorbcijos vertė yra suktinių žiedinio verpimo verpalų, palyginti su kitų rūšių verpalais (Karahana, Eren, 2006). Analizuojant medvilninių kilpinių audinių dinaminę absorbciją nustatyta, kad audinys apie 50–65 % vandens absorbuoja per pirmąsias 30 s, vėliau absorbcija lėtėja (Karahana, 2007). Kilpiniai audiniai neretai naudojami patalpose, kuriose gali būti aukštas santykinis drėgnis, todėl, norint užtikrinti dėvėjimo komfortą, svarbu nustatyti tokių medžiagų vandens garų absorbciją. O audinio džiūvimo greitis svarbus prognozuojant gaminio gebėjimą išdžiūti laikui bėgant. Kilpinių audinių džiūvimo procesas priklauso nuo pluoštinės sudėties, t. y. audinius sudarančių pluoštų morfologinės sandaros (Petrulytė ir Veličkienė, 2011).

Svarbu nustatyti, kaip kinta audinių sorbcinės savybės po įvairių audiniams suteikiamų apdailų. Šiam tikslui analizuotos kilpinių audinių sorbcinės savybės po MK padengimo proceso ir padengtų MK audinių po skalbimo proceso.

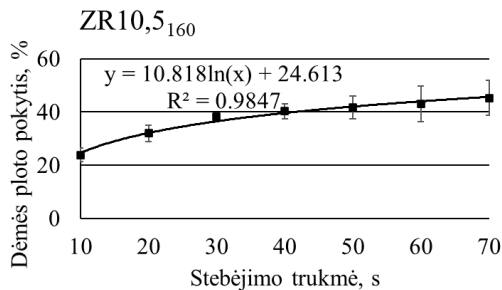
Skyriaus uždavinys – nustatyti ramės / medvilninių kilpinių audinių statinės ir dinaminės absorbcijų pokyčius, vandens garų absorbcijos pokyčius ir džiūvimo pokyčius po padengimo MK ir padengimo MK / skalbimo proceso.

3.3.1. Kilpinių audinių dinaminės vandens absorbcijos tyrimas

Kilpinių audinių dinaminės vandens absorbcijos analizei buvo pasirinkti ramės / medvilninių kilpinių audinių ZR10,5₁₆₀, R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantai. Tyrimų metu siekta nustatyti, kaip kinta sudėtingos sandaros audinių dinaminė absorbcija, suteikus audiniams MK apdailą, ir kokios įtakos turi audinių, padengtų MK, dinaminei absorbcijai skalbimo procesas. Buvo matuojamas užlašinto lašo dėmės ploto pokytis per laiko intervalus. Disertaciniame darbe analizuotas dėmės plotas nuo užlašinimo momento iki 70–80 s arba iki 600 s (R10,5₁₆₀I₈₀ varianto), nes šis absorbcijos laiko intervalas yra efektyviausias, t. y. nustatomi didžiausi dėmės

ploto verčių pokyčiai, palyginti su pradiniu momentu. Vėliau dinaminės absorbcijos procesas laikui bėgant lėtėja.

Analizuojant žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių dinaminės absorbcijos procesą, pastebėta, kad per pirmąsias 0–10 s vandens lašo absorbuojama daugiausia, t. y. dėmės plotas padidėjo 23,8 %, vėliau absorbcijos procesas lėtėja ir išsitiesia, kol visiškai baigiasi. Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių dinaminės absorbcijos reiškinį pastebėta, kad dėmės plotas reikšmingai nedidėja po 70 s. Dėl šios priežasties pasirinktas toks analizuojamo laiko intervalas. Lyginant su Baltakytės (2009) atliktais tyrimais, pastebima, kad audinys su ramės kilpiniais metmenimis greičiau geba sugerti vandens lašą, palyginti su audiniais su lininiais kilpiniais metmenimis, kurių dėmės plotas per pirmąsias 10 s padidėjo iki 7,4 %, esant 12 mm kilpos aukščiui. Ramės pluoštas yra labiau higroskopiškas nei linų. Analizuojant užlašinto lašo elgseną ant žalio ramės / medvilninio kilpinio audinio, pastebima, jog lašas savo apvalią formą praranda per pirmąsias kelias sekundes. Tolesnis absorbcijos procesas vyksta greitai, kol dėmės plotas nebekinta – stabilizuojasi. Kilpiniai audiniai daugiausia vandens absorbuoja per pirmąsias 10 s, ir iki 30 s stebėjimo trukmės absorbcijos procesas taip pat vyksta intensyviai. Tyrimų metu nustatyta, kad iki šio stebėjimo momento dėmės plotas padidėjo 38,3 %. Šią tendenciją patvirtino ir Karahan (2007), analizavęs medvilninius kilpinius audinius ir nustatęs, kad dinaminė absorbcija intensyviausia yra 0–10 s ir 10–30 s laiko intervaluose. ZR10,5₁₆₀ audinio varianto po 70 s stebėjimo trukmės dėmės plotas padidėjo iki 45,3 %, palyginti su pradiniu momentu (3.24 pav.). Tikėtina, kad tokiems dinaminės absorbcijos rezultatams turi įtakos kilpos aukštis (10,5 mm) ir ramės pluošto gebėjimas efektyviai įsisavinti drėgmę, nes aukštos kilpos sudaro didesnę tūrį, kuriuo absorbuojamas skystis, todėl dėmė mažiau plinta į šalis. Žalių kilpinių audinių dėmės plotas per visą stebėjimo trukmę kito nuo 72,6 iki 133,5 mm².

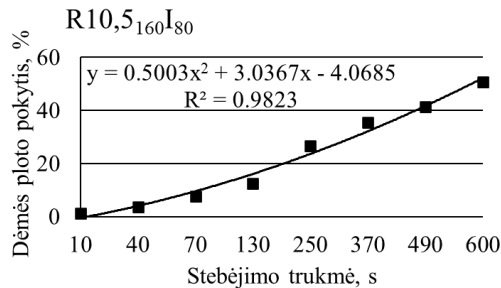


3.24 pav. Žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių dėmės ploto pokyčio priklausomybė nuo stebėjimo trukmės

Žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių dinaminės absorbcijos dėmės ploto pokyčio priklausomybė nuo laiko aprašyta logaritmine lygtimi (3.24 pav.), kurios apibrėžties koeficientas $R^2 = 0,9847$.

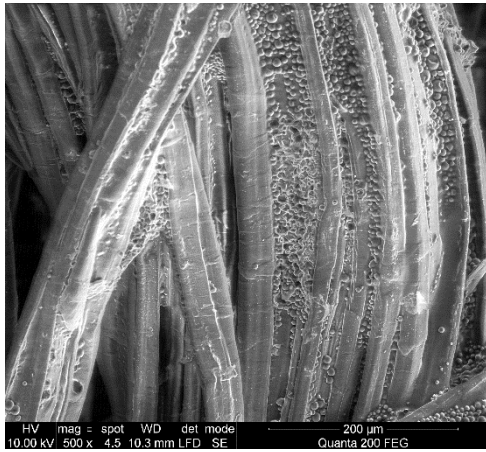
Padengus kilpinius audinius MK, sorbcinės savybės kinta. Tai patvirtina ir šiame disertaciniame tyrime atlikta kilpinių audinių, padengtų MK su eukaliptų eteriniu aliejumi, vandens dinaminės absorbcijos proceso analizė. Tyrimų metu

nustatyta, kad audinių su MK apdaila dinaminės absorbcijos procesas vyksta lėtai, todėl R10,5₁₆₀I₈₀ varianto absorbcijos procesas stebėtas iki 600 s. Nustatyta, kad užlašinto lašo dėmės plotas iki 26,6 % ir 53,7 % padidėja atitinkamai tik po 250 s ir 600 s, palyginti su pradiniu momentu. Esant lėtam audinių R10,5₁₆₀I₈₀ varianto dinaminės absorbcijos procesui, pasirinkta dėmės ploto pokyčio matematinę analizę atlikti 10, 40, 70, 130, 250, 370, 490 ir 600 s laiko intervalais. Filmavimo procesas analizuojant padengtų MK audinių dinaminę absorbciją leido nustatyti, kad užlašintas lašas ant audinio išlaiko apvalią formą iki 40 s, taigi dėmės plotas padidėja labai menkai – tik 3,5 %, ir galima sakyti, kad tai – tik lėtas lašo plitimas. Vėliau pastebimas lašo susigėrimas į audinio kilpinį paviršių, mažai sklindant į šalis. Taigi, padengtų MK audinių dinaminės absorbcijos procesas yra kitoks nei žalių audinių. Peržengus absorbcijos 70 s laiko ribą, lašas pradeda intensyviau skliti į šalis – nustatomas ryškesnis dėmės ploto pokytis, kuris, esant 130 s stebėjimo trukmei, yra 12,4 % didesnis, palyginti su pradiniu momentu (3.25 pav.). Perkopus šią stebėjimo trukmės ribą, absorbcijos procesas spartėja, nes vanduo prasiskverbia per rišiklį ir pasiekia pluoštą, o pluoštu dėmės plitimas vyksta sparčiau. Nors dėmės ploto nusistovėjimas grafike nepastebimas iki 600 s, tačiau, perkopus šią ribą, absorbcijos procesas lėtėja, iki kol dėmė stabilizuojasi. Analizuojant kilpinių audinių su MK apdaila dinaminės absorbcijos procesą nustatyta priklausomybė tarp dėmės ploto pokyčio ir stebėjimo trukmės aprašoma polinomine lygtimi. Ši lygtis pakankamai gerai aprašo analizuojamą intervalą, nes prognozuojamos reikšmės yra artimos realioms reikšmėms ir leidžia prognozuoti rezultatus tarpiniuose taškuose su pakankamai aukšta tikimybe. Šios lygties apibrėžties koeficientas $R^2 = 0,9823$.

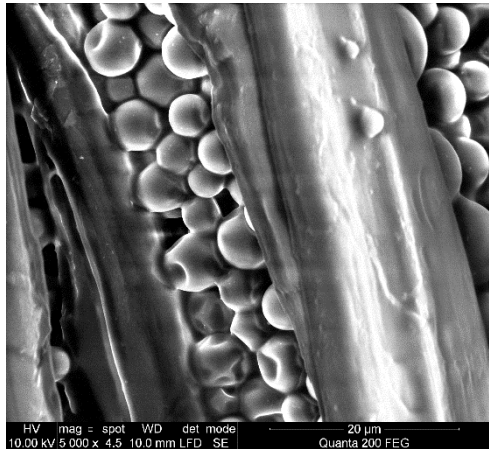


3.25 pav. Padengtų MK ramės / medvilninių kilpinių audinių dėmės ploto pokyčio priklausomybė nuo stebėjimo trukmės

Suteikus kilpiniams audiniams apdailą su MK pastebima, kad dinaminės vandens absorbcijos procesas vyksta lėtai, palyginti su žalių audinių absorbcija. Audinių padengimo MK metu tarpus, esančius verpaluose, ir plaukelių paviršių uždenia rišamoji medžiaga ir MK (3.26 pav.), taip sudarydamos kliūtį skysčiui įsiskverbti į pluošto vidinius sluoksnius. Dėl šios priežasties, stebint vandens lašo absorbciją į audinį, pirmosiomis 40 s matomas vandens lašo formos stabilumas. Padengtų MK kilpinių audinių dėmės plotas viso stebėjimo laikotarpio metu padidėjo nuo 38,4 iki 78,2 mm².



