



RĪGAS TEHNISKĀ  
UNIVERSITĀTE

Ieva Baķe

# KOKVILNAS DZIJAS UN JUKTU ŠĶIEDRU TRIKOTĀŽAS VIRSMAS MODIFIKĀCIJA VEIKTSPĒJAS UZLABOŠANAI

Promocijas darba kopsavilkums



**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte

Dizaina tehnoloģiju institūts

**Ieva Baķe**

Doktora studiju programmas “Šķiedru materiālu zinātne” doktorante

**KOKVILNAS DZIJAS UN JAUKTU ŠĶIEDRU  
TRIKOTĀŽAS VIRSMAS MODIFIKĀCIJA  
VEIKTSPĒJAS UZLABOŠANAI**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskā vadītājā  
profesore *Dr. habil. sc. ing.*  
SILVIJA KUKLE

RTU Izdevniecība  
Rīga 2023

Baže I. Kokvilnas dzijas un jauktu šķiedru trikotāžas virsmas modifikācija veiktspējas uzlabošanai. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2023. – 46 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-02” 2023. gada 5. septembra lēmumu, protokols Nr. 04030-9.2.2/8.

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa “Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās” projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās”.

Pētījums tapis ar Rīgas Tehniskās universitātes doktorantūras grantu programmas atbalstu.

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA  
Eiropas Sociālais  
fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



RĪGAS TEHNISKĀ  
UNIVERSITĀTE

Vāka attēla autore – Inga Zotova

<https://doi.org/10.7250/9789934370083>

ISBN 978-9934-37-008-3 (pdf)

# PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 11. decembrī plkst. 13.30 Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, Ķīpsalas ielā 6 ielā, 206. auditorijā.

## OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Remo Merijs-Meri,  
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesore *Ph. D.* Daiva Mikučionienē,  
Kauņas Tehnoloģiju universitāte, Lietuva

Profesore *Ph. D.* Tiia Plamus,  
Tallinas Tehnoloģiju universitāte, Igaunija

## APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Ieva Baķe ..... (paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, 4 nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 74 attēli, 16 tabulu, kopā 127 lappuses. Literatūras sarakstā ir 131 nosaukums.

## SATURS

IZMANTOTIE APZĪMĒJUMI UN SKAIDROJUMI .....	6
1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS.....	7
Ievads .....	7
2. DARBA SATURS .....	12
2.1. Situācijas analīze.....	12
2.2. Eksperimentālā un metodiskā daļa .....	13
2.3. Paraugu sagatavošana modifikācijai un to pirmsapstrādes .....	13
2.4. Testēto paraugu raksturojums un atšifrējumi .....	14
2.5. Mehānisko un komforta īpašību testēšanas metodes .....	17
2.6. Uznestā pārklājuma novērtēšanas metodes .....	18
REZULTĀTI UN TO SKAIDROJUMS .....	20
3. Jauktu šķiedru sastāva trikotāžas izstrādājumu modifikācija.....	20
Kokvilnas/PA zeķu izstrādājumu raksturojošie parametri un eksperimentu plānojums .....	20
Šķiedru virsmas mikro struktūra.....	21
Salīdzinoša <i>ATR-FTIR</i> analīze.....	22
Virsmas slapējamības salīdzinošā analīze.....	22
Antibakteriālās aktivitātes novērtēšana.....	24
Gaisa caurlaidības salīdzinošā analīze .....	25
Ūdens tvaika caurlaidības analīze.....	26
Siltumpretestības analīze.....	27
Trešās nodaļas kopsavilkums un secinājumi.....	28
4. Tehnoloģija trikotāžas izstrādei ar integrētu modificētas kokvilnas dziju.....	30
Kokvilnas dzijas modifikācija .....	30
Dzijas sagatavošana modifikācijai.....	30
Dzijas modifikācija sola-gēla procesā.....	30
Trikotāžas ar integrētu modificētas dzijas komponenti izstrāde .....	31
Uznestā modificējošā dzijas pārklājuma izpēte.....	32
Modificētās un nemodificētās kokvilnas dzijas īpašību salīdzinošā analīze.....	33
Kokvilnas/PA/elastāna trikotāžas drānu struktūru raksturojošie parametri .....	35
<i>FTIR- ATR</i> spektru salīdzinošā analīze .....	35

Gaisa un ūdens tvaika caurlaidības salīdzinošā analīze .....	36
Nodilumizturība .....	37
Modificētas kokvilnas un poliestera(PES) trikotāžas drānu raksturojošie parametri...	38
<i>FTIR-ATR</i> spektru salīdzinošā analīze .....	38
Antibakteriālais novērtējums .....	39
Trikotāžas drānu (kokvilna/poliestera/elastāna) gaisa caurlaidības salīdzinošā analīze .....	40
Ceturtās nodaļas kopsavilkums un secinājumi .....	41
KOPĒJIE SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS.....	43
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	45

## IZMANTOTIE APZĪMĒJUMI UN SKAIDROJUMI

HT – hidrotermiskā apstrāde

ATR–FTIR – pavājinātas pilnīgās atstarošanas Furjē transformācijas infrasarkanā spektroskopija

FT – funkcionālās tekstilijas

VT – viedās tekstilijas

TEOS – tehtaetilotoksilāns

CAD – cinka acetāta dihidrāts

PA – poliamīds

PES – poliesteris

CO – kokvilna

UV – ultravioletais starojums

SP – siltumapretestība

TC – tvaika caurlaidība

GC – gaisa caurlaidība

SEM – skenējošā elektronu mikroskopija

Zn – cinks

mas.% – procentuālais masas apjoms

PFE – pilns faktoru eksperiments

EDS – enerģijas dispersīvā rentgenstaru spektroskopija

# 1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

## Ievads

Adīšanas tehnoloģijās izgatavotas tekstilijas ir ideāls karkass elastīgu funkcionālu sistēmu elementu izveidošanai apģērbā, saglabājot valkāšanas komfortu [2]. Adīta apakšveļa, zeķu izstrādājumi un sporta apģērbi ir komfortabli lietojami kā pirmā apģērba kārta saskarē ar valkātāja ķermeni, tai pašā laikā tā ir arī struktūra, kas nodrošina labvēlīgus dzīves apstākļus daudzveidīgiem mikroorganismiem un uzkrāj gan tos, gan ķermeņa un vides radītos piesārņojumus, rezultējoties nepieciešamībā regulāri pakļaut izstrādājumus hidrotermiskai apstrādei. Savukārt elektronisko sistēmu komponentes, īpaši tās, kas veidotas no elektrovadošiem pavedieniem, strauji zaudē funkcionālās īpašības saskarē ar mazgāšanas līdzekļiem pat ļoti saudzīgos hidrotermiskās apstrādes režīmos [3–6].

Lai arī adīšanas tehnoloģiskās iespējas ļauj izveidot elastīgus elektroniskās sistēmas elementus (sensorus, vadus, ģeneratoru komponentes, displejus u. c.) pašas tekstilijas izgatavošanas procesā, kas ir liels solis uz priekšu valkājamās elektronikas attīstībā [4, 5, 7], paliek neatrisinātas problēmas, kā nodrošināt attiecīgās tekstilijas normālu ekspluatācijas procesu. Risinājumi tiek meklēti vairākos virzienos [8]:

1) palikt pie varianta, kurā pirms hidrotermiskās apstrādes jāparedz iespēja izņemt elektroniskās sistēmas komponentes, līdz ar to tās nav izgatavojamas tekstilijas adīšanas procesā;

2) veidot jaunas paaudzes elastīgas elektroniskās sistēmas komponentes, kas nezaudē funkcionālās īpašības valkāšanas un hidrotermiskās apstrādes procesos;

3) modificējot pašu tekstiliju, procesā līdztekus tai raksturīgajām īpašībām piešķirot papildīpašības, kas nodrošina nepieciešamību to pakļaut maigākai hidrotermiskai apstrādei retāk, samazinot temperatūras, mazgāšanas līdzekļu patēriņu un to agresivitāti.

## Promocijas darba tēmas aktualitāte

Tekstilijas, īpaši adītas, piedāvā tādus ideālus apstākļus mikroorganismu dzīvotnēm kā lielas specifiskas virsmas ar labām adhēzijas un ūdens uzglabāšanas īpašībām un optimālu, valkātāja nodrošinātu temperatūru. Tāpēc ir liela nepieciešamība pēc apdarēm, kas atvieglo kopšanu un palielina laiku starp hidrotermiskās apstrādes cikliem, kā arī antimikrobiālām apdarēm, kas pasargā tekstilšķiedras no noārdīšanās mikroorganismu ietekmē un no bioapaugumiem uz tekstilijām ārvidē, padarot mazāk labvēlīgu dzīvotni baktērijām, līdz ar to samazinot smakas veidošanos, kas rodas sviedros dzīvojošo baktēriju vielmaiņas procesos, kā arī aizsargājot lietotājus no patogēnu pārnesšanas un izplatīšanās; papildus viedo apģērba gadījumā ilgstošāk saglabājot elektroniskās sistēmas komponentu funkcionālās īpašības.

Izvēloties modificēt tekstiliju, procesā līdztekus tai raksturīgajām īpašībām piešķirot papildīpašības, iespējams to kopā ar iestrādātajiem valkājamās elektronikas komponentiem pakļaut gan maigākai hidrotermiskai apstrādei, gan palielināt laiku starp apstrādēm, samazinot enerģijas un mazgāšanas līdzekļu patēriņu un to agresivitāti. Tai pat laikā viedās tekstilijas veidošanas procesā ir jārisina kompromisa uzdevums, saskaņojot valkātājam nozīmīgas funkcionālās īpašības ar tām, kas nepieciešamas elektroniskās sistēmas elementu drošas ekspluatācijas un stabilu darbības parametru nodrošināšanai gan integrētā izgatavošanas, gan ekspluatācijas procesā. Šādā kontekstā darba gaitā risinātās problēmas trikotāžas vai dzijas



modifikācijai pirms adīšanas procesa, kura laikā tiek iestrādātas funkcionālie elektroniskās sistēmas elementi, ir aktuāla, jo valkājamai elektronikai ir daudz priekšrocību – tā var apkopot lielu daudzumu noderīgu datu par lietotāju, taču kopā ar nesošo tekstiliju tiek pakļauta valkāšanas procesiem, kas strauji samazina elektroniskās sistēmas elementu veiktspēju.

### **Promocijas darba mērķis**

Kokvilnas dzijas, kokvilnas/poliamīda (CO/PA) un kokvilnas/poliestera (CO/PES) trikotāžas daudzfunkcionāla virsmas modifikācija un modifikācijas ietekmes novērtējums uz trikotāžas izstrādājumu valkāšanas komfortu raksturojošām īpašībām.

### **Darba uzdevumi**

- Izveidot analītisku apskatu par dzijas, kokvilnas un jauktu šķiedru tekstiliju modifikāciju.
- Modificēt jaukta šķiedru sastāva rūpnieciski adītu kokvilnas/poliamīda zeķu izstrādājumus, novērtēt modifikācijas izraisīto funkcionālo īpašību izmaiņas un to ietekmi uz valkāšanas komfortu.
- Piemērot sola-gēla tehnoloģiju daudzfunkcionālai kokvilnas dzijas modifikācijai, novērtējot modifikācijas ietekmi uz dzijas fizikālajām un mehāniskajām īpašībām.
- Izstrādāt sagatavošanas un adīšanas tehnoloģisko secību platinētas gludpinuma jauktu šķiedru sastāva – modificēta kokvilnas dzija/PA/PES – šķērsadītas trikotāžas drānas ieguvei.
- Veikt salīdzinošu modificētās trikotāžas variantu analīzi, novērtēt dzijas modifikācijas efektus uz funkcionālām un valkāšanas komfortu raksturojošām īpašībām.
- Formulēt rekomendācijas tālākiem pētījumiem.
- Atspoguļot iegūto zinātību publikācijās un zinātniskajās konferencēs.

### **Promocijas darba zinātniskā novitāte**

Veiktās jaukta šķiedru sastāva kokvilna/PA un kokvilna/PES rūpnieciski adītu platinēta gludpinuma zeķu izstrādājumu funkcionalizācijas iespēju izpētes rezultātā izstrādātā adaptētā tehnoloģija platinēta adījuma zeķu izstrādājumu modifikācijai ar silīcija bāzes solu ar tajā iekļautu cinka acetāta dihidrātu kā prekursoru ļauj palielināt šīs klases adīto izstrādājumu nodilumizturību, nodrošināt vieglas kopšanas (*water and dirt repellence*) efektu un antibakteriālu iedarbību tekstilijas saskarnes zonā ar valkātāja ādu. Pētījuma rezultātā pierādīta jaukta šķiedru sastāva zeķu izstrādājumu funkcionalizācijas efektivitāte un iespēja adaptēto modifikācijas tehnoloģiju iekļaut rūpnieciskajā tehnoloģiskajā secībā, integrējot to zeķu izstrādājumu gala hidrotermiskās apstrādes blokā.

Izstrādāta tehnoloģija kokvilnas dzijas modificēšanai, sagatavošanai adīšanai un jaukta šķiedru sastāva platinēta gludpinuma adījuma ar modificēto kokvilnas dziju sastāvā iegūšanai (patents LV15500B). Modificētās dzijas iekļaušana platinēta gludpinuma adījumā vienā modifikācijas procesā ļauj nodrošināt vairākas papildfunkcijas zeķu izstrādājuma veiktspējas uzlabošanai, nepakļaut adīšanas procesā integrētās valkājāmās elektronikas komponentes samērā agresīvo modifikācijas tehnoloģisko parametru iedarbībai, adīta zeķu izstrādājuma modifikācijas procesā saglabājot to veiktspēju.

Darba gaitā pielāgotā *ATR-FTIR* spektru apstrādes un interpretācijas metodika ļauj iegūt salīdzināmus kvalitatīvus un kvantitatīvus tekstilpavedienu un jaukta šķiedru sastāva platinētas gludpinuma trikotāžas tehnoloģiskā procesa parametru ietekmes un modifikācijas efektu novērtējumus, nesagraujot testu paraugus, un operatīvi izstrādāt nepieciešamās korekcijas.

### **Darba praktiskā vērtība**

Platinēti gludpinuma kokvilnas un jauktu kokvilnas/sintētisko šķiedru zeķu izstrādājumi iekļaujas sortimenta grupu ar ļoti plašu lietojumu ikdienas, sporta, atpūtas un darba apģērbu komplektu sastāvā, kā arī izstrādājumos ar integrētu valkājamo elektroniku. Tos parasti valkā ilgstoši, valkāšanas procesā pakļaujot tekstilijas un tajās iestrādāto elektroniku kombinētām cikliskām deformācijām vairāk vai mazāk nelabvēlīgā vidē. Tradicionāli valkāšanas komforta nodrošināšanai nepieciešams zeķu izstrādājumus bieži mazgāt, pakāpeniski samazinot to veiktspēju un patērējot resursus.

Darbā izstrādātās funkcionalizācijas metodes ļauj modificēt gan jaukta šķiedru sastāva rūpnieciski izgatavotu zeķu izstrādājumus, gan veidot jaunas tehnoloģijas, integrējot adīšanas procesā ~75–80 % modificētu kokvilnas dziju, abos gadījumos nodrošinot tādas papildfunkcijas, piemēram, uzlabotu nodilumizturību, pretmikrobu aktivitāti un virsmas pašattīršanās efektu, līdz ar to pagarinot valkāšanas laiku starp mazgāšanas reizēm, vienlaikus saglabājot nepieciešamo valkāšanas komforta līmeni un samazinot mazgāšanas līdzekļu, elektroenerģijas un ūdens patēriņu un ar to saistīto kombinēto vides piesārņojuma efektu, palielinot izstrādājuma kalpošanas laiku.

Pielāgotā *ATR-FTIR* spektru apstrādes un interpretācijas metodika ir ērti lietojams kontroles instruments gan tehnoloģisko, gan modificējošu sastāvu un to uznešanas procesu parametru ietekmes novērtēšanai un regulēšanai, kas balstīta iegūtajos datos, kā arī pārklājuma noturības analīzei. Tā varētu būt vienlīdz atbalstoša gan jaunu tekstiliju un modifikācijas metožu un procesu attīstības jomā, gan kontroles instruments ražošanas, lietošanas un otrreizējās pārstrādes/likvidācijas procesos.