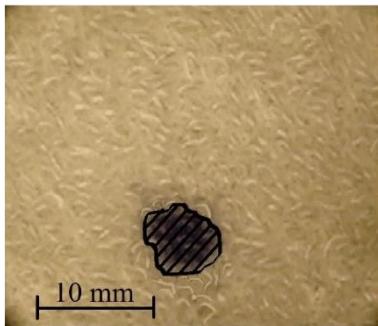
a)



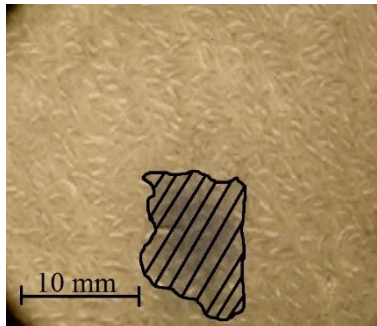
b)

3.26 pav. Ramės verpalo vaizdas po padengimo MK proceso

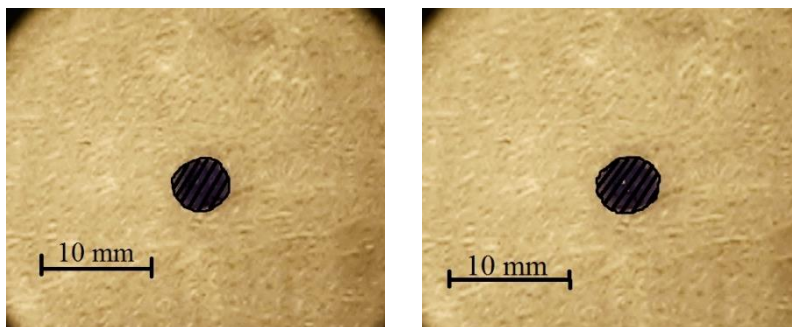
Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių dinaminę vandens absorbciją po padengimo MK, pastebima, kad dėmės ploto pokytis iki 10 s yra 1,2 %, didėjant stebėjimo trukmei iki 70 s, dėmės plotas padidėja iki 7,6 %, palyginti su pradiniu momentu. O, tiriant žalius audinius tą pačią stebėjimo trukmę (70 s), nustatyta, kad jų dėmės plotas yra 45,3 % padidėjęs, palyginti su pradiniu momentu. Palyginus padengtų MK audinių dėmės plotą pradiniu stebėjimo trukmės momentu su žalių audinių dėmės plotu, nustatyta, kad R10,5₁₆₀I₈₀ varianto dėmės plotas yra 47,1 % mažesnis nei žalių audinių dėmės plotas. Analizuojant dėmės plotų pokyčius po 70 s stebėjimo trukmės, nustatyta, kad žalių kilpinių audinių (ZR10,5₁₆₀) dėmės plotas yra 3,2 karto didesnis nei padengtų MK audinių (R10,5₁₆₀I₈₀). Ši tendencija matoma 3.27 pav., b ir d.



a)



b)



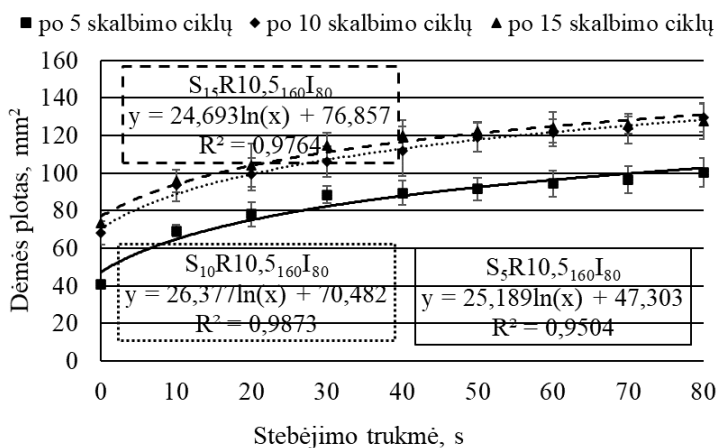
c)

d)

3.27 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių dėmės plotai: a) ZR10,5₁₆₀ varianto pradiniu momentu; b) ZR10,5₁₆₀ varianto po 70 s; c) R10,5₁₆₀I₈₀ varianto pradiniu momentu; d) R10,5₁₆₀I₈₀ varianto po 70 s

Dinaminei vandens absorbcijai turi įtakos skalbimo procesas, nes jo metu kinta audinio akytumas ir struktūra. Skalbimo metu audinį veikiant mechaniniu, temperatūros, cheminiu ir vandens poveikiais, pasikeičia kilpų forma, taip pat pasišalina dalis pluošto ir cheminių medžiagų, naudotų MK padengimo metu. Ramės / medvilninių kilpinių audinių dinaminės vandens absorbcijos tyrimai buvo atlikti S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų audinių, kurie buvo skalbti 5–25 skalbimo ciklus. Nustatant dinaminės absorbcijos pokyčius po skalbimo proceso, audinių absorbcijos tyrimai atlikti kas 5 skalbimo ciklus. Šiame bandymų etape analizuotas dėmės plotas nuo pradinio momento iki 80 s.

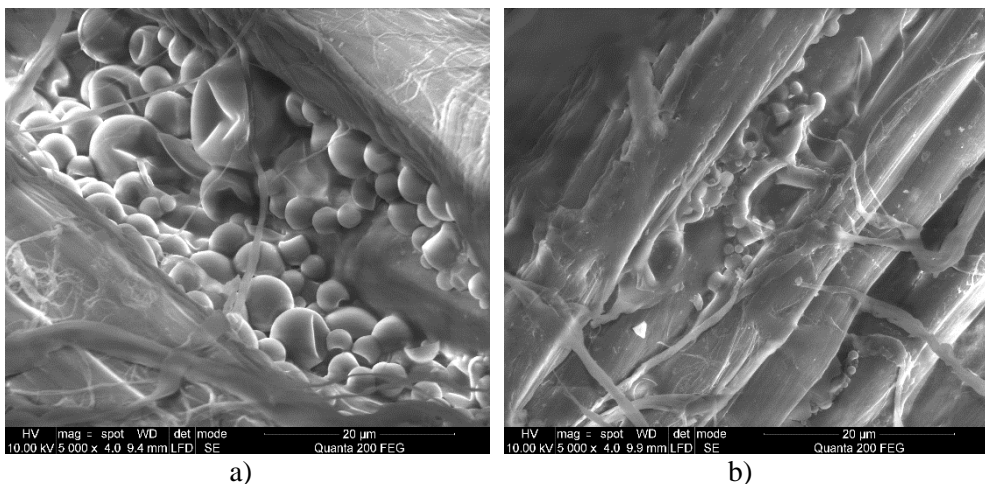
Iš 3.28 pav. matyti, kad audinių po 5, 10 ir 15 skalbimo ciklų dėmės plotas kinta nuo 40,6 iki 127,6 mm². Lyginant audinių po skalbimo proceso rezultatus pastebėta, kad dinaminės absorbcijos procesas po skalbimo yra didėjantis iki 10 skalbimo ciklų, o po 15 skalbimų absorbcija pradeda mažėti, t. y. dėmės plotas nustatytas mažesnis. Tokiems rezultatams gali turėti įtakos po daug skalbimo ciklų pakitusi audinio struktūra, prie audinio pagrindo priglundusios kilpos. Po 5 skalbimo ciklų pastebėtas absorbcijos padidėjimas 5,4 %, 43,9 %, 55,3 % ir 57,3 %, palyginti su R10,5₁₆₀I₈₀ variantu, atitinkamai pradiniu momentu, po 10 s, 30 s ir 80 s stebėjimo trukmės. Skalbimo proceso įtaka dėmės plotui nustatyta didesnė po 10 s stebėjimo trukmės: dėmės plotas padidėjo 41,4 %; o R10,5₁₆₀I₈₀ varianto tuo pačiu stebėjimo trukmės momentu dėmė padidėjo vos 1,2 %. Skalbimo proceso metu pašalinami vaškai ir kitos priemaišos, taip pat suardoma rišiklio plėvelė, dengianti siūlų paviršių (3.29 pav.), ir dėl šių priežasčių audinio sorbcinės savybės pagerėja, palyginti su R10,5₁₆₀I₈₀ variantu. Audinių, skalbtų 10 ir 15 skalbimo ciklų, dėmės plotas beveik priartėja prie žalių audinių dėmės ploto ir siekia atitinkamai 129,4 ir 127,6 mm². Analizuojant audinių po skalbimo S₁₀R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₁₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų dinaminę absorbciją, nustatyti didžiausi dėmės plotai.



3.28 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių dėmės plotas po 5, 10 ir 15 skalbimo ciklų

Pasiekus tam tikrą skalbimo ciklų skaičių, dinaminė vandens absorbcija pradeda mažėti. Tai patvirtina ir kiti tyrėjai (Singh, Behera, 2018). Jų teigimu, kilpinių audinių absorbcija, didėjant skalbimo ciklų skaičiui, sumažėja dėl didėjančio nutrūkusių kapiliarų skaičiaus ir audinyje atsirandančių oro tarpų (Singh, Behera, 2018). Šio disertacinio tyrimo metu kilpinių audinių dinaminė vandens absorbcija pradėjo mažėti po 15 skalbimo ciklų. Didėjant skalbimų skaičiui, iš audinio pasišalina vis daugiau pluošto ir kilpos pakeičia formą, priglunda prie audinio pagrindo, dėl šių priežasčių vandens lašas sunkiau sklinda audinio paviršiumi. Varianto $S_{15}R_{10,5}I_{160}I_{80}$ dėmės plotas (80 s stebėjimo momentu) nustatytas 1,4 % mažesnis, palyginti su $S_{10}R_{10,5}I_{160}I_{80}$ varianto. Audinių, patyrusių 15 skalbimo ciklų, dėmės plotas kito 73,4 iki 127,6 mm². Didėjant skalbimų skaičiui iki 20 ir 25, absorbcija (80 s stebėjimo momentu) atitinkamai sumažėjo 18,2 % ir 22,9 %, palyginti su 10 skalbimo ciklų patyrusiais bandiniais.

Kilpinių audinių po 20 ir 25 skalbimo ciklų ($S_{20,25}R_{10,5}I_{160}I_{80}$) variantų dėmės plotas, esant skirtingiems stebėjimo trukmės intervalams, kinta statistiškai nereikšmingai. Nustatyta, kad šių bandinių dėmės plotas po 80 s padidėjo nuo 80,9 mm² iki 105,9 mm² ir nuo 62,3 mm² iki 99,8 mm², atitinkamai bandinių, skalbtų 20 ir 25 skalbimo ciklus.



3.29 pav. Ramės verpalų SEM nuotraukos po skalbimo proceso: a) po 5 skalbimo ciklų ; b) po 25 skalbimo ciklų

Analizuojant ramės verpalų SEM vaizdus (3.26 pav. ir 3.29 pav.) po padengimo MK proceso ir padengimo MK / skalbimo procesu, matoma, kad mikrokapsulės prisitvirtinusios prie verpalų paviršiaus. Mikrokapsulės po padengimo proceso (R10,5₁₆₀I₈₀ varianto, 3.26 pav.) yra sferiškos formos ir be pažeidimų, vietomis dengiančios didelę dalį verpalų paviršiaus ir vietomis įsiterpusios į verpalų tarpus, verpalų paviršius padengtas rišikliu. Po 5 skalbimo ciklų (3.29 pav., a, S₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantas) matoma MK pažeidimų, didžios MK subliuškusios ir galimai netekusios savo savybių, tačiau dauguma mažųjų MK vis dar išlikusios nepažeistos – sferiškos formos. Skalbimo procesas rišamosios medžiagos plėvelę, esančią verpalų paviršiuje, suardo, ir ji išlieka tarsi gijinis tinklas, apraizgęs verpalų paviršius. Po 25 skalbimo ciklų (3.29 pav., b, S₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantas) ramės verpalų paviršiuje aptinkama nedaug MK. Šios įsitvirtinusios verpalų tarpuose ir turi pažeidimų. Matoma suardytos rišiklio plėvelės likučių. Tačiau net po 25 skalbimo ciklų aptinkama išlikusių mikrokapsulių, kurios gali atpalaiduoti savo veikliąją medžiagą audinio eksploatavimo metu. Tokie rezultatai patvirtina labai gerą MK įsitvirtinimą kilpiniame audinyje, o MK išlikimas rodo, kad audinio funkcionalumas nebus prarandamas net ir po daugelio skalbimų ciklų. Taigi audinys išlaikys eterinio aliejaus kvapą.

Apibendrinimas

Analizuojant ramės / medvilninių kilpinių audinių dinaminės absorbcijos procesą pastebima, jog ant žalio audinio užlašintas lašas savo apvalią formą praranda per pirmąsias kelias sekundes, nes neapdoroto audinio kilpos yra taisyklingos formos ir stačios audinio pagrindu, todėl vandens lašas kilpomis sklinda greitai. Daug lėčiau procesas vyksta tiriant padengtus mikrokapsulėmis audinius, čia lašas savo formą išlaiko iki 40 s: rišikliui ir MK padengus verpalų paviršius, lašas nepersigeria iki pluošto dar tam tikrą laiką. Žalių audinių absorbcijos procesas vyksta ganėtinai greitai, vandens lašas absorbuojamas per pirmąsias 10 s, ir iki 30 s stebėjimo laikotarpio

absorbcijos procesas taip pat vyksta intensyviai. Tyrimų metu nustatyta, kad iki šio stebėjimo momento (30 s) dėmės plotas padidėjo 38,3 %. Audinio ZR10,5₁₆₀ varianto po 70 s stebėjimo trukmės dėmės plotas padidėjo iki 45,3 %, palyginti su pradiniu momentu. Tokius dinaminės absorbcijos rezultatus galėjo nulemti kilpos aukštis (10,5 mm) ir ramės pluošto gebėjimas intensyviai absorbuoti drėgmę, nes aukštos kilpos sudaro didesnę paviršiaus tūrį absorbuojantį skystį, todėl dėmė mažiau plinta į šalis – skystis skverbiasi kilpomis į audinio vidinius sluoksnius. Žalių kilpinių audinių dėmės plotas per visą stebėjimo trukmę kito nuo 72,6 iki 133,5 mm².

Padengtų MK audinių dinaminės absorbcijos procesas vyksta lėtai, ir dėmės ploto kitimas fiksuojamas iki 600 s. Tyrimų metu nustatyta, kad dėmės ploto pokytis iki 10 s yra 1,2 %, didėjant stebėjimo trukmei iki 70 s, dėmės plotas padidėja iki 7,6 %, palyginti su pradiniu momentu. Verpalo paviršių dengiantis rišiklis neleidžia vandens lašui pasiekti pluošto, dėl to pastebimas gana lėtas absorbcijos procesas iki 130 s stebėjimo trukmės. Vos tik lašas prasiskverbia pro rišiklį, prie pluošto absorbcijos procesas suintensyvėja, kol stabilizuojasi. Kilpinių audinių R10,5₁₆₀I₈₀ varianto dėmės plotas per visą stebėjimo trukmę kito nuo 38,4 iki 78,2 mm².

Nustatant padengtų MK audinių dinaminės absorbcijos pokyčius po skalbimo pastebėta, kad dinaminės absorbcijos procesas yra didėjantis iki 10 skalbimo ciklų, o po 15 skalbimų absorbcija pradeda mažėti. Po 5 skalbimo ciklų absorbcija padidėja 43,9 % ir 57,3 %, palyginti su R10,5₁₆₀I₈₀ variantu, atitinkamai po 10 s ir 80 s stebėjimo trukmės, nes skalbimo metu šalinama verpalo paviršių dengianti rišamoji medžiaga ir vandens lašas gali lengviau susigerti į audinį. Po 10 skalbimo ciklų dėmės plotas po 10 s stebėjimo trukmės padidėjo 41,4 %, palyginti su R10,5₁₆₀I₈₀ variantu. Bandinių po 20 ir 25 skalbimo ciklų dėmės plotas po 80 s padidėjo nuo 80,9 mm² iki 105,9 mm² ir nuo 62,3 mm² iki 99,8 mm². Skalbimo proceso metu kilpiniai audiniai patiria vandens, mechaninį, šilumos bei cheminį poveikį, kurie turi įtakos audinių sandaros ir kilpų struktūros pokyčiams: audinys netenka pluošto ir kilpos tampa netaisyklingos formos ir prigludusios prie audinio paviršiaus, todėl dinaminė absorbcija sumažėja.

3.3.2. Kilpinių audinių statinės vandens absorbcijos tyrimas

Kilpinių audinių statinė vandens absorbcija priklauso nuo audinio paviršinio tankio ir audinį sudarančių siūlų pluoštinės sudėties ir struktūros. Audinio paviršinis tankis turi tiesioginę įtakos audinio gebėjimui absorbuoti skysčius, didėjantis audinio paviršinis tankis padidina statinę vandens absorbciją (Zervent, Koc, 2006). Tyrėjai Karahan ir Eren (2006), analizuodami medvilninių kilpinių audinių statinės absorbcijos priklausomybę nuo kilpos aukščio, metmenų ir ataudų tankumo ir verpalų struktūros, padarė išvadą, kad vis dėlto didžiausią įtaką statinei absorbcijai turi verpalų struktūra, o mažiau statinei absorbcijai turi įtakos audinio struktūra (kilpos aukštis, ataudų ir metmenų tankumas) (Karahan, Eren, 2006). Panašius rezultatus gavo tyrėjai Singh ir Ram (2020), nustatę, jog geresnės absorbcinės savybės yra audinių, kurių kilpiniai metmenys yra suktiniai medvilnės verpalai, o ne pirminiai medvilnės verpalai (Singh, Ram, 2020). Suktinių verpalų statinės absorbcijos savybės geresnės, nes šie dėl sukrio yra stabilesni, kilpos išlieka statmenos audinio paviršiui

ir nepersisuka, taip pat šios rūšies verpalai turi daugiau oro tarpų (Behera, Sing, 2014, 2015). Svarbų vaidmenį audinio sorbcinėms savybėms turi kilpos aukštis. Literatūros šaltiniuose teigiama, jog, didinant kilpos aukštį, gerinama audinio statinė absorbcija (Madhuri et al., 2017, Petrulytė, Baltakytė, 2009a, Sekerden, 2012a, Behera, Singh, 2014).

Siekiant nustatyti kilpinių audinių statinės absorbcijos pokyčius po padengimo MK ir padengimo MK / skalbimo procesų, buvo lyginami audinių R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantai su žalių audinių ZR10,5₁₆₀ variantu.

Statinei vandens absorbcijai turi įtakos ne tik audinio struktūra, bet ir jiems suteikta apdaila (skalbimas, minkštinimas, tumbleravimas ir kt.) (Petrulytė, Baltakytė, 2009a). Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių statinės absorbcijos tyrimą, nustatyta, kad žalių ZR10,5₁₆₀ varianto audinių absorbcija yra 446,9±25,6 %, padengtų MK R10,5₁₆₀I₈₀ varianto – 279,8±26,7 %. Kaip matoma iš tyrimų rezultatų, po padengimo MK audinių absorbcija sumažėjo 37,4 %, nes MK ir rišamoji medžiaga uždengia verpalo paviršių ir tarpus juose, todėl vanduo sunkiau patenka į vidinius verpalų sluoksnius. Skalbimo procesas keičia audinio struktūrą ir suardo rišiklio plėvelę, paversdamas ją į nuoplaisas (3.29 pav.). Sumažėjus rišiklio dengiamam plotui, vanduo lengviau patenka į verpalo vidinius sluoksnius, ir statinė absorbcija padidėja. Tačiau, analizuojant audinių S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų statinę absorbciją, nustatyta, kad, didėjant skalbimo ciklų skaičiui nuo 5 iki 25, absorbcija mažėjo nuo 287,8 iki 279,4 %. Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių statinės vandens absorbcijos rezultatų statistinę analizę nustatyta, kad santykinė paklaida yra nuo 6,6 % iki 13,9 %, variacijos koeficientas nuo 5,3 % iki 11,8 %.

3.4 lentelė. Ramės / medvilninių kilpinių audinių statinės vandens absorbcijos rezultatai po skalbimo

Variantas	S ₅ R10,5 ₁₆₀ I ₈₀	S ₁₀ R10,5 ₁₆₀ I ₈₀	S ₁₅ R10,5 ₁₆₀ I ₈₀	S ₂₀ R10,5 ₁₆₀ I ₈₀	S ₂₅ R10,5 ₁₆₀ I ₈₀
W _{st} , %	287,8±18,8	285,8±39,5	281,2±31,8	280,5±24,1	279,4±30,6

Kilpinių audinių, padengtų MK, statinė absorbcija po 5 skalbimo ciklų padidėjo 2,9 %, palyginti su padengtais MK / neskalbtais audiniais, nes po skalbimo procedūros suardoma rišiklio plėvelė, audinys tampa higroskopiškesnis. Nustatyta, kad statinė vandens absorbcija mažėja didėjant skalbimo ciklų skaičiui. Analizuojant literatūrą pastebėtos kelios nuomonės apie skalbimo proceso įtaką statinei absorbcijai. Dauguma tyrėjų (Petrulytė, Baltakytė, 2009a, Frontczak-Wasiak, Snycerski, 2004) teigia, kad skalbimo procesas gerina audinio sorbcines savybes, o kiti (Behera, Singh, 2014) teigia, kad po tam tikro skalbimų skaičiaus absorbcija blogėja. Tai priklauso nuo skalbimo ciklų skaičiaus ir naudojamų cheminių medžiagų, be to, rezultatams turi įtakos skirtingos tyrimų sąlygos ir skirtingi audiniai. Petrulytė ir Baltakytė (2009a) teigia, kad kilpinių audinių statinę absorbciją didina skalbimo ir minkštinimo procedūros, manoma, kad tai nulemia pluoštų brinkimas ir mažėjantys tarpai tarp jų. Pabrėžtina tai, kad skalbimo proceso įtaka audiniams analizuota atlikus vieną skalbimo bandymą, keičiant skalbimo trukmę, todėl audiniai patiria mažesnę cheminį, mechaninį ir terminį poveikį nei audiniui patiriant keletą skalbimo ciklų. Frontczak-Wasiak ir Snycerski (2004) tyrimais nustatė, kad skalbimo procesas gali skirtingai

veikti audinių sorbcines savybes, t. y. vienu audinių absorbciją padidinti, o kitų sumažinti, priklausomai nuo audinio pluoštinės sudėties.