### **Aizstāvamās tēzes**

1. Jaukta šķiedru sastāva kokvilnas/poliamīda rūpnieciski adītu platinēta gludpinuma zeķu izstrādājumu modifikācija ar silīcija bāzes solu, modificētu ar tajā integrētu cinka acetāta dihidrāta prekursoru, nodrošina zeķu antibakteriālu iedarbību, vieglas tīrīšanas efektu un palielina nodilumizturību, kā arī saglabā īpašības, kas nodrošina valkāšanas komfortu.
2. Piemērojot Furjē transformācijas infrasarkanās spektroskopijas procesā iegūto datu papildapstrādi, rodas iespēja iegūt ne tikai kvalitatīvus, bet arī kvantitatīvus datus jaukta šķiedru sastāva platinētas gludpinuma trikotāžas tehnoloģiskā procesa parametru ietekmes un modifikācijas efektu novērtēšanai.
3. Piemērojot izstrādāto tehnoloģiju kokvilnas dzijas modifikācijai, sola-gēla procesā veiktās procesa parametru fizikālo un mehānisko īpašību izpētes rezultātā izveidotais matemātiskais apraksts regresijas vienādojumu un atbalss virsmas divu dimensiju šķēlumu formā ļauj prognozēt modificētās dzijas un adītās struktūras fizikālās, mehāniskās, funkcionālās un valkāšanas komfortu nodrošinošās īpašības atkarībā no modifikācijas procesa parametriem. Promocijas darba gaitā izveidotā kokvilnas dzijas

sola-gēla modificēšanas procesa tehnoloģijas parametru fizikālo un mehānisko īpašību izpētes matemātiskais apraksts regresijas vienādojumu un atbalss virsmas divu dimensiju šķēlumu formā ļauj prognozēt modificētās dzijas un adītās struktūras fizikālās, mehāniskās, funkcionālās, kā arī valkāšanas komfortu nodrošinošās īpašības atkarībā no modificēšanas procesa parametriem.

4. Jaukta šķiedru sastāva trikotāžas ar poliamīda un poliesteru šķiedru daļu līdz 30 % funkcionalizāciju iespējams nodrošināt, iestrādājot adīšanas procesā platinētajā struktūrā modificētas kokvilnas dzijas komponenti, nepakļaujot adīšanas procesā integrētās valkājāmās elektronikas komponentes agresīvo funkcionalizācijas procesa parametru iedarbībai, tādējādi saglabājot valkājāmās elektronikas ilgstošu veiktspēju.

### Promocijas darba aprobācija

Raksti zinātniskajos žurnālos, kas indeksēti *Web of science* un/vai *Scopus* datubāzē

- **Baķe, I.**, Kukle, S., Beļakova, D. Surface Characteristics of Sol-Gel Treated Single Jersey Plated Socks. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2021, Vol. 16, 1.–9. lpp. e-ISSN 1558-9250. Pieejams: doi:10.1177/1558925021996711.
- Zelča, Z., Kukle, S., **Baķe, I.** Modification of Natural Fibers with Sol-Gel Technology Durability of Coatings and Study of Structure. In: *Nano, Bio, Green and Space: Technologies for Sustainable Future*, Bulgaria, Albena, 30 Jun–6 Jul., 2019. Sofia: STEF92 Technologies Ltd., 2019, pp. 281–288. ISBN 978-619-7408-88-1. ISSN 1314-2704. Available from: doi:10.5593/sgem2019/6.1.
- **Baķe, I.**, Afanasjeva, V., Kukle, S. Evaluation of Modified Knitwear Properties. No: 18th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”: Proceedings, Latvija, Jelgava, 22.–24. maijs, 2019. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2019, 1073.–1078. lpp. e-ISSN 1691-5976. Pieejams: doi:10.22616/ERDev2019.18.N433.
- **Baķe, I.**, Afanasjeva, V., Kukle, S. Modification of Cotton Yarns for Smart Socks Production. In: *Key Engineering Materials*, Latvia, Riga, 26–26 October, 2018. UK: Trans Tech Publications Ltd., 2019, pp. 331–335. Available from: doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.800.331.

Raksti zinātnisko rakstu krājumos

- Kukle, S., **Baķe, I.**, Vihodceva, S., Zelča, Z. Evaluation of Deposited Nano-Scale Coating Structures and Their Interaction with Cotton/Polyamide Substrats. No: 27th Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE-27): Conference Proceedings, Spānija, Granada, 14.–20. jūlijs, 2019. Granada: University of Granada, 2019, 1.–3. lpp.
- **Baķe, I.**, Lukaševiča, B., Vihodceva, S., Zelča, Z., Kukle, S. Experimental Analysis of Cotton-Based Textile Surface Modification Influence on Wear Comfort. In: 18th Autex World Textile Conference: Proceedings, Turkey, Istanbul, 20–22 June, 2018. Istanbul: 018, pp. 211–215.

Konferenču tēzes:

- **Baķe, I.** In Vitro Assessment of Antibacterial Activity of Modified Textiles. No: *Materials Science and Applied Chemistry 2019: 60th International Scientific*

Conference: Programme and Abstract Book, Latvija, Rīga, 24.–24. oktobris, 2019. Rīga: RTU Press, 2019, 29.–29. lpp.

- **Baķe, I.**, Kukle, S., Zelča, Z. Study of Sol-Gel Synthesis Parameter Influence on Modified Knitwear Surface Wettability. No: 4th International Conference on Natural Fibers Smart Sustainable Solutions (ICNF2019): Book of Abstracts, Portugāle, Porto, 1.–3. jūlijs, 2019. Porto: 2019, 420.–421. lpp. ISBN 978-972-8600-30-3.
- **Baķe, I.**, Lukaševiča, B., Vihodceva, S., Zelča, Z., Kukle, S. Experimental Analysis of Cotton-Based Textile Surface Modification Influence on Wear Comfort. No: 18th Autex World Textile Conference: Proceedings, Turcija, Istanbul, 20.–22. jūnijs, 2018. Istanbul: 2018, 115.–117. lpp.

Ar promocijas darbu nesaistītas publikācijas

- Zelča, Z., Kukle, S., Kajaks, J., **Baķe, I.** Effect of Ageing on Hemp Waste/Polyethylene Composites Surface Properties. In: 19th International Scientific Conference "Economic Science for Rural Development 2018": Proceedings. No. 48, Latvia, Jelgava, 20–22 May, 2020. Rīga: Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2020, pp. 204–211. ISSN 1691-5976. Available from: doi:10.22616/ERDev2020.19.TF048.

Patents

- **Ieva Baķe**, Dana Beļakova, Silvija Kukle, Zane Zelča. Paņēmiens papildfunkcionālo īpašību piešķiršanai trikotāžas izstrādājumiem, modificējot tekstilpavedienus. Patenta nummurs: LV15500B. 2010.2021.

## 2. DARBA SATURS

### 2.1. Situācijas analīze

Tekstilrūpniecība ir viena no lielākajām un svarīgākajām ražošanas nozarēm visā pasaulē, kurā strauji attīstās tendences apvienot tradicionālās zināšanas ar rūpniecības un tehnoloģiju sasniegumiem, radot produktus ar augstu pievienoto vērtību [9].

Funkcionālās tekstilijas (FT) aptver plašu pēc dažādiem principiem klasificējamu tekstilizstrādājumu spektru, vadoties no funkcionālām īpašībām, iedalot tās sešās lielās grupās (2.1. tab.). Tekstilizstrādājumi ar tādām veselības aprūpes funkcijām, kā antibakteriālas, dezodorējošas, pelējuma necaurļaidīgas un ar tālā infrasarkanā starojuma funkciju var nogalināt vai kavēt baktēriju, pelējumu un citu mikroorganismu augšanu un vairošanos, atvairīt vai nogalināt mikrobus un vīrusus, aizsargāt un uzlabot cilvēku veselību un novērst slimības.

2.1. tabula

FT klasifikācija pēc to īpašībā [10–14]

Klase	Nodrošinātās funkcijas
Komforta funkcija	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vienas virsmas efekts “<i>single-wizard effect</i>”.</li><li>• Aizsardzība pret nokrišņiem.</li><li>• Termoregulējošas un antistatiskas īpašības.</li></ul>
Aizsardzība	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aizsardzība pret ultravioleto (UV) starojumu, ķīmiju, elektromagnētismu, dūrieniem, šķembām, trokšņiem.</li><li>• Termālā aizsardzība.</li><li>• Medicīniskie fiksatori.</li></ul>
Medicīna	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aizsardzība pret baktērijām, moskītiem, smakām, ērcēm, infrasarkanā starojumu.</li></ul>
Viedās tekstilijas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bioloģisks un fizioloģisks monitorings, telemedicīna.</li><li>• Bezvadu uzraudzība, attālināta datu pārvaldība.</li><li>• Formas atmiņa.</li><li>• Reakcija uz ārējiem stimuliem (krāsu maiņa u. c.).</li></ul>
Viegla kopšana “ <i>easy to clean</i> ”	<ul style="list-style-type: none"><li>• “<i>Esay to clean</i>” viegla tīrīšanas īpašības.</li><li>• Aizsardzība pret burzīšanos.</li><li>• Antibakteriālas un antimikrobiālas īpašības.</li><li>• Izturība pret tīrīšanu ar spēcīgiem tīrīšanas līdzekļiem.</li><li>• Pret pirkstu nospiedumiem.</li><li>• UV aizsardzība.</li><li>• Gaisa attīrīšana.</li></ul>

Virsmas modifikāciju var iedalīt divās kategorijās: slapjā/ķīmiskajā un fizikālajā modifikācijas procesā. Pirmā kategorija ietver materiāla virsmas nanoapstrādes procesus, kuros kolodiāls šķīdums vai tā dispersija izmantota, lai tekstila materiāliem uzlabotu un nodrošinātu dažādas papildu funkcijas [15].

Tādu tehnoloģiju ieviešana kā apstrāde ar plazmu, sola-gēla tehnoloģija un nanodaļiņu lietojums tekstilizstrādājumu ražošanā ir ļāvis ieviest produktus ar unikālām īpašībām un augstu pievienoto vērtību [16]. Šāda veida apdarēm ir dažādas priekšrocības:

- mazāks nanomateriālu daudzums un apdarē izmantotie beztaras materiāli nekā tradicionāliem apdares veidiem;
- apdare neietekmē tekstilizstrādājuma estētisko izskatu un sajūtu;

- pārklājumi ir izturīgāki, jo tiek palielināta nanomateriālu virsmas laukuma un tilpuma attiecība, kā arī nodrošināts viendabīgs tekstilmateriāla pārklājums;
- iespēja piešķirt papildfunkcijas [15].

## 2.2. Eksperimentālā un metodiskā daļa

Rūpnieciski adītas kokvilnas 81 % / PA19 % zeķes un 100 % kokvilnas dzija (lineārais blīvums 24 tex), kas pakļautas funkcionalizācijai sola-gēla procesā.

### Sola sintēze un modificēšanas tehnoloģija

Sola sintēze un modificēšanas tehnoloģija balstīta zinātni doktores Svetlanas Vihodcevas izstrādātajā [17]. Sola šķīdumā izmantotie reaģenti apkopoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Izmantoto reaģentu saraksts			
VIELAS NOSAUKUMS	FORMULA	RAŽOTĀJS	TĪRĪBA, %
<b>TETRAETILORTOSILIKĀTS (TEOS)</b>	$C_8H_{20}O_4Si$	ACRŌS, OORGANICS Beļģija	≥ 98 %
<b>ETANOLS</b>	$C_2H_5OH$	ES (izplatītājs SIA "Enola")	≥ 99,98 %
<b>FLUORŪDERAŽSKĀBE</b>	HF	SIGMA-ALDRICH Vācija	≥ 40 %
<b>CINKA ACETĀTA DIHIDRĀTS</b>	$Zn(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$	FIRMA CHEMPUR Polija	analīt. tīrs
<b>ETIĶSKĀBE</b>	$CH_3COOH$	FIRMA CHEMPUR Polija	≥ 99,98 %

Sola sintēzē ir izmantots silīcija alkoksīds (TEOS). TEOS pievieno etanolu, tad, šķīdumu maisot, pievieno destilētu ūdeni ar HF vai etiķskābi, ko attiecīgi tālāk silda līdz 50 °C temperatūras 30 min. Tad pievieno cinka acetāta dihidrātu (CAD), šķīdumu maisot silda 10 min., līdz ir iegūta viendabīga masa un cinka savienojums ir izšķīdis [17]. Modifikācijas laikā dažām paraugu grupām tika optimizēta šķīduma attiecība pret paraugu svaru, lai samazinātu liekā šķīduma daudzumu, kā arī novērotu proporcijas izmaiņu ietekmi uz komforta un mehāniskajām īpašībām. Ar kalandru tika piemērota vienmērīga paraugu nospiešana. Paraugi tika žāvēti izkārtā veidā, līdz sausi. Pēc tam tika piemērota paraugu karsēšana, variējot ar temperatūru un karsēšanas laiku (visi varianti apkopoti 2.2. tab.).

## 2.3. Paraugu sagatavošana modifikācijai un to pirmsapstrādes

### Hidrotermiskā apstrāde

Visi paraugi pirms un pēc apstrādes pakļauti hidrotermiskai (HT) apstrādei saskaņā ar standartu *ISO 6330:2021* [18], kas nosaka maigu mazgāšanas režīmu 30 °C temperatūrā 46 min. izmantojot 5 g/l standartā noteikto mazgāšanas līdzekli bez fosfāta un optiskiem balinātājiem "SDC Enterprise Limited. 2304 Standart Sopa". Kokvilnas dzija vārīta 100 °C temperatūrā, pēc tam mazgāta ar rokām, nodrošinot maksimāli vienmērīgus un līdzīgus apstākļus, un skalota divas reizes destilētā ūdenī. Pēc mazgāšanas paraugi žāvēti istabas temperatūrā iekārtā veidā.

### **Paraugu papildapstrāde pirms modifikācijas**

Dažām paraugu grupām piemēroti papildu pirmsapstrādes soļi. Paraugi tika izturēti ūdens un acetona šķīdumā (attiecība 1:1 ūdens, 500 ml acetons) 10 min. un skaloti divas reizes destilētā ūdenī. Kokvilnas dzija pirms modifikācijas mazgāta 100 °C temperatūrā un skalota destilētā ūdenī.

### **Modificētās dzijas paraugu pārstrāde trikotāžas drānās**

Modificētās un nemodificētās dzijas paraugi ar mehāniskajām tītavām “*Brother. Profesional wool winder. KA-719*” pārtīti no ficēm uz krustspolēm, sagatavojot tos adīšanai. Kokvilnas dzija, kurai tiek pievienots poliamīds/poliesteris un elastāns, tiek pārstrādāta gluda pinuma trikotāžas drānās, izmantojot viencilindra zeķu adāmmašīnas “*Lonatti 14-th gauge, 156 adatas, 3 ½ collas*”.

### **Drānu tekstiliju struktūras raksturojošo lielumu novērtēšana**

Visiem adītajiem paraugiem tika noteikti šādi raksturojošie lielumi:

- sastāvs, %: precīzs drānas sastāvs noteikts, sadalot 200 mm<sup>2</sup> lielu paraugu laukumu pavedienu vienībās – kokvilnas, poliamīda (poliestera) un elastāna pavedienos, kuru precīzu svaru iegūst, izmantojot analītiskos svarus “*Techniport. Typ PRLT T5*”, EN 12127:1997 [19];
- trikotāžas blīvums horizontālajā ( $b_h$ ) un vertikālajā ( $b_v$ ) virzienā kā vidējais aritmētiskais no trim paralēliem valdziņu skaita mērījumiem 100 mm<sup>2</sup> laukumā horizontālā un vertikālā virzienā, EN 14971:2006 [20].

## **2.4. Testēto paraugu raksturojums un atšifrējumi**

Kopumā apstrādātos un testētos paraugus var iedalīt trīs grupās:

- rūpnieciski ražota jauktu šķiedru zeķes 81 %CO / 19 %PA un 100 % sintētisko šķiedru drāna;
- kokvilnas dzija (24 tex);
- eksperimentālas trikotāžas drānas, adītas no modificētas kokvilnas dzijas un nemodificētiem PA vai PES šķiedru pavedieniem.

Datu analīzei un ticamības novērtēšanai izmantota matemātiskā modelēšana, balstoties pirmās pakāpes pilna faktoru (PFE) plānos 2<sup>3</sup> un 2<sup>2</sup> (regresijas vienādojumi, virsmas 2D šķēļumi) [21], korelācijas un histogrammu analīze.