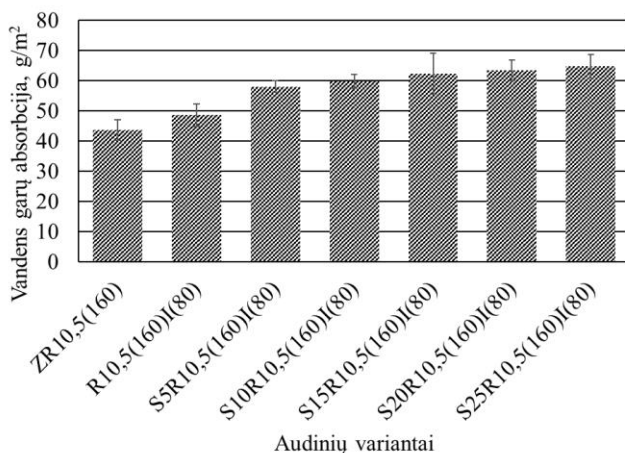
Apibendrinimas

Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių statinės vandens absorbcijos tyrimus, nustatyta, kad audinių padengimas MK absorbciją sumažina 37,4 %, palyginti su žalių audinių absorbcija. Kilpiniams audiniams atlikus skalbimo procedūrą, pastebimas absorbcijos padidėjimas: po 5 skalbimo ciklų absorbcija padidėjo 2,9 %, palyginti su padengtų MK / neskaltų audinių. Didinant skalbimo ciklų skaičių iki 25, kilpinių audinių absorbcija mažėja. Statinei vandens absorbcijai turi įtakos skalbimo procesas, nes jo metu kinta audinio akytumas ir struktūra. Skalbimo metu audinį veikiant mechaniniu, temperatūros, cheminiu ir vandens poveikiais, pasikeičia kilpų forma, taip pat pasišalina dalis pluošto ir cheminių medžiagų, naudotų MK padengimo metu.

3.3.3. Kilpinių audinių vandens garų absorbcijos tyrimas

Tekstilės gaminių sorbcinėms savybėms turi įtakos apdailos procesai. Kaip minėta ankstesniuose skyriuose, kilpinių audinių padengimas MK sumažina statinę ir dinaminę vandens absorbciją. Siekiant plačiau išanalizuoti ramės / medvilninių kilpinių audinių sorbcines galimybes, buvo atlikti žalių, padengtų MK ir padengtų MK / skalbtų kilpinių audinių vandens garų absorbcijos tyrimai. Vandens garų absorbcija yra lėtas procesas – tyrimas vykdomas 8 val. Vandens garų absorbcijos metu tekstilės gaminiai vandens molekules absorbuoja visu savo tūriu.

Vandens garų absorbcijos procesas priklauso nuo audinio sandaros ir suteikiamos apdailos (Petruolytė, Veličkienė, Petrulis, 2013). Veličkienė (2016), analizavusi žalių ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens garų absorbcijos priklausomybę nuo audinio ataudų tankumo ir kilpos aukščio, nustatė, kad vandens garų absorbcija didėja didinant ataudų tankumą. Šią išvadą patvirtino ir bandymas su lygiais ramės audiniais. Kilpos aukštį didinant nuo 4,5 iki 9 mm, taip pat nustatytas vandens garų absorbcijos padidėjimas. Šio disertacinio tyrimo metu pasirinkta analizuoti pastovaus ataudų tankumo ir kilpos aukščio audinius, suteikiant jiems skirtingą poveikį (padengiant MK ir padengiant MK / skalbiant). Iš 3.30 pav. matyti, kad kilpinių audinių padengimas MK padidina vandens garų absorbciją. Priešingi rezultatai gauti nustatant dinaminę ir statinę vandens absorbciją, kai po padengimo MK buvo nustatytas sumažėjimas. Šį atvejį būtų galima pagrįsti tuo, kad garų absorbcijos nustatymo metu bandymas vyksta keletą valandų ir pasiekiamą absorbcijos pusiausvyra, t. y. pluošto ir MK dangos molekules prisijungia didžiausią kiekį vandens molekulių.



3.30 pav. Ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens garų absorbcija

Tyrimų metu nustatyta, kad vandens garų absorbcija po MK apdailos suteikimo padidėjo 10,0 %, palyginti su ZR10,5₁₆₀ variantu. Skalavimo metu audinius paveikus vandens, ploviklio, šilumos ir mechaniniu poveikiu, audinių struktūra pakinta. Petrulytė, Veličkienė, Petrulis (2013) teigia, kad po skalavimo ir minkštinimo audiniai tampa minkštesni ir padidėja kilpinės dangos tūris, dėl šios priežasties audiniai geba daugiau absorbuoti vandens garų. Tokia prielaida patvirtinama ir šiame disertaciniame darbe. Analizuojant S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų po skalavimo proceso vandens garų absorbciją nustatyta, kad audiniai, patyrę 5, 10, 15, 20 ir 25 skalavimo ciklus, absorbuoja atitinkamai 16,4 %, 18,8 %, 22,0 %, 23,5 %, 25,2 % daugiau vandens garų, palyginti su R10,5₁₆₀I₈₀ variantu.

Atliekant audinių po skalavimo proceso vandens garų absorbcijos rezultatų matematinę analizę, absorbcijos rezultatai kito statistiškai nereikšmingai, variacijos koeficientas iki 8,8 %, santykinė paklaida iki 10,9 %.

Apibendrinimas

Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių vandens garų absorbcijos tyrimus nustatyta, kad, audinius padengus MK, absorbcija padidėja 10 %. Skalavimo procesas audiniams suteikia geresnes garų sorbcines savybes: po 25 skalavimo ciklų kilpinių audinių padengtų MK, vandens garų absorbcija padidėjo 25,2 %.

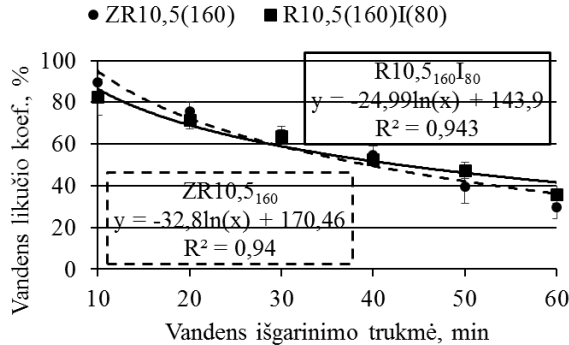
3.3.4. Kilpinių audinių džiovimo greičio tyrimas

Skyriaus uždavinys – nustatyti ramės / medvilninių kilpinių audinių MK apdailos ir skalavimo įtaką audinių džiovimo procesui.

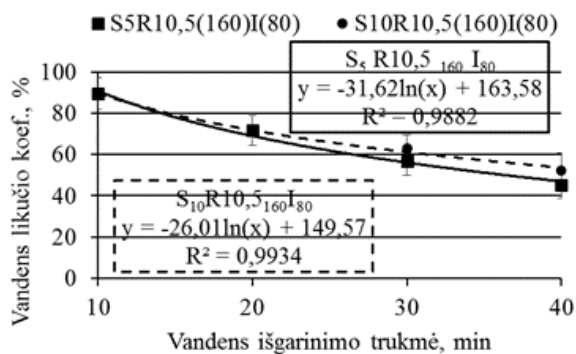
Šio tyrimo metu buvo nustatytas ramės / medvilninių žalių, padengtų MK ir padengtų MK /skalbtų kilpinių audinių vandens likučio koeficientas. Kilpinius audinius sudarantys pluoštai (ramės ir medvilnės) yra hidrofilūs. Be to, ir nuo pluošto morfologinės sandaros priklauso sorbcinės savybės, t. y. kokią kiekį skysčių

geba sugerti, kaip greitai geba sugerti ir per kiek laiko sugertą skystį išgarina. Audinio džiūvimo priklausomybę nuo kilpos aukščio ir suteiktos apdailos analizavo Petrulytė ir Veličkienė (2011) ir nustatė, kad audiniai, patyrę apdailą, džiūna greičiau nei žali audiniai. Taip pat nustatyta, kad lininiai / medvilniniai žali audiniai su žemomis kilpomis džiūvo greičiau (Petrulytė, Veličkienė, 2011). Neabejotinai džiūvimo greitis priklauso ir nuo aplinkos sąlygų. Kintant aplinkos temperatūrai, drėgnumui ar slėgiui, kinta ir džiūvimo greitis. Šio tyrimo metu buvo išlaikomos vienodos standartinės kondicinio klimato sąlygos.

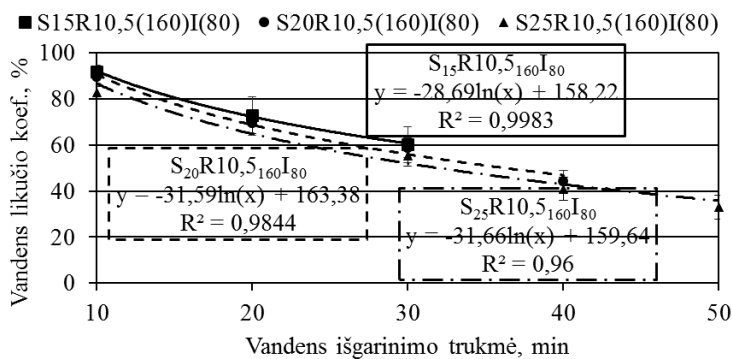
Tiriant kilpinių audinių džiūvimo procesą, pastebėta, kad ZR10,5₁₆₀ ir R10,5₁₆₀I₈₀ variantų džiūvimo trukmė siekė 120 min. Šiek tiek trumpiau vandens lašą garino S₅R10,5₁₆₀I₈₀ varianto bandiniai: 110 min. Ilgiausiai džiūvo bandiniai, skalbti 10 ir 15 skalbimo ciklų. S₁₀₋₁₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų nustatyta džiūvimo trukmė siekė 130 min. Didėjant skalbimų skaičiui (nuo 15 iki 25), pastebimas audinio džiūvimo trukmės mažėjimas. Po 20 skalbimų audiniai vandens lašą išgarino 20 min greičiau, palyginti su bandiniais, skalbtais 15 skalbimo ciklų. Greičiausiai džiūvimo procesas vyko S₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ varianto, šio džiūvimo trukmė nustatyta 100 min. Atlikus eksperimento matematinę analizę, nustatytos empirinės priklausomybės tarp vandens likučio koeficiento ir džiūvimo laiko, aprašant rezultatus logaritminėmis lygtimis. Gauti aukšti apibrėžties koeficientai $R^2 = 0,9844-0,9983$. Taip pat pažymėtina tai, jog rezultatai naudoti tik iki tam tikro džiūvimo laiko, kuriam esant tiriamojo bandinio santykinės paklaidos vertė neviršija 20 %. 3.31 pav. pateikti audinių ZR10,5₁₆₀, R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₅₋₂₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų vandens likučio koeficiento rezultatai.



a)



b)



c)

3.31 pav. Ramės / medvilniųjų kilpinių audinių vandens likučio koeficiento priklausomybė nuo džiūvimo trukmės: a) ZR10,5₁₆₀ ir R10,5₁₆₀I₈₀ variantų; b) S₅R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₁₀R10,5₁₆₀I₈₀ variantų; c) S₁₅R10,5₁₆₀I₈₀, S₂₀R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₂₅R10,5₁₆₀I₈₀

Tiriant vandens išgarinimo intensyvumą iš ramės / medvilninio kilpinio audinio, pastebėta, kad pirmosiomis 10 min džiūvimo procesas vyksta lėtai visų audinių variantų atvejais ir vėliau suintensyvėja. Nustatyta, kad per pirmąsias 10 min žali audiniai išgarino 10,3 % užlašinto vandens, o iki 60 min (šis laiko intervalas sudarė pusę džiūvimo proceso trukmės) išgarino net 70,4 %. ZR10,5₁₆₀ varianto džiūvimo intensyvumas buvo vidutinis. Analizuojant padengto MK audinio džiūvimo intensyvumą nustatyta, kad per pirmąsias 10 min vandens buvo išgarinta 17,5 %, o iki 60 min – 64,3 %. Lyginant žalio ir padengto audinio džiūvimo proceso intensyvumą pastebima, jog pradžioje intensyvesnis procesas yra padengto audinio, o po 60 min džiūvimo trukmės daugiau vandens yra išgarinęs audinys be apdailos. Šią tendenciją būtų galima paaiškinti tuo, kad audinio su apdaila pirmosiomis minutėmis džiūvimas vyksta intensyviau, nes lašas lėčiau absorbuojamas į vidinius audinio sluoksnius ir nuo kilpų paviršiaus griečiau vanduo atiduodamas į aplinką. Nors mikrokapsulių apdaila iš dalies padengia verpalų paviršių, tačiau, stebint visą džiūvimo proceso eigą, audiniai su apdaila džiūna panašiai, kaip žali audiniai, tai pastebima ir 3.31 pav., a, todėl galima teigti, jog MK apdaila neturi didelės įtakos audinio džiūvimo rezultatams.

Skalbimo procesas keičia audinio struktūrą, suardo rišiklio plėvelę, dengiančią verpalų paviršių. Analizuojant ramės / medvilninius kilpinius audinius po 5–25 skalbimo ciklų pastebėta, kad audinių S₅R10,5₁₆₀I₈₀ varianto džiūvimo intensyvumas pirmosiomis 10 ir 20 min panašus, kaip ir ZR10,5₁₆₀ ir R10,5₁₆₀I₈₀ variantų, o nuo 30-os džiūvimo minutės suintensyvėja ir džiūna greičiau nei žalių ir padengtų MK audinių variantai. Audinių, skalbtų 10, 15 ir 20 skalbimo ciklų, džiūvimo pradžia panaši, kaip ir ZR10,5₁₆₀, R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₅R10,5₁₆₀I₈₀ audinių variantų. Tačiau S₁₀R10,5₁₆₀I₈₀ ir S₁₅R10,5₁₆₀I₈₀ variantų džiūvimas nuo 70-os džiūvimo minutės vyksta šiek tiek lėčiau nei visų kitų audinių variantų. Nustatyta, kad audinių, skalbtų 10 ir 15 skalbimų, vandens likučio koeficiento vertė yra 12,2 ir 8,1 % didesnė nei varianto, skalbto 5 kartus. Audinio, skalbto 20 skalbimo ciklų, džiūvimo intensyvumas nustatytas panašus, kaip ir audinio, skalbto 5 skalbimus. Intensyviausiai džiūvimo procesas vyko audinio, kuris buvo skalbtas 25 skalbimo ciklus. Nustatyta, kad po 10 min džiūvimo audinys išgarino 17,1 % vandens, po 60 min – 79,1 % ir 100-ą džiūvimo minutę nustatyta džiūvimo proceso pabaiga. Tokią audinio džiūvimo tendenciją galima paaiškinti tuo, kad iki 15 skalbimo ciklų audiniai intensyviai traukiasi, veikiami cheminio ir mechaninio poveikio, tampa tankesni ir sunkiau išgarinantys drėgmę. Tačiau po 20 ir daugiau skalbimo ciklų iš gaminių intensyviau šalinasi priemaišos ir plaukeliai.

Apibendrinimas

Atlikus ramės / medvilninių kilpinių audinių džiūvimo tyrimus nustatyta, kad audinių padengimas mikrokapsulėmis turi menką įtaką džiūvimo procesui. Didžiausią įtaką audinio džiūvimui turi skalbimo ciklų skaičius, nes iki 15 skalbimų skaičiaus, kai audinys veikiamas cheminiu ir mechaniniu poveikiu, traukiasi ir tankėja, džiūvimo trukmė ilgėja, o, skalbimo ciklų skaičių didinant iki 25, džiūvimo trukmė trumpėja, nes iš verpalų pasišalina priemaišos ir pluoštas.

IŠVADOS

1. Mikrokapsulių prisitvirtinimas prie medvilninių, ramės, bambuko, lininių ir balintų lininių verpalų yra efektyvus.

- Balintų lininių verpalų ilginis tankis po padengimo mikrokapsulėmis padidėjo 17,3 %, esant 160 °C fiksavimo temperatūrai, tačiau pastebima mikrokapsulių sienelių deformacijų ir pažeidimų. Dėl aukštos fiksavimo temperatūros gali būti atpalaiduotas mikrokapsulių šerdinis komponentas – eukaliptų eterinis aliejus.

- Efektyvus mikrokapsulių prisitvirtinimas nustatytas padengus jomis ramės verpalus. SEM analizė patvirtino, kad mikrokapsulės prisitvirtinusios prie pluošto paviršiaus ir įsiterpusios į pluošto tarpus.

2. Kilpinių ramės / medvilninių audinių padengimas mikrokapsulėmis su eukaliptų eteriniu aliejumi turi įtakos audinių sandarai ir lenkiamajam standumui.

- Kilpinių audinių apdaila mikrokapsulėmis su eukaliptų eteriniu aliejumi padidina audinio paviršinį tankį. Priklausomai nuo ataudų tankumo ir apdailos metu naudotos rišiklio koncentracijos, ramės / medvilninių kilpinių audinių paviršinis tankis padidėjo nuo 8,2 % iki 27,1 %, palyginti su nepadengtais mikrokapsulėmis audiniais. Audinių, padengtų mikrokapsulėmis naudojant 20 ir 95 g/l rišiklio koncentraciją, priklausomybė tarp ataudų tankumo ir paviršinio tankio aprašoma tiesinėmis lygtimis (R^2 iki 0,8937).

- Mikrokapsulių apdaila kilpinių audinių storį padidina nuo 20 % iki 45 %, nes rišamoji medžiaga sustandina audinio kilpas, kurios suspaudimo metu geba priešintis suteikiamai apkrovai.

- Kilpiniams audiniams suteikiama mikrokapsulių apdaila padidina audinių lenkiamąjį standumą. Lyginant padengtus mikrokapsulėmis kilpinius audinius su žaliais audiniais, gauta, kad lenkiamasis standumas padidėja iki 14,0 kartų metmenų kryptimi ir iki 12,8 kartų ataudų kryptimi. Audinių, padengtų mikrokapsulėmis, esant 80 g/l rišiklio koncentracijai, priklausomybė tarp lenkiamojo standumo ir ataudų tankumo aprašoma tiesine lygtimi ($R^2 = 0,8100$).

3. Kilpinių audinių atsparumas dilinimui priklauso nuo ataudų tankumo ir audinių suteikiamos apdailos. Po padengimo mikrokapsulėmis audiniai tapo atsparesni dilinimui, palyginti su žaliais audiniais, tačiau skalbimo procesas sumažina atsparumą mechaniniam poveikiui. Nustatyta, kad dilinant masės nuostolis po 5 skalbimo ciklų yra 1,33 karto didesnis nei žalių audinių ir 1,97 karto didesnis nei padengtų mikrokapsulėmis po 25 000 sūkių skaičiaus. Nustatytas stiprus ryšys tarp audinių masės nuostolio ir dilinimo ciklų skaičiaus aprašomas tiesinėmis lygtimis, kurių apibrėžties koeficientas R^2 iki 0,9435.

4. Išanalizavus kilpinių audinių laidumą orui, nustatyta, kad kilpinių audinių padengimas mikrokapsulėmis sumažina audinių laidumą orui. Audinių laidumas orui po dilinimo proceso sumažėja iki 80 %, o po 25 skalbimo ciklų apie 70 %, palyginti su padengtais mikrokapsulėmis neskalbtais audiniais. Nustatytas stiprus ryšys tarp audinių, padengtų mikrokapsulėmis, esant skirtingoms rišiklio koncentracijoms, laidumo orui ir ataudų tankumo tiesinių priklausomybių ($R^2 = 0,9201-0,9604$).

- Kilpinių audinių pūko kilpos atsparumas ištraukimui priklauso nuo audinio sandaros, apdailos mikrokapsulėmis ir skalbimo proceso. Audinio padengimo MK procesas pūko kilpos atsparumą ištraukimui padidino 2,1 ir 1,5 karto, atitinkamai esant 5 ir 25 mm ištraukimo intervalui. Skalbimo procesas padidina pūko kilpos atsparumą ištraukimui. Nustatyta, kad ištraukimo jėga po 25 skalbimo ciklų yra didesnė 3,9–3,4 ir 1,9–2,3 karto, palyginti su žaliais ir padengtais mikrokapsulėmis audiniais, kilpos ištraukimo intervalui esant 5–25 mm. Nustatyta priklausomybė tarp pūko kilpos ištraukimo jėgos ir rišiklio koncentracijos aprašoma tiesinėmis lygtimis ($R^2 = 0,7620-0,7969$).

5. Ramės / medvilninių kilpinių audinių sorbcinėms savybėms įtakos turi apdaila mikrokapsulėmis ir skalbimo procesas.

- Dinaminės absorbcijos procesas audiniuose, padengtuose mikrokapsulėmis, vyksta lėčiau nei žaliuose audiniuose. Analizuojant dinaminės absorbcijos pokyčius po skalbimo pastebėta, kad iki 10 skalbimo ciklų absorbcija didėja, o po 15 skalbimų absorbcija ima mažėti. Nustatyta dėmės ploto pokyčio priklausomybė nuo stebėjimo trukmės aprašoma logaritmine ir polinomine lygtimis, kurių apibrėžties koeficientas R^2 iki 0,9847.

- Kilpinių audinių padengimas mikrokapsulėmis statinę vandens absorbciją sumažina 37,4 %.

- Vandens garų absorbcija po padengimo mikrokapsulėmis padidėjo 10,0 %, o po 25 skalbimo ciklų padidėjo 25,2 %, palyginti su žaliais audiniais.

- Atlikus audinio džiūvimo tyrimus pastebėta, kad džiūvimo procesui daugiau įtakos turi skalbimo ciklų skaičius nei apdaila mikrokapsulėmis. Nustatyta priklausomybė tarp vandens likučio koeficiento ir džiūvimo trukmės aprašoma logaritminėmis lygtimis ($R^2 = 0,9400-0,9983$).