2.3. tabula

Paraugu apzīmējumi un to atšifrējumi

Apzīmējums	Modif.	Katalizators		Paraugu priekšapstrāde		CAD mas.%		Paraugu masa pret šķiduma tilpumu solā, g/ml			Konsolidācijas temp., °C		Konsolidācijas laiks, min				HT apstrāde pēc modif.	Trikotāžas labā/kreisā puse FTIR testos	
		HF	CH <sub>3</sub> OOH	Mazgāts	Acetons	5	7,5	8	10	12	100	120	5	8	10	15		Labā	Kreisā
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ks1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ks2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ms1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ms2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H7,5/120/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE7,5/120/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5/-100/8M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5/-120/8M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5/-100/8A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5/-120/8A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5-100/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5-100/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5-120/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5-120/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M5-100/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M5-100/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M5-120/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M5-120/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MM5-100/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MM5-100/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



2.3. tabula (turpinājums)

Paraugu apzīmējumi un to atšifrējumi

Modif.	Katalizators		Paraugu priekšapstrāde		CAD mas.%		Paraugu masa pret šķīduma tilpumu solā, g/ml				Konsolidācijas temp., °C		Konsolidācijas laiks, min				HT apstrāde pēc modif.	Trikotāžas labā/kreisā puse <i>FTIR</i> testos	
	HF	CH <sub>3</sub> OOH	Mazgāts	Acetons	5	7,5	8	10	12	100	120	5	8	10	15	Labā		Kreisā	
Apzīmējums																			
MM5-120/5		-		-															
MM5-120/8		-		-															
M7,5-100/5		-		-															
M7,5-100/8		-		-															
M7,5-120/5		-		-															
M7,5-120/8		-		-															
MM7,5-100/5		-		-															
MM7,5-100/8		-		-															
MM7,5-120/5		-		-															
MM7,5-120/8		-		-															
M/1:10/10		-		-															
M/W/1:10/10		-		-															
MWT/1		-		-															
MWT/2		-		-															
MWT/3		-		-															
MWW/4		-		-															
M/W/1:8/5		-		-															
M/W/1:8/15		-		-															
M/W/1:12/5		-		-															
M/W1:12/15		-		-															

## 2.5. Mehānisko un komforta īpašību testēšanas metodes

Pirms modifikācijas un testēšanas paraugi izturēti konstanta klimata kamerā “*Binker KBF 115*” 24 stundas normālos klimata apstākļos ( $20 \pm 2$  °C, relatīvais mitrums  $65 \pm 5$  %) saskaņā ar standartu *ISO 139:2005* [22].

**Dzijas stiprības noteikšana** Dzijas trūkšanas stiprība, to izstiepjot, ir viens no galvenajiem kvalitātes rādītājiem. Dzijas stiprību nosaka ar raujamām mašīnām, kur slodzes iedarbībā materiālā rodas iekšējie spriegumi, sasniedzot maksimālo robežu, materiāls pārtūkst. Paraugu skaits – 100 katrā testēto paraugu kopā. Parauga garums starp spīlēm – 500 mm. Piemērotais iepriekšējais nostiepums 12 cN ( $0,5 \text{ cN/tex} \pm 0,1 \text{ cN/tex}$ ) vērtībā saskaņā ar standartu (*ISO 2062:2009*) [23], izrietot no dzijas blīvuma – 24 tex.

Izmantotas iekārtas

- Raujamā mašīna “*PM-3-1*”. Pavediens tiek nostiprināts iekārtas augšējā un apakšējā spīlē. Parauga garums – 200 mm, paraugu skaits – 100. Pavediens tiek izstiepts līdz tā pārtūkšanai, un mērījums tiek nolasīts pārtūkšanas brīdī. Pēc testēšanas pavediens tiek nosvērts, izmantojot analītiskos svarus “*Techiport. Typ PRLT T5*”, ar precizitāti 0,001 g.
- Universālā testēšanas iekārta “*Instron 3000*”. Iegūtie dati tiek monitorēti un apstrādāti, izmantojot “*Instron Bluehill Lite Material Testing Software*” programmatūru.

### Nodiluma izturības novērtēšana

Drānas berzes izturība tiek novērtēta, fiksējot ciklu skaitu, kādu paraugs izturējis līdz sagrūšanai. Adījumos tas tiek fiksēts, ja pātrūcis ir vismaz viens pavediens [24].

Testiem izmantota “*SDL Atlas M235 Martindale*” iekārta. Martindeila abrazīvtesterī nodilumizturības pārbaudei paraugi tiek pakļauti neorientētai berzei (*LVS EN ISO 12947-1:2001*) [25], paraugu (D=38 mm) fiksējot paraugu turētājā ar valkājamo pusi uz leju; kā abrazīvs tiek izmantots standarta vilnas ķemmdzijas audums (D=140 mm), izvēloties piespiešanas slodzi  $595 \pm 7$  g atbilstoši apģērbu un mājas tekstiliju nominālajam spiedienam 9 kPa, kas raksturo apstākļus, ar kādiem tekstilija saskaras reālos apstākļos.

### Gaisa caurlaidība

Paraugu gaisa caurlaidību (GC) tiek novērtēta ar gaisa caurlaidības koeficientu, mērot gaisa daudzumu, kas iziet cauri 5 cm<sup>2</sup> parauga laukumam noteiktā laikā pie gaisa spiediena starpības abās pusēs 30 Pa un 100 Pa. Tests veikts ar “*SDL Atlas Air Permeability*” iekārtu saskaņā ar standartu (*ISO - ISO 9237:1995*) [26]. Katram paraugam veikti 10 mērījumi dažādās vietās.

### Slapināšanas līdzsvara leņķa novērtēšana

Paraugu slapēšanas leņķis noteikts ar optisko tensiometru “*Theta Attension*”, izmantojot piliena metodi ar precizitāti  $\pm 0,1^\circ$ . Iekārta automātiski veic un ieraksta visus mērījumus, fiksējot piliena tilpuma izmaiņas un slapēšanas leņķi. Katram paraugam veikti 3–5 mērījumi vienas minūtes intervālā.

## **Tvaika caurlaidības un siltuma pretestības novērtēšana**

Abiem testiem izmantota “*Permetest. Skin model*” iekārta. Siltuma pretestību (SP) nosaka, temperatūras starpību starp abām testējamā materiāla pusēm dalot ar radītās siltuma plūsmas vienību uz zonu gradienta virzienā. Siltuma pretestība, izteikta ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )/W, raksturo tekstila vai kompozītu sausa silta gaisa plūsmu izmantotajā laukumā, reaģējot uz vienmērīgi lietoto temperatūras gradientu (ISO 11092:2014) [27].

Siltuma pretestības mērīšanai tiek iestatīta ierīces temperatūra  $T_m = 35\text{ °C}$  un gaisa ventilācijas ātrums  $v_a = 1\text{ m/s}$ , nodrošinot laboratorijā gaisa temperatūru  $T_a = 20\text{ °C}$  un relatīvo mitrumu 65 % robežās.

Iekārta nosaka ūdens tvaika pretestību  $1\text{--}200\text{ m}^2\text{ Pa/W}^{-1}$  diapazonā un relatīvo ūdens tvaika caurlaidību 0,5–100 % robežās. Pirms testēšanas iekārta tiek kalibrēta ar standartizētām drānām (ISO 11092:2014) [27]. Ierīces  $T_m$  un gaisa  $T_a$  temperatūra tiek iestatīta līdz  $35\text{ °C}$ , relatīvajam mitrumam ir jābūt ap 40 %. Iesākot abas testēšanas metodes, tiek fiksēta apkārtējā gaisa temperatūra un relatīvais gaisa mitrums.

## **2.6. Uznestā pārklājuma novērtēšanas metodes**

### **Antibakteriālo īpašību analīze**

Diska difūzijas metode jeb Kirbija–Beuera metode tiek izmantota, lai pārbaudītu strauji augošo mikroorganismu un patogēnu attīstību, izmantojot petri plates ar agara bāzes barības vielām (DIN EN ISO 20645). Modificētie un nemodificētie paraugi inkubēti 18 stundas,  $37 \pm 2\text{ °C}$  temperatūrā. Rezultāti balstās inhibīcijas zonas izmēru paraugos, kā arī baktēriju apauguma vērtējumā zem parauga. Modificēto un nemodificēto tekstiliju antibakteriālā aktivitāte noteikta trim kultūrām – grampozitīvo baktēriju *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) un *Bacillus subtilis* (mscL 1141), un gramnegatīvo baktēriju *Escherichia coli* (ATCC 25922), paraugu izmērs  $\text{Ø}11\text{ mm}$ , katrai kultūrai nodrošināti seši paralēlie mērījumi. Testi veikti Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un mikrotehnoloģijas institūtā un “BIOR” Mikrobioloģijas un patoloģijas laboratorijā.

### **Skenējošā elektrostaru mikroskopija (SEM) un enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas (EDS) analīze**

Paraugu virsmas mikrogrammas uzņemtas ar skenējošo elektronstaru mikroskopu (SEM) ar “*SEM Mira Tescan HF*”, ķīmiskā sastāva analīze veikta, izmantojot “*SEM Mira Tescan HF*” ar “*Oxford Inca X-sight EDX*” detektoru RTU Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūtā

### **Furjē transformāciju infrasarkanās spektroskopijas (FTIR)**

Furjē transformāciju infrasarkanā spektroskopijas procesā tiek reģistrētas un analizētas interferogramas no gaismas avota pilnā spektra. Lai iegūtu jaukta šķiedru sastāva platinētās trikotāžas struktūras, tehnoloģijas un funkcionalizācijas izpētes un kontroles vajadzībām atbilstošus spektrus ar noteiktu ticamības līmeni tradicionālā pieejā veiktas vairākas izmaiņas.

- 1) Spektāranalīzē viena seansa laikā iegūto nemodificēto un modificēto paraugu spektru absorbcijas koeficientu skaitliskās vērtības tiek pārnestas *Excel* tehnoloģiskajā vidē, kas dod iespēju novērtēt viļņu skaitļiem atbilstošo ordinātu izkledi un noteikt spektru skaitu, kas nepieciešams vidējo vērtību nodrošināšanai pieļaujamās relatīvās kļūdas robežās.

- 2) Iegūtie spektri tālākai apstrādei pakļauti normēšanai, kas dod iespēju veikt salīdzinošas analīzes.
- 3) Ņemot vērā to, ka platinētu adījumu abās pusēs uz virsmas ir atšķirīgi (pēc šķiedru sastāva un citām īpašībām) dominējošie pavedieni, spektri, kas uzņemti katrai adījuma pusei, ietver bagātu informāciju par attiecīgās virsmas struktūru, ķīmiskajām grupām, absorbcijas izmaiņām uznestā pārklājuma ietekmē, ļauj konstatēt pārklājuma intensitāti un izsekot parametru izmaiņu ietekmi.
- 4) Lai atvieglotu rezultātu ātru nolasišanu, uz horizontālās ass viļņu skaitļi parādās pieaugošā secībā, *Excel* rīki ļauj viegli un precīzi veikt kvantitatīvus koordināšu nolasiņumus vai ātri novērtēt smailēm atbilstošus frekvenču diapazonus.
- 5) Diferenču spektri ļauj kvantitatīvi novērtēt pārklājuma radītās absorbcijas izmaiņas, kas ir būtiski, ņemot vērā to, ka gandrīz visā viļņu skaitļu diapazonā kokvilnas celulozes un silīcija sola ķīmisko grupu/saišu svārstības pārklājas; pievienojoties sintētiskajiem pavedieniem, iespējams izsekot modifikācijas efektivitātei uz tiem.

Eksperimentālo paraugu spektri uzņemti RTU MTAF laboratorijā ar spektrometru “*Bruker Tensor IP*”, izmantojot pavājinātās kopējas refleksijas (*ATR*) metodi. Izmantotais kristāls – dimants ar spektrālo diapazonu 50 000–2500 cm<sup>-1</sup>, refrakcijas indekss:  $n = 9000$ , mērīšanas dziļums pie 45° – 1,66 μm.

Platinētu adītas drānas struktūras un īpašību izpētē ieviesti šādi izpētes posmi:

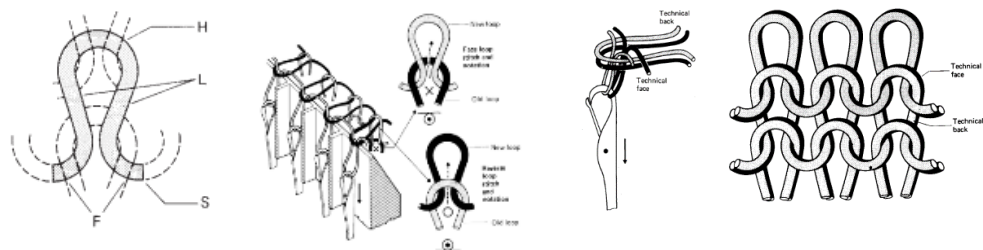
- 1) atsevišķi novērtē abas adījuma puses;
- 2) sākotnēji spektru apstrādi veic ar “*SpectraGryph. Spectroscopy Software*” tiešsaistes programmu;
- 3) spektru apstrādi pārceļ uz *Excel* tehnoloģisko vidi;
- 4) nosaka uzņemamo spektru skaitu, lai fiksēšanas kļūda nepārsniegtu 5 %;
- 5) veic katras kopas vidējā spektra normēšanu;
- 6) veido analīzei nepieciešamās spektru kombinācijas, veic to salīdzinošu analīzi;
- 7) veido diferenču spektrus, ja nepieciešams, un veic to interpretāciju.

## REZULTĀTI UN TO SKAIDROJUMS

### 3. Jauktu šķiedru sastāva trikotāžas izstrādājumu modifikācija

Tradicionāli T kreklu un zeķu izstrādājumu izgatavošanai lieto šķērsadītās [28] trikotāžas pinumus, adījumu veidojot no kokvilnas dzijas vai to kombinējot ar sintētiskajiem poliamīda vai/un poliestera un elastāna pavedieniem. Jaukto šķiedru pavedienus kombinē tā, lai nodrošinātu saskarē ar ādu nepieciešamo valkāšanas komfortu (nodrošina ar 75–80 % kokvilnas dziju), nodilumizturību (nodrošina 18–20 % poliamīda vai poliestera pavedieni) un elastību (nodrošina 3–5 % elastāna pavedieni).

Adīšanas procesā savienojot dažādos pavedienus un regulējot to nostiepuma attiecības, tiek iegūts platinēts trikotāžas adījums. Tas ir svarīgi paredzēto funkcionālo īpašību nodrošināšanai: uz virsmas, kas valkāšanas procesā ir saskarē ar ādu, pārsvarā ir modificētās kokvilnas pavedienu veidotie valdziņu loki H, uz ārējās virsmas pārsvarā – poliamīda vai/un poliestera ar elastānu kombinētu pavedienu valdziņu stabiņi L (3.1. att.), nodrošinot nepieciešamo nodilumizturības līmeni.



a) Adatas cilpas savienošanās punkti; b) kreisās un labās puses valdziņu veidošanās; c) platinēta adījuma valdziņu un virsmu veidošana.

3.1. att. Šķērsadītās platinētas trikotāžas izstrāde uz apaļadīšanas automāta [28].

### Kokvilnas/PA zeķu izstrādājumu raksturojošie parametri un eksperimentu plānojums

Pētījumam pakļautas platinēta gludpinuma rūpnieciski šķērsadītās trikotāžas zeķes ar šādu sastāvu: 81 % ekoloģiski audzēta kokvilnas dzija (CO) un 19 % poliamīda pavedieni (PA). Vidējais valdziņu blīvums 10 cm<sup>2</sup> laukumā ir 100 valdziņi vertikālajā un 90 – horizontālajā virzienā. Ņemot vērā to, ka šī sortimenta zeķu izstrādājumi paredzēti valkāšanai gada siltākajos mēnešos un līdz ar to tiek regulāri pakļauti hidrotermiskajai (HT) apstrādei, funkcionalizācijas mērķis ir nodrošināt virsmas pašattīrīšanās spēju, tādējādi samazinot HT apstrādes bargumu un palielinot starplaikus, tai pat laikā ievērojami nesamazinot valkāšanas komfortu nodrošinot izstrādājuma īpašības. Īpaši svarīga šāda veida funkcionalizācija ir izstrādājumos ar integrētu valkājāmās elektronikas sistēmu, ņemot vērā to, ka sistēmas elementu veiktspēja strauji samazinās ar katru HT apstrādes ciklu un to atteikumi iestājas krietni pirms zeķu izstrādājuma fiziskās kalpošanas laika beigām.