LITERATŪROS SARAŠAS

1. ABDEL-HALIM, E. S., et al. Surface Characterization of Differently Pretreated Flax Fibers and Their Application in Fiber-Reinforced Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2008, 47, 58-65. ISSN 1525-6111.
2. ANGELOVA, R.A., and M. KUSHLOVA. Design of Terry Towels: Assessment of the Effect of Weft Density and Pile Height on Fabric's Weight. *Journal of Research in Mechanical Engineering*. 2016, 2,9, 08-13. ISSN 2321-8185.
3. ANITHA, R. et al. Microencapsulation of Lemon Grass Oil for Mosquito Repellent Finishes in Polyester Textiles. *Elixir International Journal – Bio Physics*, 2011, 40, 5196-5200. ISSN 2229-712X.
4. ARACIL, M.A. B. et al. Binder Effectiveness of Microcapsules Applied Onto Cotton Fabrics During Laundry. *The Journal of The Textile Institute*. 2016, 107(3), 300-306. ISSN 0040-5000.
5. ARACIL, M.A.B. et al. A Comparison Between Padding and Bath Exhaustion to Apply Microcapsules Onto Cotton. *Cellulose*. 2015, 22(3),2117-2127. ISSN 0969-0239.
6. AZIZI, N., CHEVALIER, Y., MAJDOUB, M.: Isosorbide-Based Microcapsules for Cosmeto-Textiles. *Industrial Crops and Products*, 2014, 52, 150-157. ISSN 1872-633X.
7. BADULESCU, R., et al. Grafting of ethylcellulose microcapsules onto cotton fibers. *Carbohydrate polymers*, 2008, 71, 85-91. ISSN 1879-1344.
8. BALTAKYTĖ, R. Kilpinių audinių sandaros ir fizikinių savybių tyrimas. Daktaro disertacija, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, Kauno technologijos universitetas, Kaunas: Technologija, 2009.
9. BALTAKYTE, R and PETRULYTE, S. Experimental Analysis of Air Permeability of Terry Fabrics with Hemp and Linen Pile. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2008, 14, 3, 258-262. ISSN 1392-1320.
10. BANSODE, S.S., et al. Microencapsulation : A Review. *International Journal of Pharmaceutical Science Review and Research*, 2010, 2, 38-43. ISSN 0976-044X.
11. BATISH, D.R, et al. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. 2008, 256, 2166–2174. ISSN 1872-7042.
12. BARANAUSKIENĖ, R., et al. Flavor Retention of Peppermint (*Mentha piperita L.*) Essential Oil Spray-Dried in Modified Starches during Encapsulation and Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007, 55, 3027-3036. ISSN 0021-8561.
13. BLACKBURN, R.S. Biodegradable and sustainable fibers. T J International Limited, England,2005.
14. BEHERA, B.K. and SINGH, J.P. Factors Contributing to Absorbency Behaviour of Pile Fabrics. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2014; 18(3), 81-93. ISSN 2515-8090.
15. BEHERA, B.K. and SINGH, J.P. Performance of terry towel. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2015, 40, 112-121. ISSN 0975-1025. ISSN 0975-1025.
16. BEKEMEIER, T., et al. Silicate Shell Microcapsules For Treating Textiles. US patents, US20110311723A1, 2011-12-22, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/US20110311723A1/en> , peržiūros data [2020-09-24].
17. BEVITORI, A.B., et al. Evaluation of ramie fibers components by infrared spectroscopy. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciencia dos Materiais. 2014, November, Brasil, 2109-2116. Prieiga internetu: <https://www.semanticscholar.org/paper/EVALUATION-OF-RAMIE->

FIBERS-COMPONENTS-BY-INFRARED-Bevitori-

Silva/4cc0e0456ff7cbd188bb2ab85fed951f21875e1?p2df , peržiūros data: 2020-11-18.

18. BISILIK, K. and KORKMAZ, M. Single and multiple yarn pull-out on aramid woven fabric structures. *Textile research journal*. 2011, 81(8), 847-864. ISSN 0040-5175.
19. BOH, B. and KNEZ, E. Microencapsulation of Essential Oils and Phase Change Materials for Applications in Textile Products. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2006, 31, 72-82. ISSN 0975-1025.
20. BOURA, S.H. et al. Self-healin ability and adhesion strength of capsule embedded coatings – Micro and nano sized capsules containing linseed oil. *Progress in Organic Coatings*. 2012, 75, 292-300. ISSN 1873-331X.
21. BUIKA, G. et al. Organinių junginių spektroskopija. 2007, Kaunas : Vitae Litera, Kauno technologijos universitetas, 277. ISBN 978-9955-686-31-6.
22. CARMELLI, C., et al. Effect of Eucalyptus Essential Oil on Respiratory Bacteria and Viruses. *Current Microbiology*. 2008, 56, 89-92. ISSN 1432-0991
23. CHENG, S.Y., et al. A Comprehensive Study of Silicone-based Cosmetic Textile Agent. *Fibers and Polymers*. 2009, 10(1), 132-140. ISSN 1875-0052.
24. CHENG S.Y., et al. Systematic Characterization of Cosmetic Textiles. *Textile Research Journal*. 2010, 80, 524-536. ISSN 0040-5175.
25. CHETBOUN, N. Method for acaricidal and microbicidal treatment of textile materials. US patents, US9220275B2, 2015-12-29, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/US9220275B2/en> , peržiūros data: [2020-09-24].
26. COSTA, G. Insect repellent fabric. US patents, US7887826B2, 2011-02-15, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/US7887826B2/en> , peržiūros data: [2020-09-24].
27. DELKUMBUREWATTE, G.B, Weft-knitted structures for moisture management. *Advances in Knitting Technology*. 2011, 287-308. Prieiga: www.sciencedirect.com, peržiūros data: 2020.12.01.
28. DEL VALLE, E.M.M. Cyclodextrins and Their Uses: A Review. *Process Biochemistry*, 2004, 39, 1033–1046. ISSN 1873-3298.
29. DURUR, G. and ONER, E. The Comfort Properties of the Terry Towels Made of Cotton and Polypropylene Yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2013, 8, 2, 1-10. ISSN 1558-9250.
30. FALKOWSKI, J., et al. Process for finishing textiles. US patent US20100255210A1, 2010-10-07, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/US20100255210A1/en> , peržiūros data: [2020-09-24].
31. FAN, J. Physiological comfort of fabrics and garments. *Engineering Apparel Fabrics and Garments*. 2009, 201-250. Prieiga: www.sciencedirect.com, žiūrėta: 2020.12.01.
32. FAN, M., DAI, D. and HUANG, B. Fourier transform infrared spectroscopy for natural fibres. *Fourier Transform – Materials Analysis*. 2012. Prieiga internetu: https://books.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=3tqgDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA45&dq=fourier+transform+infrared+spectroscopy+for+natural+fibres&ots=pxSA00hNRG&sig=Kk6SsUygrN60TuwsQFeUhfAkWtM&redir_esc=y#v=onepage&q=fourier%20transform%20infrared%20spectroscopy%20for%20natural%20fibres&f=false , peržiūros data 2012.12.01.
33. FECZKO, T., KOKOL, V. and VONCINA, B. Preparation and characterization of ethylcellulose-based microcapsules for sustaining release of a model fragrance. *Macromolecular Research*, 2010, 18, 636-640. ISSN 2092-7673.

34. FOU DA, M.M.G., et al. Preparation of durable insect repellent cotton fabric: Limonene as insecticide. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 74, 268–273. ISSN 1879-1344.
35. FRONT CZAK-WASIAK, I., and SNYCERSKI, M. Use Properties of Terry Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2004, 45(1), 40-44. ISSN 2300-7354.
36. GANESAN, P., et al. Extraction of Copper Enriched Seeds for Healthcare Textiles. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2013a, 38, 313-316. ISSN 0975-1025.
37. GANESAN, P., et al. Process Optimization of *Aerva lanata* Extract Treated Textile Material for Microbial Resistance in Healthcare Textiles. *Fibers&Polymers*. 2013b, 14, 1663-1673. ISSN 1875-0052.
38. GARSIDE, P. and WYETHI, P. Identification of Cellulosic Fibers by FTIR Spectroscopy. *Studies in Conservation*. 2003, 48, 269-275. ISSN 2047-0584.
39. GHOSH, S.K. Functional Coatings by Polymer Microencapsulation. 2006. Prieiga internetu: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/3527608478.fmatter>, peržiūros data [2020-03-19].
40. GIRAUD, S., et al. Flame Behavior of Cotton Coated with Polyurethane Containing Microencapsulated Flame Retardant agent. *Journal of Industrial Textiles*. 2001, 31(1), 11-26. ISSN 1530-8057.
41. GIRAUD, S., et al. Flame retarded polyurea with microencapsulated ammonium phosphate for textile coating. *Polymer Degradation and Stability*, 2005, 88, 106-113. ISSN 1873-2321.
42. HES, L. and WILLIAMS, J. Laboratory measurement of thermo-physiological comfort. *Improving Comfort in Clothing*. 2011, 114-137. Prieiga: www.sciencedirect.com, žiūrėta: 2020.12.01.
43. INOUE S., YAMAGUCHI,H. and TAKIZAWA, T. Screening of the antibacterial effects of a variety of essential oils on respiratory tract pathogens, using a modified dilution assay method. *Journal of Infection and Chemotherapy*. 2001a, 7, 251-254. ISSN 1437-7780.
44. INOUE S., YAMAGUCHI,H. and TAKIZAWA, T. Antibacterial activity of essential oils and their major constituents against respiratory tract pathogens by gaseous contact. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2001b, 47, 565-573. ISSN 1460-2091.
45. JAAFAR, F., et al. Impregnation of Ethylcellulose Microcapsules Containing Jojoba Oil onto Compressive Knits Developed for High Burns. *Fibres and Polymers*. 2012, 13(3), 346-351. ISSN 1875-0052.
46. JAIME, G.P., et al., A method and composition to infuse an active ingredient into clothes and use of a binder agent for microcapsules of said composition. EU patents, EP2682454A1, 2014-01-08, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/EP2682454A1/en> , peržiūros data: [2016-05-17].
47. JANG, I.B., SUNG, J.H. and CHOI, H. J. Synthesis of microcapsule containing oil phase via in-situ polymerization. *Journal of Materials science*, 2005, 40, 1031-1033. ISSN 1573-4803.
48. JAVID, A., et al. Chitosan microencapsulation of various essential oils to enhance the functional properties of cotton fabric. *Journal of Microencapsulation*. 2014, Early online, 1-8. ISSN 1464-5246.
49. JUCIENĖ, M., DOBILAITĖ, V. and KAZLAUSKAITĖ, G. Influence of industrial washing on denim properties. *Materials science = Medžiagotyra*. 2006, 12(4), 355-359. ISSN 1392-1320.

50. JYOTHI, N.V.N., et al. Microencapsulation Techniques, Factors Influencing Encapsulation Efficiency. *Journal of Microencapsulation*, 2010, 3, 187-197. ISSN 1464-5246.
51. KARAHAN, M. Experimental investigation of the effect of fabric construction on dynamic water absorption in terry fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007; 15, 3, 74-80. ISSN 2300-7354.
52. KARAHAN, M. and EREN, V. Experimental Investigation of the Effect of Fabric Parameters on Static Water Absorption in Terry Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006; 14, 2, 59-63. ISSN 2300-7354.
53. KARAHAN, M. et.al. An Investigation into the Parameters of Terry Fabrics Regarding the Production. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2005; 13, 2, 20-25. ISSN 2300-7354. ISSN 2300-7354.
54. KAYAHAN, E. and KARABOYACI, M. The production of insect repellent textile materials by using cyclodextrin and recycled geraniol. *13th Autex World Textile Conference*, Dresden, Germany, May 22nd to 24th 2013.
55. KAYAHAN, E., AKSOY, K. and ONEM, E. Microencapsulation of peppermint oil by the complex coacervation of chitosan and sodium alginate for antibacterial applications. *13th Autex World Textile Conference*, Dresden, Germany, May 22nd to 24th 2013.
56. KIBAYASHI, Y., YOKURA, H. and SUKIGARA, S. Compression properties of pile fabrics in the presence of water. *Textile Research Journal*. 2020, 90, 1704–1712. ISSN 0040-5175.
57. KIM, J. and CHO, G. Thermal Storage/Release, Durability, and Temperature Sensing Properties of Thermo-Static Fabrics Treated with Octadecane-Containing Microcapsules. *Textile Research Journal*. 2002, 72, 1093-1098. ISSN 0040-5175.
58. KOO, K., et al. The Application of Microencapsulated Phase-Change Materials to Nylon Fabric Using Direct Dual Coating Method. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, 108, 2337-2344. ISSN 1097-4628.
59. KUHR, M., AIBIBU, D. and CHERIF, C. Improve the Barrier Effect of Barrier Textiles by Finishing with Microparticle. Proceedings of 13th Autex World Textile Conference, Dresden, Germany, 22-24 May 2013, pp.1-6.
60. LEE, A.R., and YI, E. Investigating Performance of Cotton and Lyocell Knit Treated with Microcapsules Containing *Citrus unshiu* Oil. *Fibers and Polymers*, 2013, 14,(12), 2088-2096. ISSN 1875-0052.
61. LI, S., BOYTER, J. and QIAN, L. UV curing encapsulated aroma finish on cotton. *Journal of The Textile Institute*. 2005, 96(6), 407-411. ISSN 0040-5000.
62. LI, Y., et al. Properties of Chitosan-Microencapsulated Orange Oil Prepared by Spray-Drying and Its Stability to Detergents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013a, vol. 61, pp. 3311-3319. ISSN 0021-8561.
63. LI, L., et al. Improvement in Antibacterial Activity of Moxa Oil Containing Gelatin-Arabic Gum Microcapsules. *Textile Research Journal*. 2013b, 83, 1236-1241. ISSN 0040-5175.
64. LI, L., et al. Characteristics of weaving parameters in microcapsule fabrics and their influence on loading capability *Textile Research Journal*, 2013c, 83, 113-121. ISSN 0040-5175.
65. LIANGZHONG, L. et al. Tea tree oil microcapsule antibacterial healthcare fiber and preparation method thereof. CN patents, CN103147311B, 2015-07-15, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/CN103147311B/en> , peržiūros data: [2020-09-24].