Problēmas risinājumam pirmās pakāpes pilna faktoru eksperimenta (PFE) plānā 2<sup>3</sup> [21] sola-gēla procesa noslēdzošās daļas optimizācijai iekļauts karsēšanas laiks ( $x_1$ ), temperatūra ( $x_2$ ), kā trešo pētāmo mainīgo ( $x_3$ ) pievienojot modificējošā prekursora CAD koncentrāciju solā.

Visu trīs faktoru variēšanas intervāli un līmeņi izvēlēti, balstoties iepriekšējos pētījumos pamatotajās atziņās 100 % kokvilnas audumam, un parādīti pilna faktoru eksperimenta 2<sup>3</sup> plānā (3.1. tab.).

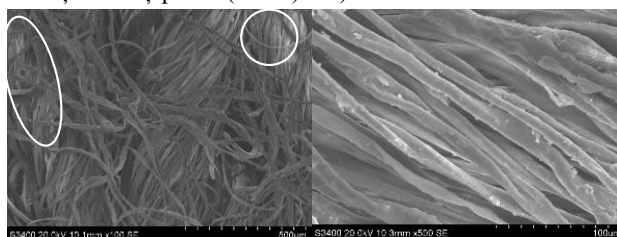
3.1. tabula

Pilna faktoru eksperimenta 2<sup>3</sup> plāns

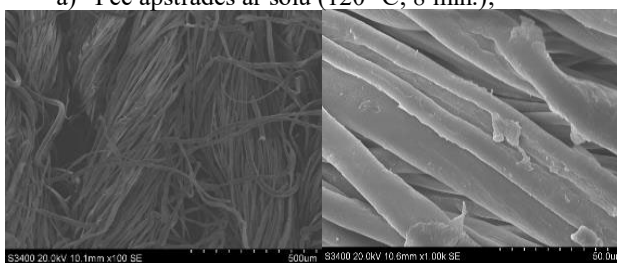
FAKTORU APZĪMĒJUMS	FAKTORI	KODĒTI FAKTORU LĪMEŅI			VARIĒŠANAS INTERVĀLS
		-1	0	1	
X <sub>1</sub>	Termiskās apstrādes laiks, min	5	6,5	8	1,5
X <sub>2</sub>	Termiskās apstrādes temperatūra, °C	100	110	120	10
X <sub>3</sub>	Cinka acetāta dihidrāta CAD koncentrācija, mas. %	5	6,25	7,5	1,25

### Šķiedru virsmas mikro struktūra

Saīdinot paraugu SEM mikrogrāfijas pēc modifikācijas un procesu noslēdzošās HT apstrādes, redzams, ka pēc modifikācijas ar 5 mas.% CAD solu uz šķiedru virsmas pārklājuma ir vērojami daļēji izreaģējuša sola trīs dimensiju aglomerāti ar samērā vāju saistību ar virsmu, kā arī dažas salīpušu šķiedru šķipsnas (3.2. a) att.).



a) Pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.);

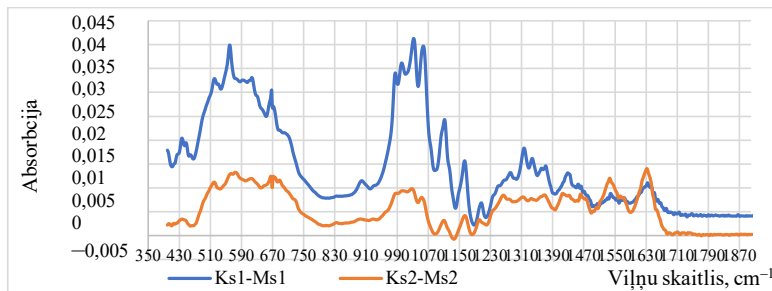


b) pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.) un HT apstrādes.

3.2. att. Ar 5 mas.% CAD modifcētu solu apstrādātu paraugu mikrogrāfijas: a) pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.); b) pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.) un HT apstrādes.

HT apstrādes procesā liela ūdens apjoma klātbūtnē turpinās pārklājuma konsolidācija ar šķiedru virsmu, rezultātā mikrogrāfijās nav saskatāmas salīpušu šķiedru šķipsnas (3.2. b) att. pa kreisi), šķiedru virsmas pārklājumi ir nogludinājušies, saglabājas nedaudzi lielākos veidojumos salīpuši aglomerāti (3.2. b) att. pa labi).

### Salīdzinoša ATR-FTIR analīze



3.3. att. Kokvilnas/poliamīda zeķu izstrādājumu salīdzinoši absorbcijas diferencu spektri.

CO/PA diferencu spektri ļauj gūt ieskatu par pārklājuma absorbcijas smailu sadalījumu adījuma virsmas modifikācijas rezultātā un ļauj veikt pārklājuma sastāvā izveidojušos ķīmisko grupu identifikāciju, kas, vispārīgi runājot, ir sarežģīti, ņemot vērā to, ka sola-gēla process ierobežoto karsēšanas temperatūru dēļ nenotiek līdz galam, kā tas ir tad, ja karsēšana ir pieļaujama 600 °C un augstākā temperatūrā. Darba gaitā lietotā sola spektri [17] parāda sola ķīmisko grupu raksturīgās smailes frekvenču joslā 400–1650 cm<sup>-1</sup> un 2900–3600 cm<sup>-1</sup>, ja karsēšanas temperatūra ir 100 °C un 200 °C, un ļauj identificēt absorbcijas intensitātes pārklājuma ķīmisko grupu smailēm atbilstošās frekvenču joslās. Ņemot vērā to, ka pārklājuma biezums vidēji ir ~ 60 nm, bet absorbcijas mērījumi ietver ~ 1,7 μm biezu slāni, diferencu spektri parāda pārklājuma ietekmētas substrāta intensitātes izmaiņas platinētās struktūras iekšējā virsmā (3.3. att., Ks1-Ms1), kas raksturo salīdzinoši lielu intensitātes samazinājumu kokvilnas ķīmiskajām grupām atbilstošās viļņu skaitļu joslās un ļoti nelielu PA raksturīgajās (3.3. att., Ks2-Ms2), liecinot par absorbcijas intensitātes samazinājumu modificējošā pārklājuma ietekmē uz PA raksturīgajām smailēm 1537 cm<sup>-1</sup> un 1632 cm<sup>-1</sup>. Tādējādi diferencu spektri var kalpot ne tikai, lai identificētu pārklājuma esamību uz pavedienu šķiedrām, bet arī ļauj izsekot izmaiņas sekojošos procesos (HT apstrāde, valkāšana).

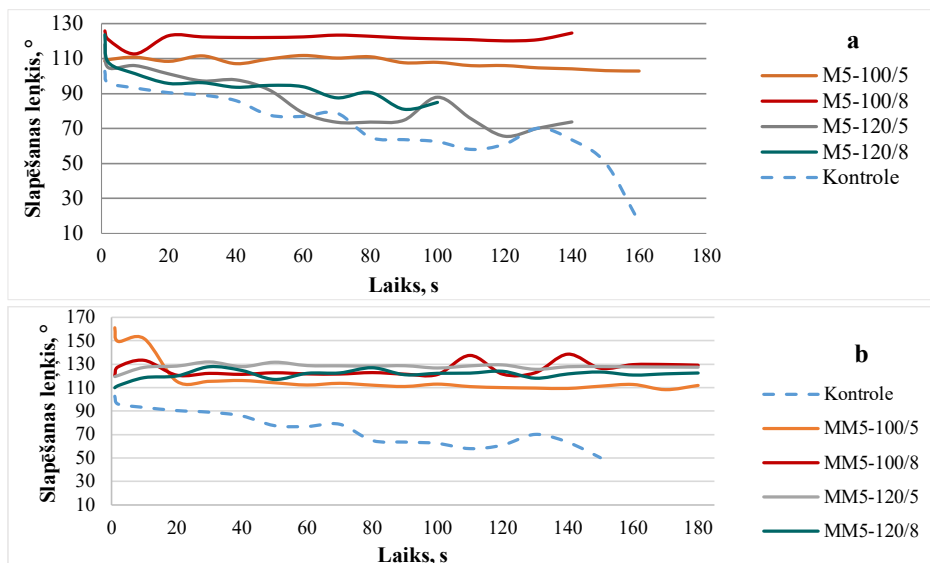
#### Virsmas slapējamības salīdzinošā analīze

Lai nodrošinātu “vieglas kopšanas” efektu, modifikācijas procesā jāpaaugstina hidrofilo šķiedru tekstiliju virsmas spēja atgrūst mitrumu (virsmas slapēšanas leņķis > 90°), tai pat laikā saglabājot valkāšanas komfortam nepieciešamo pārējā slāņa hidrofilo dabu. Veicot modificēto zeķu izstrādājumu variantu virsmas slapējamības salīdzinošo analīzi pēc modifikācijas ar 5 mas.% CAD solu (3.4. a) att.), redzams, ka karsēšanas temperatūra 120 °C nenodrošina stabili gaidīto efektu atšķirībā no šim solam piemērotajiem karsēšanas režīmiem 120 °C temperatūrā.

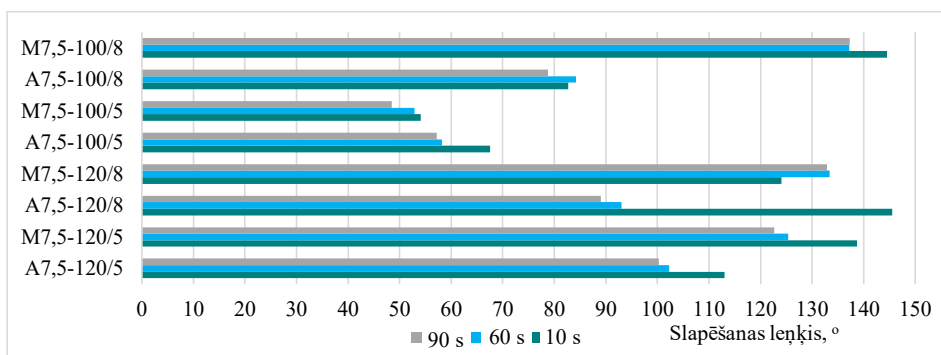
Savukārt pēc pirmā HT apstrādes cikla gan MM5-100/5 variantam (3.4. b) att.) ir vērojama strauja slapēšanas vidējā leņķa krišanās no 161,12° līdz 114 ± 2°, bet tas nostabilizējas šajā līmenī pēc 60 s. Tādējādi, neskatoties uz straujo sākotnējo slapēšanas leņķa samazinājumu, virsma raksturojama kā hidrofoba, un, taupot resursus, var izmantot arī šo karsēšanas režīmu.

Pēc HT apstrādes 120 °C temperatūrā karsēto zeķu virsma ir vienmērīgi hidrofoba, uzrādot mazāko slapējamību, ja karsēšanas laiks ir bijis 5 min. Palielinot karsēšanas laiku līdz 8 min. un saglabājot temperatūru 120 °C, slapēšanas līdzsvara leņķis samazinās līdz 120 °C (3.4. b)

att.). Stabilākie mērījumi ir paraugiem MM5-120/5, kur pēc apstrādes karsēšanas režīms ir 120 °C. Slapēšanas leņķis saglabājas stabils visu mērījuma laiku, izmainoties par  $8 \pm 2^\circ$  (3.4. a) un b) att.).



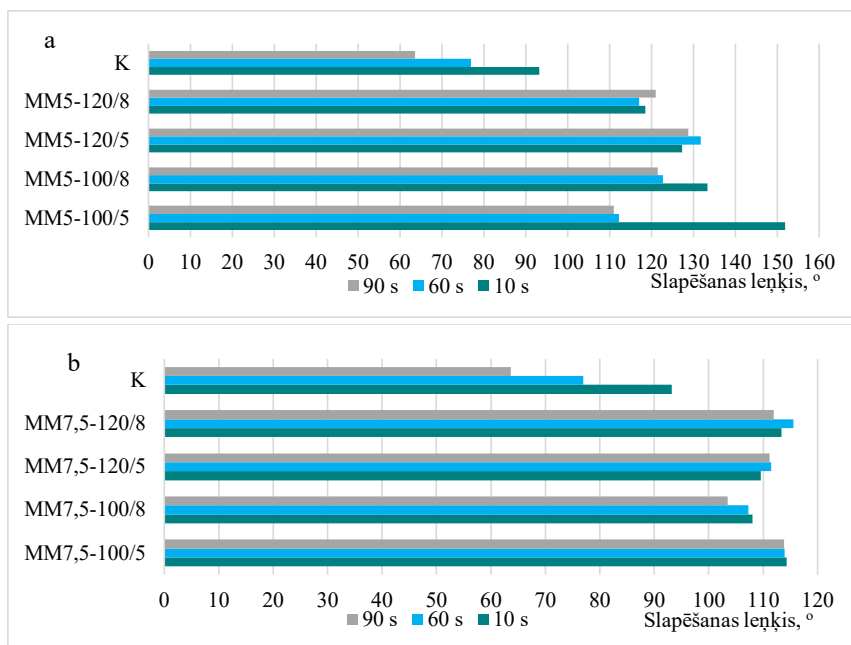
3.4. att. 5 mas.% CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējāmības salīdzinošā analīze: a) pirms HT apstrādes; b) pēc HT apstrādes.



3.5. att. Ar 7,5mas. % CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējāmības salīdzinošā analīze.

Pēc modifikācijas ar 7,5 mas.% CAD paraugu virsmas, kas pirms modifikācijas mērcētas acetona (50 % acetona šķīdums/5 min.), slapējas vairāk nekā tikai mazgātās (3.5. att.). Šāda tendence ir novērota visiem acetona apstrādātajiem paraugiem. Stabilākie rādījumi ir paraugam M7,5-120/8, kura piliena līdzsvara leņķis no uzpilināšanas mirkļa (3.6. a) un b) att.) līdz 60 s saglabājas virs  $120^\circ$ , izmainoties par  $\pm 10^\circ$ .





3.6. att. a) Ar 5 mas. %; b) 7,5 mas. % CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinošā analīze.

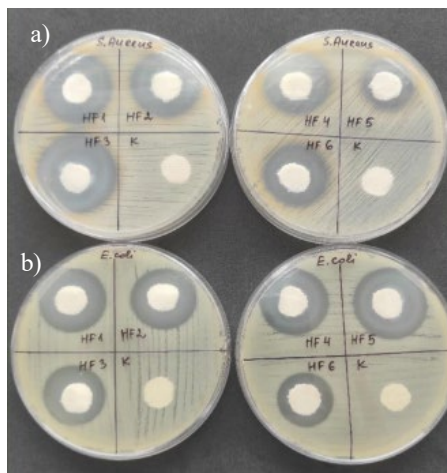
Kopumā, salīdzinot sola modifikatora CAD koncentrācijas ietekmi, var secināt, ka CO/PA adītās virsmas augstāku hidrofobitātes efektu (slapēšanas leņķis 110–130° robežās) var sasniegt ar 5 mas.% CAD saturu solā. Palielinot CAD saturu līdz 7,5 mas.%, virsmas slapējamība palielinās (slapēšanas leņķis samazinās līdz 100–115°), iespējams, samazinoties virsmas porainībai, palielinoties pārklājuma biezumam.

#### Antibakteriālās aktivitātes novērtēšana

Lietojot diska difūzijas metodi, modificēto tekstiliju antibakteriālā efektivitāte pētīta pret divām references kultūrām: grampozitīvo *Staphylococcus aureus* ATCC 2913 un gramnegatīvo *Escherichia coli* ATCC 25922. Antibakteriāla efektivitāte noteikta, novērtējot apauguma intensitāti virs un zem parauga, kā arī inhibīcijas zonas diametru.

Ar 7,5 mas.% CAD prekursora solu modificētas platinēta gludpinuma šķērsadītas trikotāžas (CO 81 %/PA19 %) paraugiem novērota izteikta antibakteriālā iedarbība pret abiem testētajiem mikroorganismiem (3.7. att.), ja kā katalizators sola sintēzē izmantota fluorūdeņražskābe.