66. LIU, J., et al. Study on the Grafting of Chitosan–Gelatin Microcapsules onto Cotton Fabrics and its Antibacterial Effect. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2013, 109, 103-108. ISSN 1873-4367.
67. LIU, T., CHOI, K., LI, Y. Wicking in twisted yarns. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008, 318, 134–139. ISSN 1095-7103.
68. LOBO-SANCHEZ, M, et al. ZnAl layered double hydroxides impregnated with eucalyptus oil as efficient hybrid materials against multi-resistant bacteria. *Applied Clay Science*. 2018, 153, 61–69. ISSN 1872-9053.
69. MADHURI, V. et al. Effect of Pile Density on Physical Properties of Terry Towel Fabric. *International Journal on Textile Engineering and Processes*. 2017; 3, 1, 1-3. ISSN 2395-3578.
70. MARTINS, I.M., et al. Polylactide-Based Thyme Oil Microcapsules Production: Evaluation of Surfactants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011a, 50, 898-904. ISSN 1520-5045.
71. MARTINS, I.M., et al. Release of Thyme Oil from Polylactide Microcapsules. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011b, 50, 13752-13761. ISSN 1520-5045.
72. MARTINS, I.M., et al. Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications. *Chemical Engineering Journal*. 2014, 245, 191-200. ISSN 1873-3212.
73. MARTINS, I.M., et al., Microencapsulation of thyme oil by coacervation. *Journal of Microencapsulation*. 2009, 26, 667-675. ISSN 1464-5246.
74. MILAŠIUS, R. *Tekstilės eksperimento teorija ir praktika: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2011.
75. MISHRA, D.K., JAIN, A.K. and JAIN, P.K. A Review on Various Techniques of Microencapsulation. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*. 2013, 2, 962-977. ISSN 2277-5005.
76. MONLLOR, P., BONET, M.A., and CASES, F. Characterization of the Behaviour of Flavour Microcapsules in Cotton Fabrics. *European Polymer Journal*, 2007, 43, 2481-2490. ISSN 1873-1945.
77. MONLLOR, P., et al. Thermal Behavior of Microencapsulated Fragrances on Cotton Fabrics. *Textile Research Journal*, 2009, 79, 365-380. ISSN 0040-5175.
78. MONLLOR, P., et al. Improvement of Microcapsule Adhesion to Fabrics. *Textile Research Journal*, 2010, 80, 631-635. ISSN 0040-5175.
79. NELSON, G. Microencapsulation in textile finishing. *Review of Progress in Coloration and related Topics*. 2001, 31, 57-64. ISSN 0557-9325.
80. NELSON, G. Application of Microencapsulation in textile. *International Journal of Pharmaceutics*, 2002, 242, 55-62. ISSN 1873-3476.
81. NOPPAKUNDILOGRAT, S., et al. Encapsulated eucalyptus oil in ionically cross-linked alginate microcapsules and its controlled release. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 131, 23-33. ISSN 1879-1344.
82. ONDER, E., SARIER, N. and CIMENA, E. Encapsulation of Phase Change Materials by Complex Coacervation to Improve Thermal Performances of Woven Fabrics. *Thermochimica Acta*, 2008, 467, 63-72. ISSN 1872-762X.
83. PARK, S. and HONG, K. Melamine resin microcapsules containing fragrant oil: synthesis and characterization. *Materials Chemistry and Physics*, 1999, 58, 128-131. ISSN 1879-3312.

84. PETRULIS, D. and PETRULYTĖ, S. Potential use of microcapsules in manufacture of fibrous products: A review. *Journal of Applied Polymer Science*. 2019, 1-12. ISSN 1097-4628.
85. PETRULYTĖ, S. and BALTAKYTĖ, R. Static Water Absorption in Fabrics of Different Pile Height. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009a; 17(3), 60-65. ISSN 2300-7354.
86. PETRULYTĖ, S. and BALTAKYTĖ, R. Liquid Sorption and Transport in Woven Structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009b; 17(2), 39-45. ISSN 2300-7354.
87. PETRULYTĖ, S. and BALTAKYTĖ, R. Investigation into the wetting phenomenon of terry fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2008; 16, 4, 62-66. ISSN 2300-7354.
88. PETRULYTĖ, S. and NAŠLĖNIENĖ, J. Investigation of the Liquid Retention Capacity of Terry Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010; 18, 5, 93-97. ISSN 2300-7354.
89. PETRULYTĖ, S. and VELIČKIENĖ, A. Investigation of Drying Phenomenon of Terry Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011; 19, 6, 58-63. ISSN 2300-7354.
90. PETRULYTĖ, S. et al. Investigation of the Resistance to Pile Loop Extraction of Linen and Ramie Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013; 21(5), 54-58. ISSN 2300-7354.
91. PETRULYTĖ, S., VELIČKIENĖ, A. and PETRULIS, D. Water vapour absorption of terry fabrics with linen and hemp pile loop. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013; 21(2), 90-95. ISSN 2300-7354.
92. PETRULYTĖ, S., VELIČKIENĖ, A. and PETRULIS, D. Influence of terry fabrics structure and finishing on yarn pull-out behaviour. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2014, 26(4), 305-315. ISSN 0956-6222.
93. Prieigai internetu: www.aromata.lt, peržiūros data [2020-10-19].
94. Prieiga internetu: www.healthline.com, peržiūros data [2020-10-19].
95. RAMYA K. and MAHESHWARI, V. Analysis of the Antimicrobial Efficacy of Bamboo/Cotton Knitted Fabric Finished with the Extracts of the *Syzygium aromaticum* Buds. *Journal of Textile Science & Engineering*. 2013, 3, 134-139. ISSN 2165-8064.
96. RIPOLL, L. et al. Cosmeo-textile from formulation to characterization: an overview. *E-Polymers*, 2010, 10, 1-34. ISSN 1618-7229.
97. ROCHA GOMES, J.I.N., et al. Microcapsules with functional reactive groups for binding to fibres and process of application and fixation. US patents, US8404345B2, 2013-03-26, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/US8404345B2/en>, peržiūros data: 2021-06-17.
98. RODRIGUES, S.N., et al. Microencapsulation of Limonene for Textile Application. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2008, 47, 4142-4147. ISSN 1520-5045.
99. RODRIGUES, S.N., et al. Scentfashion: Microencapsulated perfumes for textile application. *Chemical Engineering Journal*, 2009, 149, 463-472. ISSN 1873-3212.
100. SADIKOGLU, T.G. Effect on Comfort Properties of Using Superabsorbent Fibres in Nonwoven Interlinings. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2005; 13, 3, 54-57. ISSN 2300-7354.
101. SALAUN, F., et al. Thermoregulating Response of Cotton Fabric Containing Microencapsulated Phase Change Materials. *Thermochemica Acta*. 2010a, 506, 82-93. ISSN 1872-762X.
102. SALAUN, F., et al. Development of Phase Change Materials in Clothing Part I: Formulation of Microencapsulated Phase Change. *Textile Research Journal*. 2010b, 80, 195-205. ISSN 0040-5175.

103. SALAUN, F., VROMAN, I, and ELMAJID, I. A novel approach to synthesize and to fix microcapsules on cotton fabric. *Chemical Engineering Journal*. 2012, 213, 78-87. ISSN 1873-3212.
104. SALARI, M.H., et al. Antibacterial effects of *Eucalyptus globulus* leaf extract on pathogenic bacteria isolated from specimens of patients with respiratory tract disorders. *Clinical Microbiology and Infection*. 2006,12, 194-196. ISSN 1469-0691.
105. SALEHI, B, et al. Insights into Eucalyptus genus chemical constituents, biological activities and health-promoting effects. *Trends in Food Science & Technology*. 2019, 91, 609-624. ISSN 1879-3053.
106. SANAD, R.A., and T. CASSIDY. Fabric Objective Measurement and Drape. *Textile Progress*. 2016, 47, 4, 317-406. ISSN 1754-2278.
107. SANNA PASSINO, G., BAZZONI, E. and MORETTI, M.D.L. Microencapsulated essential oils active against indianmeal moth. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*. 2004, 30, 125-132. ISSN 0213-6910.
108. SANCHEZ, P., et al. Development of Thermo-Regulating Textiles Using Paraffin Wax Microcapsules. *Thermochimica Acta*, 2010, 498, 16-21. ISSN 1872-762X.
109. SEKERDEN, F. Effect of pile yarn type on absorbency, stiffness and abrasion resistance of bamboo/cotton and cotton terry towels. *Wood and Fiber Science*. 2012a, 44, 2, 189-195. ISSN 0735-6161.
110. SEKERDEN, F. Investigation of water absorbency and color fastness of modal woven towels. *Scientific Research and Essays*. 2012b, 7,145-148. ISSN 1992-2248.
111. SEKERDEN, F. A study on comparison of air permeability properties of bamboo / cotton and cotton towels. *Scientific Research and Essays*. 2018, 13(13), 143-147. ISSN 1992-2248.
112. SHANBEH, M., NAJAFZADEH, D. and RAVANDI, S.A.H. 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.
113. SHIN, Y., YOO, D.Y. and SON, K. Development of Thermoregulating Textile Materials with Microencapsulated Phase Change Materials (PCM). IV. Performance Properties and Hand of Fabrics Treated with PCM Microcapsules. *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, 97, 910-915. ISSN 1097-4628.
114. SINGH, M.K., VARAUN, V.K. and BEHERA, B.K. Cosmetotextiles: State of Art. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2011, 19, 27-33. ISSN 2300-7354.
115. SINGH, J.P., and VERMA, S. Woven terry fabrics. 2017. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/search?pub=Woven%20Terry%20Fabrics&cid=315200>, peržiūros data [2020-11-08].
116. SINGH, J.P. and BEHERA, B.K. Designing terry fabric for improved serviceability. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2018, 43 (4), 415-420. ISSN 0975-1025.
117. SINGH, J.P., and RAM, S.K. Factor affecting absorbency behaviour of woven velour printed terry fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2020; 45, 164-168. ISSN 0975-1025. ISSN 0975-1025.
118. SINGH, N. and SHEIKH, J. Microencapsulation and its application in production of functional textiles. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2020, 45, 495-509. ISSN 0975-1025.