Darba gaitā veiktie mēģinājumi aizvīdot HF pret videi draudzīgāko etiķskābi diemžēl nenodrošināja gaidīto antibakteriālā efekta intensitāti. Iespējams, nākotnē veicot turpmākos pētījumus, jāmeklē citi videi draudzīgāki vidēji stipra skābe. Tā, piemēram, varētu būt skudrskābe, bet jautājums ir, vai sols ar skudrskābi tā sastāvā ir lietojams PA šķiedras saturošu tekstiliju funkcionālai modifikācijai, jo PA šķīst šajā skābē.



3.7 att. Modificētu (HF) un nemodificētu paraugu antibakteriālā aktivitāte pret: a) *Staphylococcus aureus* ATCC 2913; b) *Escherichia coli* ATCC 25922\*.

\* Uz katra petri trauka ceturtajā kvadrantā atrodas nemodificēta adījuma paraugs.

### Gaisa caurlaidības salīdzinošā analīze

Gaisa caurlaidības (GC) mērījumi zeķu izstrādājumiem veikti vienā slānī 10 vietās. Spiediens samazināts no standartā noteiktā 100 Pa, ņemot vērā to, ka adījuma blīvums ir mazs, līdz ar to GC ir tik liela, ka mērījumi pie šāda spiediena bija ārpus iekārtas skalas.

Pēc paraugu modifikācijas ar 5 mas.% CAD koncentrācijas sola šķīdumu un sekojošās HT apstrādes novērotā gaisa caurlaidība zeķes stulmā samazinās vidēji 26–38 % robežās, pēdā – 19–28 % (3.2. tab.). Pēda ir zeķu izstrādājuma daļa, kas valkāšanas procesā atrodas vairāk vai mazāk nelabvēlīgākā vidē, tāpēc karsēšanas režīmi 8 min. 100 °C un 120 °C temperatūrā nodrošina zemāko GC samazinājumu modificētajā pēdas daļā.

3.2. tabula

Ar 5mas. % CAD modificētu solu apstrādātu zeķu izstrādājumu salīdzinošā GC, mm/s

x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	Stulms		Pēda		Modifikācijas efekti		Mazgāšanas efekti		Nemodif.-modif.	
		M5	MM5	M5	MM5	stulms	pēda	stulms	pēda	stulms	pēda
5	100	587	494	439	565	26,7 %	44,4 %	16 %	29 %	38 %	28 %
8	100	626	494	604	582	21,9 %	23,6 %	21 %	4 %	38 %	26 %
5	120	593	543	527	642	26,0 %	33,3 %	8 %	22 %	32 %	19 %
8	120	681	593	620	576	15,1 %	21,5 %	13 %	7 %	26 %	27 %
<b>Kontrole</b>		<b>801,4</b>		<b>790,53</b>							

Pēc paraugu modifikācijas ar 7,5 mas.% CAD koncentrācijas sola šķīdumu un sekojošās HT apstrādes novērotā GC zeķes stulmā samazinās vidēji par 20–23 %, savukārt pēdā – nedaudz vairāk – 22–28 % (3.3. tab.), ņemot vērā blīvāku adījuma struktūru pēdā. Mazākas caurlaidības samazinājuma nodrošināšanai, modificējot ar 7,5 mas.% CAD solu, jāizvēlas karsēšanas laiks 8 min. pie 100 °C un 5 min. pie temperatūras 120 °C.

Ar 7,5 mas. % CAD modificētu solu apstrādātu zeķu izstrādājumu salīdzinošā gaisa caurlaidība, mm/s

x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	Stulms		Pēda		Modifikācijas efekti		Mazgāšanas efekti		Nemodif./modif.	
		M7,5	MM7,5	M7,5	MM7,5	stulms	pēda	stulms	pēda	stulms	pēda
5	100	<b>758</b>	<b>620</b>	747	571	5,5 %	5,6 %	18 %	24 %	23 %	28 %
8	100	<b>637</b>	<b>615</b>	626	598	20,5 %	20,8 %	3 %	4 %	23 %	24 %
5	120	<b>703</b>	<b>642</b>	681	615	12,3 %	13,9 %	9 %	10 %	20 %	22 %
8	120	<b>758</b>	<b>637</b>	714	587	5,5 %	9,7 %	16 %	18 %	21 %	26 %
<b>Kontrolē</b>		<b>801,4</b>		<b>790,53</b>							

Iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka, piemērojot tādus pat karsēšanas režīmus, GC samazinājums ar 7,5 mas.% CAD solu modificētajiem paraugiem ir ~ 2 reizes mazāks nekā ar 5 mas.% CAD solu modificētajiem. Tas ņemts vērā nākamajā pētījumu etapā, koncentrējoties uz 7,5 mas.% CAD sola lietojumu, jo GC samazinājumu var turēt robežās līdz 10 %, kombinējot karsēšanas temperatūru 100–105 °C ar karsēšanas laiku 8 min. (3.3. tab.).

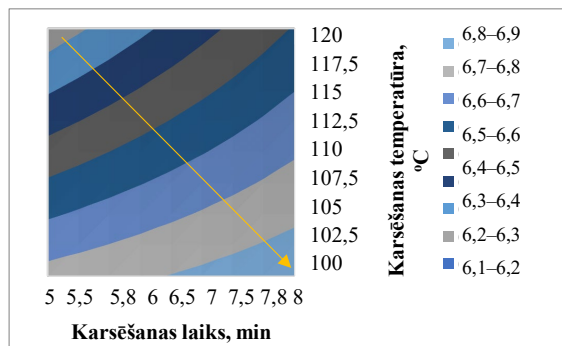
Šādi režīmi ir gan ekonomiski, gan tehnoloģiski izdevīgi, tai pat laikā nodrošinot saudzīgu vidi tekstilijām modifikācijas procesā.

#### Ūdens tvaika caurlaidības analīze

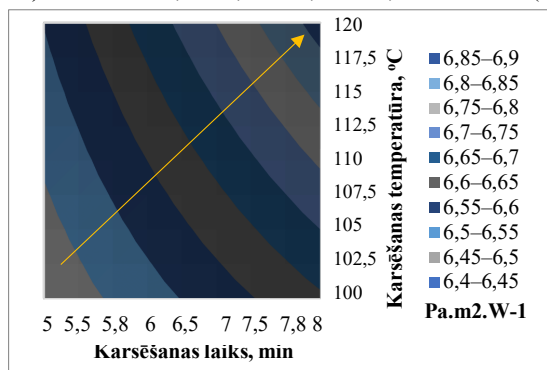
Iegūtie regresijas vienādojumi (3.1. un 3.2. vienādojums) un tiem atbilstošie divu dimensiju šķēlumi (3.8. att.) ļauj secināt:

- ar 5 mas.% CAD solu modificēto izstrādājumu TC saglabājas labāk, ja tie pirms modifikācijas pakļauti HT apstrādei; apskatītajās karsēšanas laika un temperatūras robežās TC saglabājas labāk, ja kombinē lielāku apstrādes laiku (8 min.) ar zemāku karsēšanas temperatūru (100 °C);
- ar 7,5 mas.% CAD solu modificētie paraugi nodrošina labāko tvaika caurlaidību, piemērojot 8 min. ilgstošu karsēšanu un uzturot temperatūru 120 °C.

Kopumā HT priekšapstrāde ir pietiekama, kā liecina rezultāti. Savukārt priekšapstrādei ar acetona šķīdumu ir negatīva ietekme uz rezultātiem (GC un TC mērījumi).



a)  $YTMM1 = 6,56 + 0,13x_1 - 0,24x_2 + 0,06x_1x_2$  (3.1.)



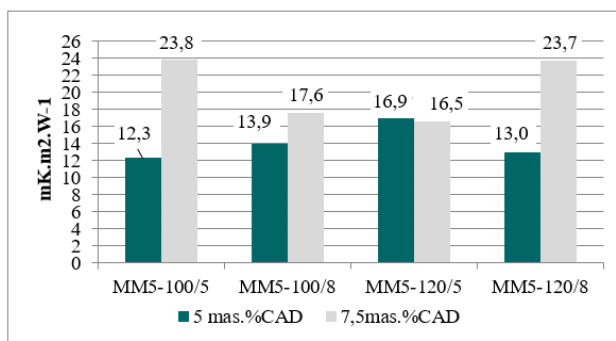
b)  $YTMM2 = 6,63 + 0,13x_1 + 0,08x_2 + 0,03x_1x_2$  (3.2.)

3.8. att. Ūdens tvaika caurlaidības mērījumi pēc HT apstrādes paraugiem, kas modificēti ar: a) 5 mas.% CAD; b) 7,5 mas.% CAD solu.

Kopumā HT priekšapstrāde ir pietiekama, kā liecina rezultāti, acetona priekšapstrāde uzrādīja negatīvu ietekmi uz rezultātiem (GC un TC mērījumi).

#### Siltumpretestības analīze

Ar 7,5 mas.% CAD solu apstrādātajiem paraugiem siltuma pretestība ir par 31 % lielāka, nekā apstrādājot ar 5 mas.% CAD koncentrācijas šķīdumiem (3.9. att.). Pēc mazgāšanas siltuma pretestība, salīdzinot ar attiecīgo rādītāju pirms mazgāšanas, samazinās. Šis izmaiņas būtu attiecināms uz izmaiņām pārklājuma struktūrā un virsmas adhēzijas pastiprināšanos HT apstrādes procesā.



3.9. att. Siltuma pretestība ar 5 mas.% CAD un 7,5 mas.% CAD solu modificētiem paraugiem pēc HT apstrādes.

### Trešās nodaļas kopsavilkums un secinājumi

- Rūpnieciski šķērsadīti jaukta šķiedru sastāva (81 % CO, 19 % PA) gludpinuma trikotāžas zeķu izstrādājumi modificēti ar TEOS prekursora solu, kā modificējošu prekursoru tajā integrējot cinka acetāta dihidrātu, ar mērķi piešķirt papildfunkcionālas īpašības izstrādājumu veiktspējas uzlabošanai, tai pat laikā saglabājot lietotāja valkāšanas komfortu, kā arī optimizēt sola-gēla procesa tehnoloģiskos parametrus modificējošā pārklājuma īpašību nodrošināšanai uz jaukta šķiedru sastāva trikotāžas substrāta šķiedru virsmas.
- Variējot modifikācijas noslēdzošās daļas karsēšanas laiku, temperatūru un modificējošā prekursora CAD koncentrāciju solā atbilstoši pilna faktoru eksperimentu plānam  $2^3$  un veicot salīdzinošu modificēto un nemodificēto adījumu virsmas īpašības secināts:
  - SEM mikrogrāfijas liecina, ka pēc modifikācijas uz šķiedru virsmas vērojami ar pārklājumu vāji saistīti trīsdimensiju aglomerāti, kā arī sastopamas salīpušas šķiedras; sekojošā hidrotermiskās apstrādes procesā notiek pārklājuma konsolidācija ar šķiedru virsmu, izveidojoties vienmērīgam šķērssaistītam nanomēroga pārklājumam ar raupju virsmas struktūru, nodrošinot hidrofobas virsmas īpašības: 110–130° robežās, izmantojot 5 mas.% CAD koncentrāciju;
  - salīdzinošā ATR-FTIR spektru analīze liecina, ka uznestais modificējošais pārklājums ir gan uz kokvilnas, gan uz PA šķiedrām (smailis 1538  $\text{cm}^{-1}$  un 1634  $\text{cm}^{-1}$ ), jo vērojama samazināta absorbcijas intensitāte frekvenču joslās 400–700  $\text{cm}^{-1}$ , 950–1150  $\text{cm}^{-1}$ , 2850–2952  $\text{cm}^{-1}$  un 3170–3470  $\text{cm}^{-1}$ , un ļauj izsekot izmaiņu intensitātei, kā arī identificēt pārklājuma funkcionālās ķīmiskās grupas, ņemot vērā to, ka ierobežotās karsēšanas temperatūras dēļ sola-gēla procesā iegūtajam pārklājumam ir amorfa struktūra un tajā ķīmiskos savienojumus ir sarežģīti identificēt;
  - salīdzinošā diferenču spektru analīze liecina, ka modifikācijas rezultātā iegūtā pārklājuma dēļ CO/PA adītas virsmas struktūras virsmas ķīmisko saišu absorbcijas intensitāte kļūst vājāka abās adījuma pusēs gandrīz visā viļņu skaitļu diapazonā (400–4000  $\text{cm}^{-1}$ ) un var kalpot kā kontroles instruments gan platinētā adījuma

struktūras iegūšanas procesā, gan pārklājuma uznešanas procesā paredzēto īpašību sasniegšanai.

3. Virsmas slapējamības īpašību salīdzinošās analīzes rezultātā konstatēts:
  - hidrotermiskā paraugu priekšapstrāde ir efektīvāka par paraugu virsmas attīrīšanu ar acetona šķīdumu, jo hidrotermiski apstrādātie paraugi pēc modifikācijas un hidrotermiskās pēcapstrādes nodrošina slapēšanas līdzsvara leņķa vērtības vismaz 110°, trīs variantos pārsniedz 120° (5 mas.% CAD), tas nozīmē, ka modificētās virsmas ir klasificējamas kā hidrofobas. Savukārt ar acetonu apstrādātie paraugu slapēšanas līdzsvara leņķi nepārsniedz 90° vai ir nestabili – virsmai uznestais pārklājums nenodrošina ūdeni atgrūdošas īpašības;
  - slapēšanas līdzsvara leņķa vērtības vairāk ietekmē karsēšanas temperatūras, karsēšanas laika un CAD koncentrācijas mijiedarbība; kopumā augstāku hidrofobiju var nodrošināt ar 5 mas.% CAD koncentrāciju, kombinējot augstāku karsēšanas temperatūru ar īsāku laiku.
4. Ar diska difūzijas metodi modificēto tekstiliju antibakteriālā efektivitāte pret references kultūrām grampozitīvo *Staphylococcus aureus* ATCC 2913 un gramnegatīvo *Escherichia coli* ATCC 25922 novērtējama:
  - kā augsta paraugiem ar fluorūdeņražskābi modificējošā sola sastāvā, vidējā inhibīcijas zona attiecīgi 27 mm un 26 mm;
  - fluorūdeņražskābes aizvietošana ar etiķskābi jāatzīst par neefektīvu, ja funkcionalizācijas rezultātā paredzēts nodrošināt zeķu izstrādājuma antibakteriālo aktivitāti.
5. Valkāšanas komfortu raksturojošo īpašību salīdzinošā analīze:
  - gaisa caurlaidība pēc modifikācijas ar 5 mas.% CAD solu un pirmās hidrotermiskās apstrādes zeķu izstrādājuma stulmā samazinās par 26–38 %, pēdā – 19–28 %, modificējot ar 7,5 mas.% CAD, samazinājums stulmā ir 20–23 %, pēdā – 22–28 %; abos gadījumos modificētu zeķu izstrādājumu gaisa caurlaidība ir stipri augstāka nekā austu drānu gadījumā ar līdzīgu virsmas blīvumu;
  - lielāko gaisa caurlaidību (681 mm/s) apskatītā sortimenta pozīcijai var nodrošināt, modificējot ar 5 mas.% CAD solu un kombinējot 119–120 °C karsēšanas temperatūru ar apstrādes laiku 7,8–8 min. robežās;
  - pēc hidrotermiskās gala apstrādes, pārklājumam konsolidējoties, gaisa caurlaidības vērtības pārvietojas uz zemāku intervālu 494–593 mm/s robežās;
  - kombinējot karsēšanas temperatūru 100–105 °C ar laiku 7–8 min. var nodrošināt gaisa caurlaidības samazinājumu pēc hidrotermiskās apstrādes tikai 10 % robežās, salīdzinot ar kontroles paraugu.
6. Sekojošā vienādojumu matemātiskā transformācijas izpēte (2D šķēlumi) ļauj iegūt detalizētu informāciju par visu trīs faktoru ietekmi uz paraugu komforta īpašībām – kā tvaika caurlaidība un siltumpretestība. Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt ka:

- ar 5 mas.% modificēto paraugu tvaika caurlaidība saglabājas labāk, ja pirms modifikācijas tie ir hidrotermiski apstrādāti, ja kombinē ilgāku apstrādes laiku un zemāku temperatūru (8 min./110 °C);
- turpretī ar 7,5 mas.% CAD modificētiem paraugiem labākos rezultātus var sasniegt, lietojot šādu režīmu – augstāko temperatūru un karsēšanas laiku – 120 °C/ 8 min.;
- kopumā hidrotermiskā priekšapstrāde ir pietiekama, kamēr acetona priekšapstrāde uzrādīja negatīvu ietekmi uz rezultātiem;
- ar 7,5 mas.% CAD solu apstrādātajiem paraugiem ir par 31 % lielāka siltuma pretestība nekā ar 5 mas.% CAD koncentrācijas solu.