119. SOLIMAN, E. A., et al. Microencapsulation of Essential Oils within Alginate: Formulation and in Vitro Evaluation of Antifungal Activity. *Journal of Encapsulation and Adsorption Science*. 2013, 3, 48-55. ISSN 2161-4873.
120. SON, K., et al. Fixation of vitamin E microcapsules on dyed cotton fabrics. *Chemical Engineering Journal*. 2014, 239, 284-289. ISSN 1873-3212.
121. SUNDRARAJAN, M. and RUKMANI, A. Durable Antibacterial Finishing on Cotton by Impregnation of Limonene Microcapsules. *Advanced Chemistry Letters*. 2013, 1, 40-43. ISSN 2326-7488.
122. SPECOS, M.M.M. et al. Microencapsulated citronella oil formosquito repellent finishing of cotton textiles. *Transactions and the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2010, vol. 104, pp. 653-658. ISSN 0035-9203.
123. SWANI, N.M., et al. Performance properties of terry towels mad from open-end and ring-spun yarns. *Indian Journal of textile Research*. 1984, 9, 90-94. ISSN 0975-1025.
124. TAVERA, E. M., et al. Experimental and Modeling Analysis of Diffusive Release from Single-Shell Microcapsules. *American Institute of Chemical Engineers*. 2009, 55(11), 2950-2965. ISSN 0196-7282.
125. TEIXEIRA, C.S.N.R., et al. Characterization and Evaluation of Commercial Fragrance Microcapsules for Textile Application. *The Journal of The Textile Institute*, 2012, 103(3), 269-282. ISSN 0040-5000.
126. TIMILSENA, Y.P. et al. Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019, 121, 1276-1286. ISSN 1879-0003.
127. TOPALOVIC, T., et al. XPS and contact angle study of cotton surface oxidation by catalytic bleaching. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2007, 296, 76–85.
128. UMER, H., et al. Microencapsulation: Process, Techniques and Applications. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 2011, 2, 474-481. ISSN 2229-3701.
129. VELIČKIENĖ, A., PETRULYTĖ, S. and PETRULIS, D. 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, p. 493-498. ISSN 1847-7275.
130. VELIČKIENĖ, A. Kilpinių audinių iš natūralių pluoštų savybių vertinimas ir prognozavimas. Daktaro disertacija, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, Kauno technologijos universitetas, Kaunas: Technologija, 2016.
131. VIDAL, T. C., et al. Finished fibers and textiles. US patents, US7956025B2, 2011-06-07, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/US7956025B2/en> , peržiūros data: [2020-09-20].
132. WANG C.X. and CHEN S.L. Aromachology and its Application in the Textile Field. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2005, 13(6), 41-44. ISSN 2300-7354.
133. XIAO, Z., et al. A review of the preparation and application of flavour and essential oils microcapsules based on complex coacervation technology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014, 94, 1482–1494. ISSN 1097-0010.
134. YI, X., et al. Anti-mosquito finishing process of textile fabric. CN patents, CN102154841B, 2011-08-17, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/CN102154841B/en> , peržiūros data: [2020-09-24].

135. ZERVENT, B. and KOC, E. An Experimental Approach on the Performance of Towels Part II. Degree of Hydrophility and Dimensional Variation. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006; 14, 2, 64-70. ISSN 2300-7354.

136. ZHUOHONG, Y., et al., Isatis root oil microcapsule and functional fabric finishing agent, CN patents, CN102405941A, 2012-04-11, prieiga internetu: <https://patents.google.com/patent/CN102405941A/en>, peržiūros data: [2020-09-24].

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS STRAIPSNIAI

Web os Science duomenų bazės leidiniuose su citavimo indeksu Tarptautinėse pripažintose leidyklose

Vankevičiūtė, Deimantė; Petrulytė, Salvinija; Petrusis, Donatas. Study on the possibilities to graft microencapsulated essential oil on natural fibres and terry fabrics // *Fibres and textiles in Eastern Europe*. Lodz: Institute of Biopolymers and Chemical Fibres. ISSN 1230-3666. 2015, vol. 23, iss. 5(113), p. 48-54. [Science Citation Index Expanded (Web of Science)]. [IF: 0,566; AIF: 1,665; IF/AIF: 0,340; Q3; 2015 Journal Citation Reports® Science Edition (Thomson Reuters, 2016)].

Petrulytė, Salvinija; **Vankevičiūtė, Deimantė;** Petrusis, Donatas. Characterization of structure and air permeability of aromatherapeutic terry textile // *International journal of clothing science and technology*. Bradford: Emerald. ISSN 0955-6222. 2016, vol. 28, iss. 1, p. 2-17. [Science Citation Index Expanded (Web of Science); EMERALD; Inspec]. [IF: 0,541; AIF: 1,665; IF/AIF: 0,327; Q3; 2016 Journal Citation Reports® Science Edition (Thomson Reuters, 2016)].

Petrulytė, Salvinija; **Vankevičiūtė, Deimantė;** Petrusis, Donatas. Testing and predicting of yarn pull-out in aroma-textile // *International journal of clothing science and technology*. Bradford: Emerald. ISSN 0955-6222. 2017, vol. 29, iss. 4, p. 566-577, [Science Citation Index Expanded (Web of Science); Scopus; EMERALD; Inspec]. [IF: 0,541; AIF: 1,665; IF/AIF: 0,327; Q3; 2016 Journal Citation Reports® Science Edition (Thomson Reuters, 2017)].

Petrulytė, Salvinija; **Vankevičiūtė, Deimantė;** Petrusis, Donatas. Impregnation of microencapsulated aroma oil on ramie blended terry textile and its bending rigidity // *Fibres and textiles in Eastern Europe*. Lodz: Institute of Biopolymers and Chemical Fibres. ISSN 1230-3666. 2017, iss. 4 (124), p. 95-101, Science Citation Index Expanded (Web of Science); Current Contents (Engineering, Computing & Technology)]. [IF: 0,626; AIF: 1,655; IF/AIF: 0,378; Q2; 2016 Journal Citation Reports® Science Edition (Thomson Reuters, 2017)].

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai Konferencijų pranešimų medžiagoje paskelbti straipsniai Tarptautinėse leidyklose

Vankevičiūtė, Deimantė; Petrulytė, Salvinija; Petrusis, Donatas. Innovations of microencapsulating for textile applications: advances and limitations // *AUTEX 2014 : 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.

Vankevičiute, Deimantė; Petrulis, Donatas; Petrulytė, Salvinija. Experimental study of pile loop pull-out from terry fabric treated with microcapsules // AUTEK 2016 : proceedings of the 16th world textile conference, 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia / University of Ljubljana. Faculty of Natural Sciences and Engineering. Ljubljana: University of Ljubljana, 2016, ISBN 9789616900171. p. 1-6.

Petrulytė, Salvinija; **Vankevičiūtė, Deimantė;** Petrulis, Donatas; Kucukbursa, Nurdan. Effect of washing on moisture transport through ramie blended textile finished by microencapsulated aroma oil // AUTEK 2016 : proceedings of the 16th world textile conference, 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia / University of Ljubljana. Faculty of Natural Sciences and Engineering. Ljubljana: University of Ljubljana, 2016, ISBN 9789616900171. p. 1-6.

KITOS PUBLIKACIJOS

Vankevičiūtė, Deimantė; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas. Innovations of microencapsulating for textile applications: advances and limitations // AUTEK 2014 : book of abstracts of the 14th AUTEK World Textile Conference, 26-28 May, 2014, Bursa, Turkey / Uludag University. Bursa: Uludag University, 2014, ISBN 9786056311246. p. 1-4.

Vankevičiūtė, Deimantė; Metrikytė, Sigita; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas. Characterization of fragrance microcapsules for terry textile // Advanced materials and technologies : book of abstracts of the 17-th international conference-school, 27-31 August 2015, Palanga, Lithuania. Kaunas: Kaunas University of Technology. ISSN 1822-7759. 2015, p. 141.

Vankevičiute, Deimante; Petrulis, Donatas; Petrulytė, Salvinija. Experimental study of pile loop pull-out from terry fabric treated with microcapsules // AUTEK 2016 : book of abstracts the 16th world textile conference, 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia / University of Ljubljana. Faculty of Natural Sciences and Engineering. Ljubljana: University of Ljubljana, 2016, ISBN 978-961-6900-16-4. p. 178-179. [Sc. field: 08T].

Petrulytė, Salvinija; **Vankevičiūtė, Deimantė;** Petrulis, Donatas; Kucukbursa, Nurdan. Effect of washing on moisture transport through ramie blended textile finished by microencapsulated aroma oil // AUTEK 2016 : book of abstracts of the 16th world textile conference, 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia / University of Ljubljana. Faculty of Natural Sciences and Engineering. Ljubljana: University of Ljubljana, 2016, ISBN 978-961-6900-16-4. p. 178-179. [Sc. field: 08T].

Petrulytė, Salvinija; **Plaščinskienė, Deimantė;** Petrulis, Donatas. Influence of fabric structure on loading capability of terry fabrics finished with microcapsules // Baltic polymer symposium 2016 : September 21-24, Klaipeda, Lithuania. 2016 : programme and abstracts / Kaunas University of Technology, Vilnius University, Klaipeda University. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2016, ISBN 9786090212356. p. 42.

Plaščinskienė, Deimantė; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas. Effect of microencapsulating and washing on the abrasion properties of terry textile // Advanced materials and technologies : book of abstracts of the 18th international conference-school, 27-31 August 2016, Palanga, Lithuania. Kaunas: Kaunas University of Technology. ISSN 1822-7759. 2016, p. 130.

PRANEŠIMAI TARPTAUTINĖSE KONFERENCIJOSE

Pasaulinė konferencija „14th Autex World Textile Conference“ – pranešimas „Innovations of microencapsulating for textile applications: advances and limitations“ (Vankevičiūtė, Deimantė; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas), 2014 gegužės 26–28 d. Bursa, Turkija.

Tarptautinė konferencija-mokykla „16th International Conference-School Advanced materials and technologies“ – pranešimas „Characterization of fragrance microcapsules for terry textile“ (Vankevičiūtė, Deimantė; Metrikytė, Sigita; Petrulytė, Salvinija; Petrulis, Donatas) 2015 rugpjūčio 27–31 d. Palanga, Lietuva.

Pasaulinė konferencija „16th Autex World Textile Conference“ – pranešimas „Effect of washing on moisture transport through ramie blended textile finished by microencapsulated aroma oil“ (Petrulytė, Salvinija; Vankeviciute, Deimante; Petrulis, Donatas; Kücükbursa, Nurdan), 2016, birželio 8–10 d., Liubliana, Slovėnija.

Pasaulinė konferencija „16th Autex World Textile Conference“ – pranešimas „Experimental study of pile loop pull-out from terry fabric treated with microcapsules“ (Vankeviciute, Deimante; Petrulis, Donatas; Petrulytė, Salvinija) 2016, birželio 8-10 d., Liubliana, Slovėnija.

Tarptautinė konferencija-mokykla „17th International Conference-School Advanced materials and technologies“ – pranešimas „Effect of microencapsulating and washing on the abrasion properties of terry textile“ (Vankevičiūtė, D., Petrulytė, S., Petrulis, D.), 2016 rugpjūčio 27–31 d. Palanga, Lietuva.

Tarptautinė konferencija „Baltic polymer symposium 2016“ – pranešimas „Influence of fabric structure on loading capability of terry fabrics finished with microcapsules“ (Vankevičiūtė, D., Petrulytė, S., Petrulis, D.), 2016 rugsėjo 21–24 d. Klaipėda, Lietuva.

PADEKA

Noriu padėkoti mokslinei vadovei prof. dr. Salvinijai Petrulytei ir moksliniam konsultantui prof. dr. Donatui Petruliui už palaikymą, pagalbą ir patarimus rengiant disertacinį darbą.

Dėkoju įmonei UAB „A grupė“ už tyrimams išaustus audinius.