#### **4. Tehnoloģija trikotāžas izstrādei ar integrētu modificētas kokvilnas dziju**

Promocijas darbā piedāvātais risinājums paredz modificētas trikotāžas iegūšanu sadalīt divos secīgos procesos: 1) kokvilnas dzijas modifikācija funkcionālo īpašību piešķiršanai; 2) modificētās dzijas sagatavošana adīšanai un adīšanas procesa projektēšana, integrējot uz adīšanas iekārtām modificēto dziju ar nemodificētiem poliamīda/poliestera un elastāna pavedieniem, ja nepieciešams, paredzot adīšanas mašīnas vadības programmā iekļaut apakšprogrammas sensoru un elektrovadošo pavedienu ieadīšanai.

##### **Kokvilnas dzijas modifikācija**

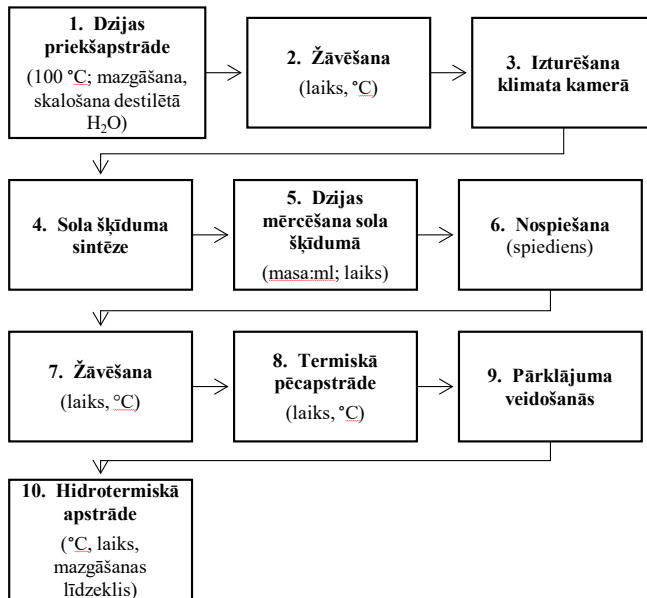
Modificētās kokvilnas dzijas iegūšanas process sadalīts 10 soļos (4.1. att.), paredzot rūpnieciski iegūtas dzijas intensīvu attīrīšanu no kokvilnas šķiedru dabiskā pārklājuma, dzijas iegūšanas tehnoloģiskajā procesā uznestām aprītiem, izturēšanu klimatiskajā kamerā kontrolējama mitruma satura nodrošināšanai, sola šķīduma sintēze paredzamo funkcionālo īpašību nodrošināšanai, dzijas modifikācija, kā pēdējo paredzot obligātu HT apstrādi pārklājuma konsolidācijas procesa noslēgšanai.

##### **Dzijas sagatavošana modifikācijai**

Rūpnieciski ražota 100 % kokvilnas ķemmdzija (lineārais blīvums 24 tex) no krustpolēm tiek pārspolēta uz ficēm, lai nodrošinātu brīvu modificējošā šķīduma cirkulāciju apstrādes procesā. Pirms iemērķšanas sola šķīdumā ficēs tītie pavedieni sadalīti šķipsnās, tās regulāros intervālos pārsietas ar vaļīgām saitēm pavedienu pasargāšanai no salipšanas modifikācijas procesā ar sekojošu priekšapstrādi 100 °C, žāvēšanu un relaksāciju klimatiskajā kamerā. (4.1. att., 1.–3. solis).

##### **Dzijas modifikācija sola-gēla procesā**

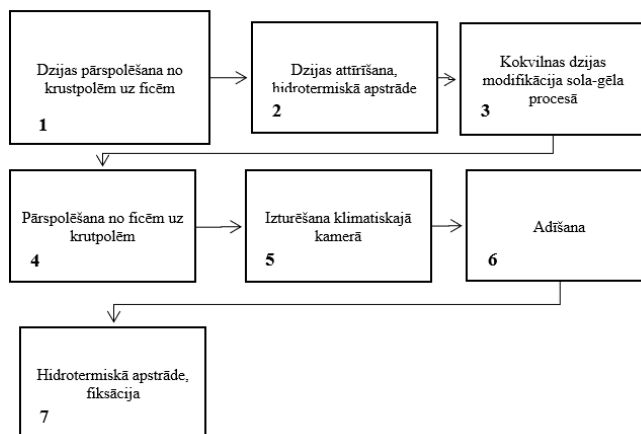
Sagatavotās dzijas fīces pakļautas apstrādei sola-gēla procesā, piemērojot tai sola sastāvu un tehnoloģiju, variējot CAD saturu un iemērķšanas laiku solā, kā arī termiskās pēcapstrādes temperatūru un karsēšanas ilgumu (4.1. att., 4.–10. solis). Tehnoloģijas aprobācijai izmantots 7,5 mas.% CAD prekursora sols, variējot proporciju (paraugu svārs (g) pret šķīduma daudzumu (ml)), iemērķšanas laiku tajā, saglabājot fiksētu termiskās pēcapstrādes temperatūru 120 °C un laiku 5 min. Mainīgo un fiksēto parametru izvēle balstīta 3. nodaļā aprakstītās izpētes rezultātos.



4.1. att. Kokvilnas dzijas modificācijas tehnoloģiskā secība [29].

### Trikotāžas ar integrētu modificētās dzijas komponenti izstrāde

**Modificētās dzijas sagatavošanas procesā adīšanai** dzija tiek pārpolēta no ficēm uz adīšanas mašīnai/automātam atbilstošu pakotni, vairumā gadījumu izmantojot krustiņumu uz koniskām čaulām (4.2. att., 4. solis). Ja nepieciešams, pārpolēšanas procesā jāintegrē dzijas vaskošana vai emulsēšana, lai atvieglotu valdziņu veidošanās procesu adot.



4.2. att. Trikotāžas izstrādājumu ar integrētu modificētās dzijas komponenti izgatavošanas blokskāma [29].

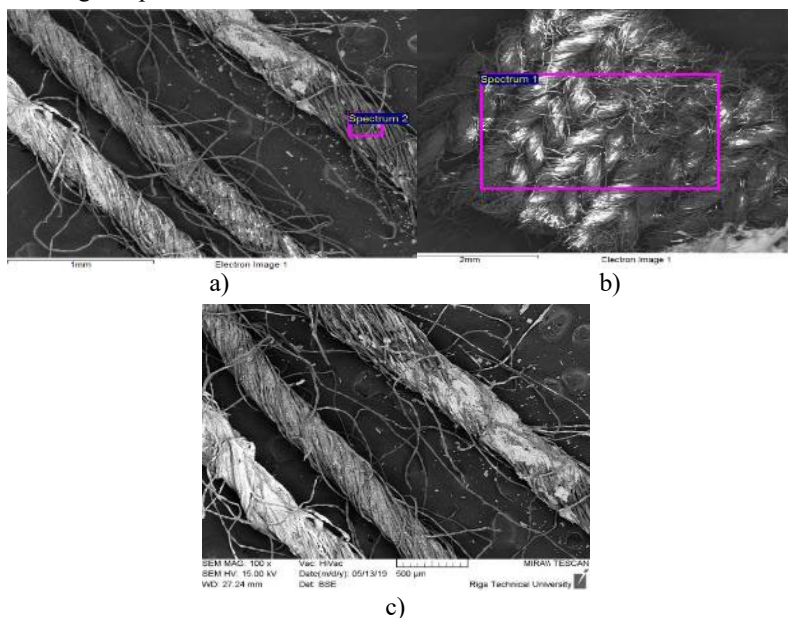
Pirms adīšanas dzija jāiztur klimatiskajā kamerā vismaz 24 stundas. Sestajā solī (4.2. att.) visas paredzētās pavedienu komponentes, t. sk. modificētā kokvilnas dzija, nonāk uz adīšanas



mašīnas spoļu turētājiem un caur atsevišķiem pavedienu vadītājiem ar nepieciešamo nostiepumu atbilstoši izgatavošanas vadības programmas komandām tiek padotas uz adīšanas zonām. Tādējādi modificētā dzija 5.–7. solī ir iekļaujama tradicionālajās attiecīgās klases adīšanas mašīnu iekārtojumu un noslēguma hidrotermiskās apstrādes režīmu programmās.

### Uznestā modificējošā dzijas pārklājuma izpēte

Ņemot vērā to, ka līdz šim izstrādātā sola-gēla tehnoloģija [17] attīstīta kokvilnas audumu modifikācijai, tehnoloģijas piemērošana dzijai, kas apstrādes procesā nav nospriegota un tādējādi pakļauta nekontrolētām deformācijām, kā arī to, ka modificējošā sola piekļuve visā dzijas virsmas laukumā praktiski nav ierobežota, ir nepieciešams kontrolēt modifikācijas tehnoloģisko parametru stabilitāti, uznestā sastāva apjomu un īpašību izmaiņas, kas ietekmē adīšanas tehnoloģiskā procesa norisi.



4.3. att. Testēšanas laukumu lokācijas un izmēra izvēle: a) modificēti pavedieni; b) no modificētas un HT apstrādātas dzijas adīts paraugs; c) modificēta dzija (M/1:10/10).

**SEM analīze modifikācijas procesā uznestā pārklājuma struktūras analīzei.** Bieži interesi rada aglomerāti, kas izceļas uz virsmas, ar mērķi identificēt to sastāvu. Mēģinot tos izpētīt, izvēlētais laukums ir ļoti neliels (4.3. a) att.), līdz ar to rodas liela izkliede, nosakot patieso elementu izplatību uz virsmas, un kļūdaini secinājumi par to relatīvo sadalījumu. Lai to novērtētu, jāizvēlas lielāks laukums (4.3. b) att.). Savukārt atkārtoti mērījumi ļauj noskaidrot, ka aglomerātus uz pārklājuma fona veido Zn acetāta daļēji/neizšķīdušās nano- un mikrolīmeņa daļiņas, kur relatīvais Zn saturs punktveida mērījumos var sasniegt pat 20 mas.% (4.1. tab.).

Modifikācijas procesā nevienmērīgi izgulsnējoties sola šķīdumam, uz dzijas pavedienu virsmas var rasties uznestā pārklājuma sabiezējumi, kas nepietiekama pieejamā ūdens daudzuma dēļ karsēšanas procesā pilnībā nepāriet kserogela formā (4.2. c) att.), veidojoties salīpušu šķiedru klasteriem.

4.1. tabulā apkopotās elementu relatīvo sastopamību raksturojošās procentuālās attiecības ļauj izsekot elementu sastopamību uz modificētās virsmas un to savstarpējās proporcijas. Līdztekus modificējošiem elementiem F, Si un Zn ir konstatēti elementi, kas, neskatoties uz rūpīgu dzijas attīrīšanu, saglabājas uz šķiedrām no iepriekšējo tehnoloģiju apdarēm, kā arī nokļūst no standarta veļas pulvera (Na, Cl, As) un procesā lietotā ūdens piemaisījumiem.

4.1. tabula

EDS analizē uz virsmas konstatēto ķīmisko elementu relatīvās mas.% paraugam  
(M/1:10/10)

Apzīmējums	C	O	F	Si	Zn	Ca	Al	S	Mg	Na	Cl	Cu	As
“2304 Standart Sope” pulveris	71,4	21,4								6,7	0,2		0,3
Nemodificēta dzija, 24 tex	47,0	52,3	–	–	–	–	0,1	0,3	–	0,3	–	–	
Modificēta dzija, 24 tex	34,9	35,2	7,6	1,3	18,0	–	–	0,2	0,1	–	1,9	–	
Modificēta/mazgāta dzija, 24 tex	47,6	47,2	2,5	0,5	0,7	0,9	0,1	0,6	0,1	–	–	0,1	
Adījums ar modificēto dziju, mazgāts	47,1	46,5	3,2	1,0	0,8	1,1		0,2	0,1				

HT apstrādes procesā no lietotā ūdens pārklājumā konstatēts Ca, savukārt Al vai Cu parādās, ja paraugu žāvēšanas procesā tie saskaras ar foliju vai ar attiecīgā metāla paraugu turētāju. Rezultātā pēc modifikācijai sekojošās HT apstrādes pārklājums ir stabilizējies, veidojot ciešu sasaisti ar šķiedru virsmu, un turpmākajās tehnoloģiskajās operācijās funkcionālās īpašības nodrošinošo elementu – fluora, silīcija un cinka – relatīvais saturs ir salīdzinoši stabils, kā tas redzams 4.1. tabulas divās pēdējās rindās [30].

#### Modificētās un nemodificētās kokvilnas dzijas īpašību salīdzinošā analīze

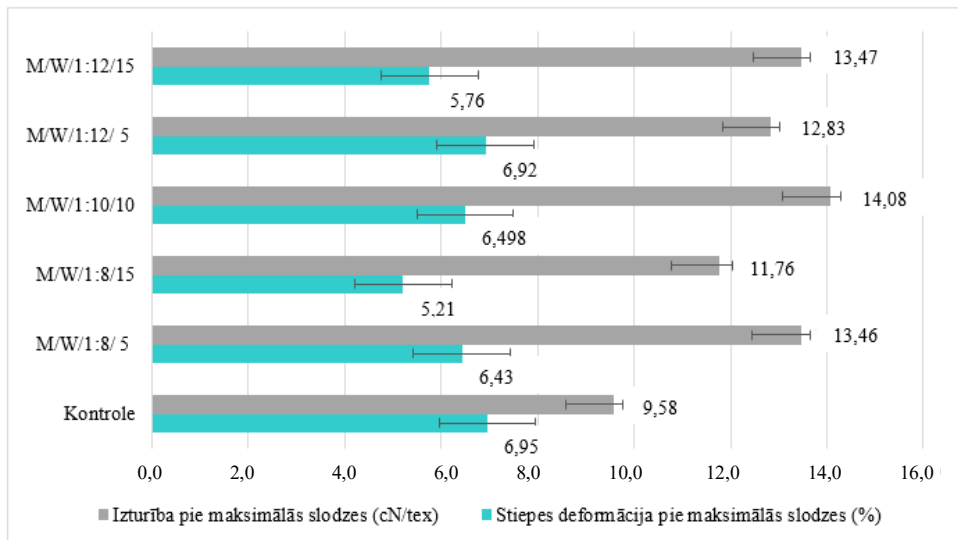
Modificētās dzijas testēšanai izmantota iekārta, kas vienlaikus ļāva ierakstīt tādus dzijas īpašības raksturojošus parametrus kā pārraušanas slodzi, pagarinājumu, stiepes spriegumu pie maksimālās slodzes, kā arī atbilstošā parauga masu.

4.2. tabula

Kokvilnas dzijas īpašību izmaiņas modifikācijas parametru ietekmē

Variants	Lineārais blīvums, tex		Masas palielin, %	Stiepes deformācija, %		Stiepes deform., samaz. %	Stiepes stiprība, cN/tex		Stiprības pieaug., %
	Vid.	–/+		Vid.	–/+		Vid.	–/+	
<b>Kontrole</b>	25,7	0,3		6,95	0,14		9,58	0,19	
<b>M/W/1:12/15</b>	26,07	0,22	1,44 %	5,76	0,12	17 %	13,47	0,19	41
<b>M/W/1:12/5</b>	26,59	0,24	3,46 %	6,92	0,12	1 %	12,83	0,19	34
<b>M/W/1:10/10</b>	27,01	0,23	5,10 %	6,50	0,12	7 %	14,08	0,20	47
<b>M/W/1:8/5</b>	26,73	0,23	4,01 %	6,43	0,11	7 %	13,46	0,19	41
<b>M/W/1:8/15</b>	26,05	0,26	1,36 %	5,21	0,15	25 %	11,76	0,27	23

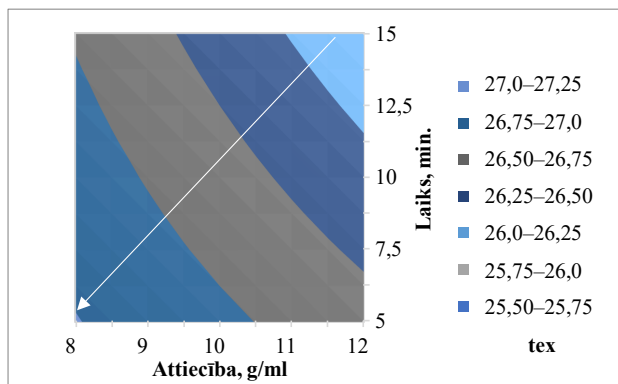
Sola sastāvs fiksēts, izmantojot sola modifikatora CAD koncentrāciju 7,5 mas.%. Kā liecina 4.2. tabulā apkopotie datu apstrādes rezultāti un 4.5. attēla grafiks, modificētās dzijas masa palielinās, salīdzinot ar nemodificētu, atkarībā no mērcēšanas parametriem 1,4–5,1 mas.% robežās, stiepes deformācija var samazināties līdz pat 25 %, bet stiepes stiprība pieaug 23–47 % robežās, sasniedzot maksimālo vērtību, ja attiecība ir 1 : 10 un mērcēšanas laiks – 10 min.



4.4. att. Nemodificētas un modificētas dzijas izturība (cN/tex) un stiepes deformācija (%) pie maksimālās slodzes.

Modificētās dzijas lineārā blīvuma ( $Y_{LB}$ ) izmaiņas atkarībā no parauga masas-sola tilpuma attiecības ( $x_1$ ) un iemērkšanas laika sola šķīdumā ( $x_2$ ) apraksta 4.1. vienādojums un tam atbilstošas virsmas šķēlumi (4.5. att.).

Gan vienādojuma koeficienti un to zīmes, bet īpaši vienādojuma grafiskā interpretācija liecina, ka maksimālais lineārā blīvuma procentuālais palielinājums atbilst attiecības 1 : 8 un iemērkšanas laika 5 min. kombinācijai (norāda bultiņa 4.5. att.). Virzoties pa bultiņu uz augšu, pieaugums pakāpeniski samazinās, sasniedzot minimālo vērtību, kas atbilst kombinācijai – attiecība 1 : 12, iemērkšanas laiks 15 min.



$$Y_{LB} = 26,60 - 0,27x_1 - 0,20x_2 - 0,06x_1x_2 \quad (4.1.)$$

4.5. att. Modificētas dzijas lineārā blīvuma izmaiņas atkarībā no attiecības un iemērķšanas laika.

### Kokvilnas/PA/elastāna trikotāžas drānu struktūru raksturojošie parametri

No modificētas un nemodificētas kokvilnas dzijas izgatavoti šķērsadītas trikotāžas platinēta gludpinuma drānu paraugi no DMW\_1-4 variantu dzijas. Adīšanas procesā līdztekus kokvilnas dzijai, iestrādājot nemodificētus kombinētus poliamīda-elastāna pavedienus attiecībā: 75 % kokvilna / 21 % poliamīds / 4 % elastāns.

4.3. tabula

Trikotāžas drānu (75 % CO / 21 % PA / 4 % elastāns) struktūras raksturlielumi

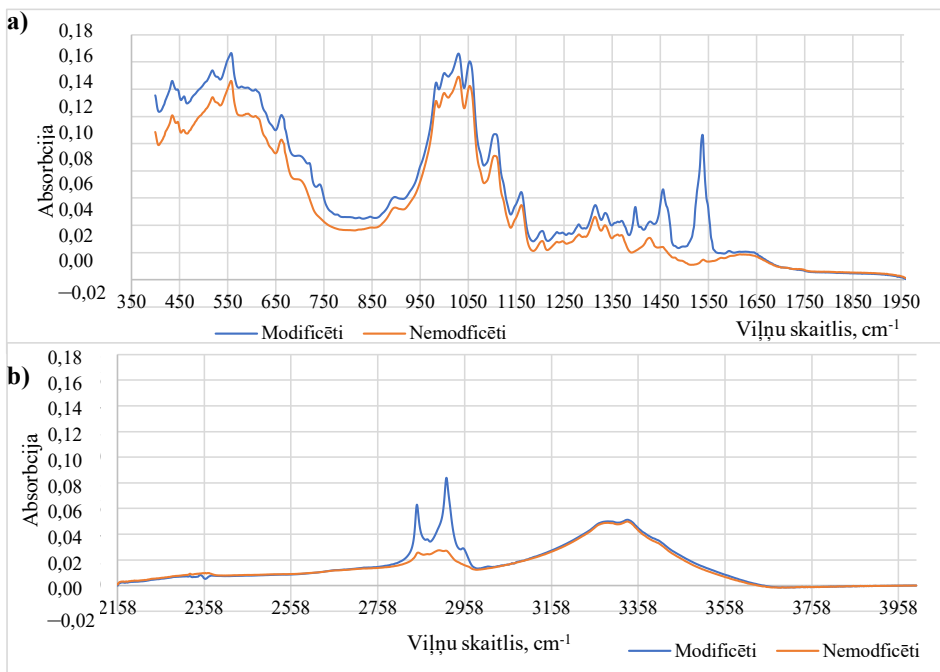
Raksturojošais parametrs	Varianti				
	K	MWT/1	MWT/2	MWT/3	MWT/4
Valdziņu blīvums horizontālā virzienā, $\text{cm}^{-1}$	9,5	9,8	9,8	10	9,8
Valdziņu blīvums vertikālā virzienā, $\text{cm}^{-1}$	15	15,5	15,2	14,5	15,2
Kopējais blīvums, $\text{cm}^{-2}$	144	151	148	145	148

4.3. tabulā apkopotie trikotāžas drānu raksturojošie lielumi liecina, ka modificēto paraugu kopējais valdziņu blīvums ir nedaudz palielinājies (2,6 %), kas ir likumsakarīgi, ņemot vērā kokvilnas dzijas lineārā blīvuma pieaugumu pēc modifikācijas. Pēc noslēdzošās HT apstrādes pavedienos esošo šķiedru virsma kļuvusi gludāka, pārklājumam konsolidējoties ar šķiedru virsmu, pavedienu diametrs palielinājies, rezultātā adījums pie vienādiem adīšanas iekārtas iestatījumiem ir veidojies blīvāks.

### FTIR- ATR spektru salīdzinošā analīze

Ar 7,5 mas.% CAD solu modificētā kokvilnas dzija, kas karsēta 5 min. 120 °C temperatūrā, kopā ar teksturētiem poliamīda/elastāna pavedieniem ieadīta zeķu struktūrā. 4.5. attēlā redzami nemodificētu un modificētu kokvilnas dziju saturošu adījumu spektri.

Modificēto paraugu frekvenču joslas ar virsotnēm 1454,72  $\text{cm}^{-1}$  (*CH<sub>2</sub> bend*) un 1538  $\text{cm}^{-1}$  (*NH bend, C-N stretch*), kā arī 2917,28  $\text{cm}^{-1}$  un 2848,11  $\text{cm}^{-1}$  (*CH stretch*) attiecināmas uz PA raksturīgo ķīmisko grupu svārstību frekvencēm [31–33].



4.6. att. Modificētu un nemodificētu kokvilnas dziju saturošu adītu paraugu spektri

#### Gaisa un ūdens tvaika caurlaidības salīdzinošā analīze

Kā liecina 4.4. tabulā apkopotie testu rezultāti, adīto paraugu gaisa caurlaidība ar modificēto kokvilnas dziju samazinās vidēji par 21 % (17–24 % robežās), salīdzinot ar nemodificētas dzijas paraugu gaisa caurlaidību. Tas ir mazāks samazinājums, salīdzinot ar austu drānu paraugu gaisa caurlaidības samazinājumu, kas ir ~divas reizes mazāks (vidēji par 20%), salīdzinot ar nemodificēto [30].

4.4. tabula

Trikotāžas drānu ( 75 % CO / 21 % PA / 4 % elastāns) GC un TC rezultāti

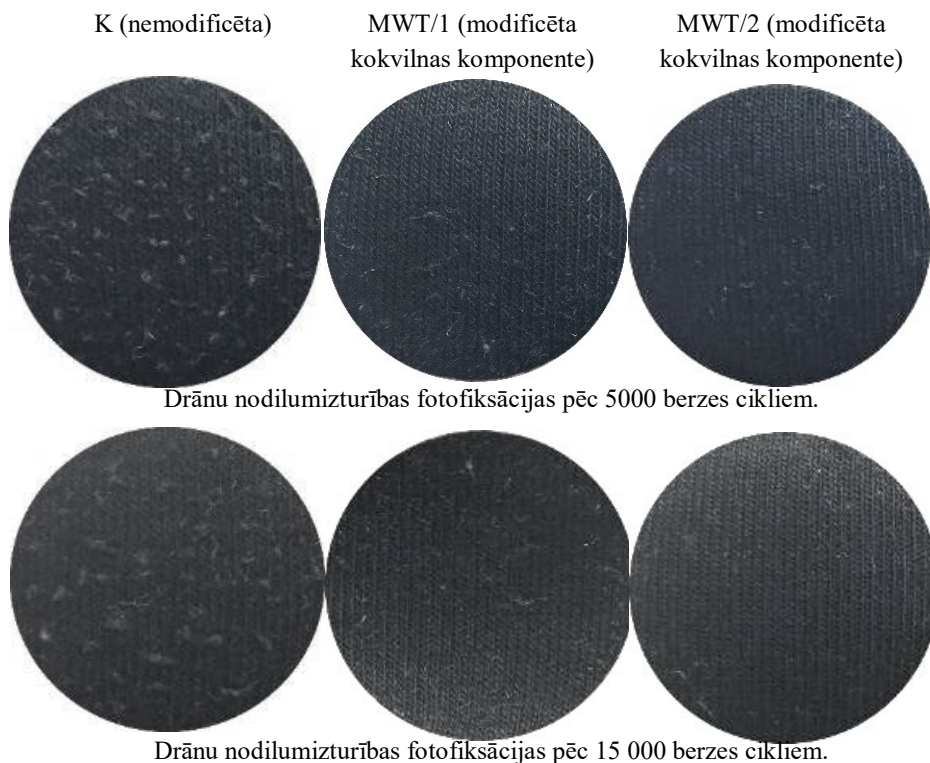
	K	MWT/1	MWT/2	MWT/3	MWT/4	Vid <sub>MWT</sub>
<b>Gaisa caurlaidība, mm/s</b>	518,8	394,3	409,1	409,4	432,5	411,3
<b>-/+ (mm/s)</b>	13,9	24,0	11,2	14,8	28,4	21,89
<b>Samazinājums, %</b>	–	24 %	21 %	21 %	17 %	20,8 %
<b>Relat. tvaiku caurlaidība, %</b>	49,4	47,0	53,0	48,2	48,1	49,1
<b>-/+ (%)</b>	9,0	0,6	3,2	1,6	3,7	
<b>Samazin./palielinājums, %</b>	–	5 %	–7 %	<sup>2</sup> / <sub>%</sub>	3 %	0,8 %

To var izskaidrot ar adītai strukturai raksturīgo porainību un tekstūrētu nemodificētu poliamīda pavedienu klātbūtni, kas saglabā drānas ārējo porainību, kompensējot modificētās dzijas virsmas poru samazināšanās efekta ietekmi. Vidējā paliekošā GC 411 mm/s pārsniedz

150 mm/s, tāpēc modificētos pavedienus saturoši zeķu izstrādājumi ir piemēroti visu vecumu grupu valkātājiem, sākot no 1–3 gadu vecuma segmenta [34], [35]. Salīdzinoši niecīgs ir relatīvās tvaiku caurlaidības samazinājums, kas nepārsniedz 5 % (vidēji 0,8 %). Ņemot vērā to, ka šīs abas drānas īpašības ir ļoti nozīmīgas valkāšanas komforta nodrošināšanai, var uzskatīt, ka darbā piedāvātā tehnoloģija var nodrošināt valkāšanas komfortu daudz labāk nekā ar līdzīgu sola sastāvu modificēts audums.

#### **Nodilumizturība**

4.6. attēlā redzams pēc 5000 berzes cikliem uz kontroles drānas virsmas izveidojušies izteikti tādi vizuālie defekti kā plūksnošanās un pilinga efekts (K (nemodificēta)). Tai pat laikā modificēto kokvilnas dziju saturošu MWT/1 un MWT/2 variantu virsmā pēc 5000 cikliem vērojams tikai neliels plūksnojums (4.6. att., MWT/1 un MWT/2 attēls), bet pilinga efekts nav novērots pēc 15 000 cikliem (4.6.att. MWT/1 un MWT/2 ), tas var sākt veidoties pēc ~ 20 000 berzes cikliem. Paaugstinātā nodilumizturība modificētajiem paraugiem saistīta ar ciešāk nostiprinātām kokvilnas dzijas šķiedrām, gludu silīciju saturošu šķiedru virsmas pārklājumu, kas konsolidējies pēc gala HT apstrādes. Iespējams, ka, palielinoties dzijas lineārajam blīvumam funkcionalizācijas procesā, palielinās arī virsmas laukums, kas pretojas nodilumam.




4.7. att. Kokvilnas / PA drānu virsmas fotofiksācijas pēc 5000 un 15 000 berzes cikliem.

### Modificētas kokvilnas un poliestera(PES) trikotāžas drānu raksturojošie parametri

Atšķirībā no iepriekš apskatītās kokvilnas / PA trikotāžas adījuma ar PES / elastānu sastāvā valdziņu blīvums vertikālajā virzienā starp variantiem mainās 2,7–10,2 % robežās (4.5. tab.), kas arī galvenokārt ietekmē kopējā valdziņu blīvuma izmaiņas.

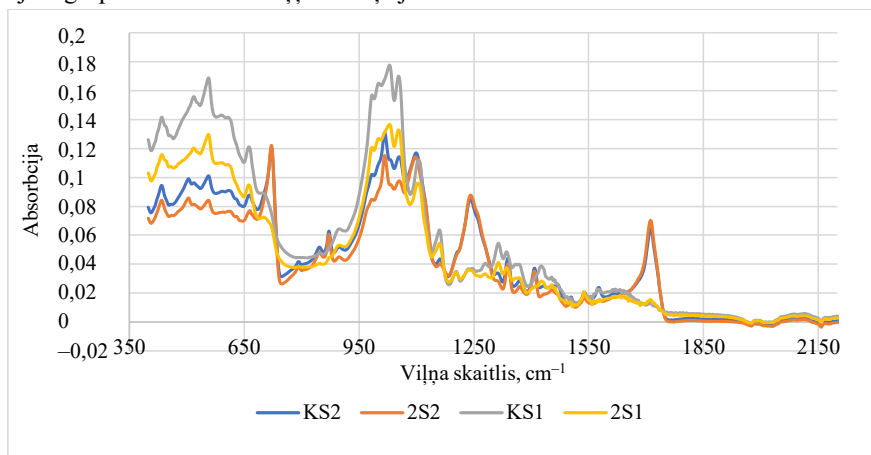
4.5. tabula

Trikotāžas drānu (75 % CO /21 % PES/ 4 % elastāns) struktūras raksturlielumi

Paraugu kopa 	Raksturojošie lielumi			
	Blīvums horizontālajā virzienā, cm <sup>-1</sup>	Blīvums vertikālajā virzienā, cm <sup>-1</sup>	Kopējais blīvums, cm <sup>-2</sup>	Kopējā blīvuma palielinājums, %
<b>Kontrole</b>	9,9	14,7	145	–
<b>M/W/1:8/5</b>	9,9 (+0 %)	16,2 (+11 %)	160,4	10,6 %
<b>M/W/1:8/15</b>	9,6 (–4 %)	15,1 (+3 %)	145,0	0 %
<b>M/W/1:10/10</b>	9,8 (–1 %)	16,2 (+11 %)	158,8	9,5 %
<b>M/W/1:12/5</b>	9,6 (–4%)	16,1 (+10 %)	153,8	6,1 %
<b>M/W/1:12/15</b>	9,9 (+0 %)	15,7 (+7 %)	154,2	6,3 %

### FTIR-ATR spektru salīdzinošā analīze

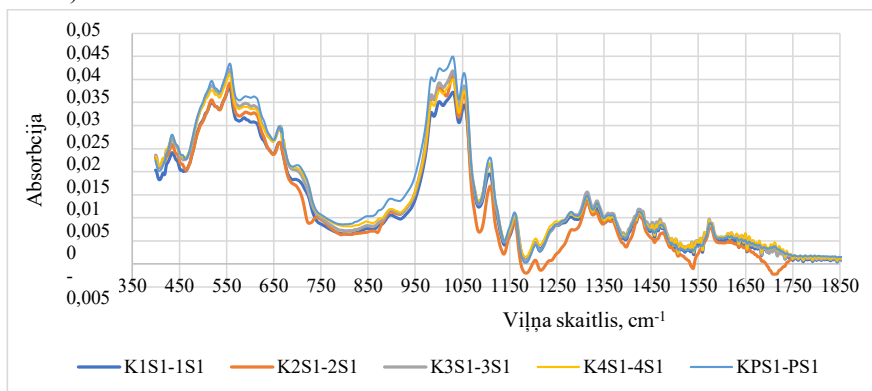
Salīdzinot 4.8. attēlā redzamos varianta KS2 spektrus, redzams, ka abos kreisās adījuma puses spektros (KS1 un 2S1) dominē pastiprinātas absorbcijas zonas kokvilnai raksturīgajām ķīmiskajām grupām atbilstošās viļņu skaitļu joslās.



4.8. att. MW/1:8/15 (attiecība 1 : 8; laiks 15 min.) kreisās (kokvilnas) puses un labās (PES) salīdzinoši FTIR-ATR spektri.

Salīdzinoša 4.8. un 4.9. attēlu spektru analīze liecina, ka frekvenču joslā 400–680 cm<sup>-1</sup> un 950–1124 cm<sup>-1</sup>, kurās modificējošā pārklājuma absorbcijas intensitātes samazinājums ir ievērojami lielāks, jo dominē kokvilnas pavedieni, kas ir modificēti (4.7. att., spektri KS1, 2S1). Savukārt viļņu skaitļiem 723 cm<sup>-1</sup>, 1246 cm<sup>-1</sup> un 1713 cm<sup>-1</sup> atbilstošās smailes liecina par

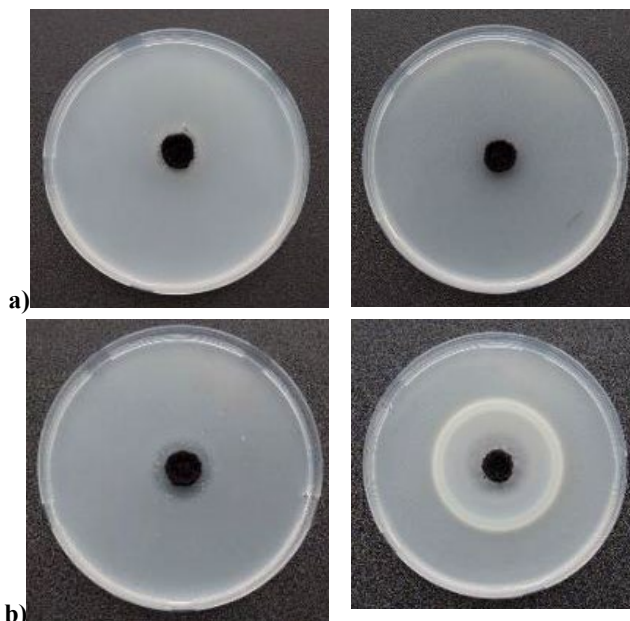
platinēšanas efektu, veidojot labu PES pavedienu pārklājumu uz adījuma ārējās virsmas (spektri KS2 un 2S2) ar fragmentāru modificētās kokvilnas pavedienu parādīšanos, par ko liecina nelielās absorbcijas intensitātes izmaiņas ārējās virsmas spektros (laukums starp KS2 un 2S2 spektriem).



4.9. att. Salīdzinoši variantu kokvilnas virsmas diferenci spektri.

### Antibakteriālais novērtējums

Modificētās trikotāžas antibakteriālā aktivitāte novērota pret abām testa baktērijām, ko raksturoja ap paraugiem izveidojusies inhibīcijas zona, īpaši izteikta *Staphylococcus aureus* klonam, kā arī netika konstatēts apaugums ar testa baktērijām zem un virs paraugiem (sastāvs CO / PES).



4.10. att. a) Nemodificētās trikotāžas drānas paraugu aktivitāte pret *Bacillus subtilis mscL 1141* un *Staphylococcus aureus mscL 334*; b) modificētu/nemazgātu trikotāžas drānas paraugu aktivitāte pret *Bacillus subtilis mscL 1141* un *Staphylococcus aureus mscL 334*.



Nemodificēta trikotāžas paraugi neuzrādīja antibakteriālu aktivitāti pret abām kultūrām un paraugam ar *b. subtilis* baktēriju tika novērots apaugums zem un ap paraugu (4.10. a) att.).

Modificētās trikotāžas drānas antibakteriālo iedarbību nodrošina ne tikai saskarē ar paraugu, bet arī veidojot inhibīcijas zonu, īpaša aktivitāte vērojama pret baktēriju *Staphylococcus aureus*, (4.10. b) att.).

Pēc HT inhibīcijas zona netika novērota pret *Bacillus subtilis mscL 1141* baktēriju, bet apaugums ap un zem parauga netika konstatēts. Ņemot vērā to, ka zeķu izstrādājumi cieši piegulī valkātāja ādai, *Bacillus subtilis* dzīvotne būs apdraudēta. Turpretī antibakteriāla aktivitāte pret *Staphylococcus aureus mscL 334* uzrādīja arī inhibīcijas zonu.

### **Trikotāžas drānu (kokvilna/poliestera/elastāna) gaisa caurlaidības salīdzinošā analīze**

Pēc modifikācijas un HT pēcapstrādes visu paraugu grupā vērojams neliels gaisa caurlaidības samazinājums 2,4–6,3 % robežās. Tas nozīmē, ka, modificējot tikai daļu no adītās drānas pavedieniem, gaisa caurlaidības samazinājums praktiski neietekmē valkāšanas komfortu. Adīto drānu ar modificētu kokvilnas dziju pēc HT apstrādes GC samazinājums variantos 2–6 % robežās (4.6. tab.) ir salīdzinoši neliels un praktiski uzskatāms par valkāšanas komfortu neietekmējošu.

Salīdzinot – no nemodificētiem kokvilnas/PES/elastāna pavedieniem adītas drānas GC ir par 25 % mazāka nekā nemodificētas kokvilnas/PA/elastāna drānas GC vidējie rādītāji (4.6. tab.), kas varētu būt skaidrojams ar atšķirīgu kokvilnas PA/elastāns un PES/elastāns lineāro blīvumu, kā arī pavedienu procentuālajām attiecībām.

4.6. tabula

Trikotāžas drānu (75 % CO / 21 % PES / 4 % elastāns) GC un TC rezultāti

	Kontrole	M/W/1:8/5	M/W/1:12/5	M/W/1:8/15	M/W/1:12/15
GC, mm/s	386,5	362,3	368,9	377,1	365,6
+/-, mm/s	14,1	24,7	20,5	20,7	17,7
Samazin., %		-6,3 %	-4,5 %	-2,4 %	-5,4 %
Relatīvā, tvaiku caurlaidība, %	50,9*	48,6	50,7	53,4	51,7
Samazin./palielinājums %		4,5 %	0,4 %	-4,9 %	-1,6 %

\*Tvaiku caurlaidības rādītājs noteikts plāna centrā (1:10/10) ar modificētu dziju sastāvā.

Modificētās kokvilnas dzijas/PES variantos GC ir samazinājusies tikai par 8–12 %, salīdzinot ar PA/elastānu saturošās drānas variantiem, kur šis samazinājums ir 17–24 % robežās (4.9. tab.).

Relatīvā modificētas kokvilnas/PES/elastāns variantu ūdens TC robežās 48,6–53,4 % ietver modificētā kokvilna/PA/elastāns variantu vidējo rādītāju 49,1 %, kas praktiski neatšķiras no variantā ar nemodificētu kokvilnas dziju sastāvā (49,4 %).

### Ceturtās nodaļas kopsavilkums un secinājumi

1. Promocijas darbā piedāvātais risinājums, kas aizsargāts ar patentu, paredz platinētas gludpinuma modificētas trikotāžas iegūšanu sadalīt divos secīgos procesos:
  - kokvilnas dzijas modifikācija funkcionālo īpašību piešķiršanai;
  - modificētās dzijas sagatavošana adīšanai un adīšanas procesa projektēšana, integrējot modificēto dziju ar nemodificētiem poliamīda/elastāna vai poliestera/elastāna pavedieniem platinētā adītā struktūrā, paredzot, ja nepieciešams, adīšanas mašīnas vadības programmā iekļaut apakšprogrammas sensoru un elektrovadošo pavedienu ieadīšanai.
2. Modificētas kokvilnas dzijas iegūšanas process sadalīts 10 soļos, paredzot rūpnieciski iegūtas dzijas attīrīšanu no apretēm, kas uznestas tehnoloģisko procesu laikā, izturēšanu klimata kamerā, sola šķīduma sintēzi un dzijas modifikāciju, kā arī ar gala hidrotermisko apstrādi, noslēdzot pārklājuma konsolidāciju. Sagatavojot adīšanai, modificētajai dzijai pārspolēšanas procesā tiek uznessis pārklājums elastības palielināšanai, adīšanas procesā modificētā dzija tiek kombinēta ar poliamīda/elastāna pavedieniem vai poliestera/elastāna pavedieniem.
3. SEM mikrogrāfijas un EDS analīze liecina, ka modifikācijas procesa soļos mainās šķiedru virsmas topogrāfija un relatīvais ķīmisko elementu procentuālais sadalījums, modificētās dzijas virsmas pārklājumā ir izveidojušies aglomerāti, periodisku pārsējumu vietās salīpušas šķiedras, kas apgrūtina vienmērīgu modificējošā sola piekļuvi. Noslēdzošās hidrotermiskās apstrādes procesā pārklājums konsolidējas ar šķiedru virsmu, stabilizējas relatīvais procentuālais elementu sadalījums uz šķiedras virsmas. Rūpnieciskā procesā ir iespējama labāka sola caurplūšanas kontrole, nodrošinot vienmērīgu modificējošā sastāva piekļuvi un stabilizējot pārējos procesa parametrus, līdz ar to uznestā pārklājuma apjomus un īpašības.
4. Modificētās dzijas pārraušanas spēks vidēji palielinās par 17 %, lineārais blīvums – par 16 %; ja stingri ievēro sola sintēzes parametrus, pārraušanas pagarinājums samazinās nedaudz.
5. Adīto drānu paraugos ar modificēto kokvilnas dziju valdziņu blīvums palielinās par 2,6 %; samazinoties porainībai, gaisa caurlaidība samazinās vidēji par 21 %; tvaiku caurlaidības samazinājums nepārsniedz 5 %, salīdzinot ar austām drānām, daudz mazāk ietekmējot valkāšanas komfortu raksturojošās īpašības. Optimālas mērcēšanas laika un sola šķīduma/dzijas masas attiecības ļauj minimizēt trikotāžas drānas ar modificētu kokvilnas dzijas komponenti gaisa caurlaidības samazinājumu.
6. Antibakteriālie testi ar diska difūzijas metodi pret grampozitīvajām *Staphylococcus aureus mscL 334* un *Bacillus subtilis mscL 1141* baktērijām liecina, ka testa paraugiem piemīt antibakteriāla aktivitāte pret testētajām baktērijām, jo nav vērojams apaugums uz un zem paraugiem, kā arī ap paraugiem veidojas no testa baktērijām brīva inhibīcijas zona, kas uzlabo valkāšanas komfortu, neļaujot vairoties baktērijām, savukārt produkta lietošanas ietekme uz vidi samazinās, jo palielinās laiks starp mazgāšanas reizēm, samazinās mazgājamo līdzekļu un elektroenerģijas patēriņš, palielinās zeķu izstrādājuma ilgdzīve.

7. Adīto drānu nodilumizturība ar modificētu kokvilnas dziju satāvā ievērojami palielinās, virsmas defekti konstatēti pēc 15 000 berzes cikliem, tai pat laikā kontroles variantos jau pēc 5000 cikliem, kas ir nozīmīgs adītās drānas veiktspējas uzlabojums, ņemot vērā kokvilnas adījumu zemo nodilumizturību.
8. Veiktie papildinājumi spektru iegūšanas un spektrālanalīzes metodikā, to adaptējot platinētu adītu struktūru izpētei, ļauj izsekot gan dzijas modifikācijas efektiem, gan arī platinētās gludpinuma adīšanas tehnoloģiskā procesa parametru ietekmei un izstrādāt korekcijas noteiktu gala produkta īpašību sasniegšanai.

## KOPĒJIE SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS

1. Rūpnieciski ražotu kokvilnas/poliamīda platinēta adījuma zeķu izstrādājumu modifikācija, piemērojot adaptēto sola-gēla procesu, ir lietderīga antimikrobiālas aizsardzības nodrošināšanai, mehānisko īpašību, t. sk. nodilumizturības, palielināšanai, šķiedru virsmas hidrofobizācijas rezultātā iegūstot “vieglas kopšanas” efektu.

2. Mēģinot adaptētajā sola sastāvā aizvietot fluorūdeņražskābi ar videi draudzīgāko etiķskābi, paredzētās funkcionālās īpašības realizējās tikai pie ļoti ierobežotas tehnoloģisko parametru kopas vājāk izteiktā formā vai antibakteriālā iedarbība nerealizējās nemaz. Turklāt novērojumi liecina, ka fluorūdeņražskābe solā pilda ne tikai katalizatora funkcijas, bet, kā liecina EDS un spektrālanalīze, sola-gēla procesa norisē pārklājuma sastāvā modificējošo efektu nodrošināšanai uz tekstilijām veidojas nozīmīgas C-F<sub>n</sub> funkcionālas ķīmiskās grupas.

3. Neskatoties uz iekšējās šķiedru/pavedienu porainības samazināšanos, modificējošajam pārklājumam izoderējot iekšējās poras, pateicoties platinētās trikotāžas struktūrai, valkāšanas komfortu noteicošās īpašības samazinās salīdzinoši nedaudz (gaisa caurlaidība) vai praktiski nemaz/pat nedaudz palielinās (tvaiku caurlaidība), jo tekstilijas virsmas hidrofilā un izveidotā hidrofobā slāņa mijiedarbībā liekais mitrums efektīvi tiek aizvadīts no saskares zonas “valkātāja āda-tekstilija”.

4. Jaukta šķiedru sastāva trikotāžas modifikācijai adaptēto sola-gēla procesu iespējams savietot ar tradicionāli lietoto zeķu izstrādājumu noslēdzošās hidrotermiskās apstrādes procesu, iekļaujot tajā sekciju zeķu piesūcināšanai/apsmidzināšanai ar sola šķīdumu.



4.11. att. Zeķu izstrādājumu noslēdzošā hidrotermiskā apstrāde [36].

5. Ņemot vērā straujo daudzveidīgas valkājamās elektronikas ienākšanu aprītē, darba ietvaros izstrādātas tehnoloģijas kokvilnas dzijas modificēšanai pirms adīšanas ar mērķi nepakļaut adīšanas procesā iestrādātās elektroniskās komponentes sola-gēla procesam un saglabāt zeķu izstrādājumu funkcionālo veiktspēju.

6. Salīdzinošā modificētās kokvilnas dzijas/PA un modificētās kokvilnas dzijas/PES platinētās trikotāžas analīze ļauj secināt, ka plānotās funkcionālās un komfortu raksturojošās īpašības ir nodrošinātas abos gadījumos, tās variē šaurā intervālā atkarībā no sola sastāva un procesa parametriem, turklāt ietekmes intensitāti vairāk ietekmē parametru mijiedarbība nekā katrs parametrs atsevišķi.

7. Salīdzinot PA un PES pavedienus saturošu adījumu variantu komfortu raksturojošās īpašības, secināts, ka modificētās kokvilnas/PES adīto struktūru gaisa caurlaidības samazinājums nepārsniedz 10 % un relatīvā tvaiku caurlaidība atsevišķos variantos pat palielinās, tai pat laikā adītās struktūras ar PA pavedieniem gaisa caurlaidības vidējais samazinājums sasniedz 20 %, relatīvās tvaiku caurlaidības samazinājums nav vērā ņemams.

8. Pētniecības procesā iegūtie regresijas vienādojumi un atbilstošie atbalss virsmu šķēlumi var kalpot sola sastāvu un procesa tehnoloģisko parametru izvēles un saskaņošanas procesam atbilstoši paredzamajam lietojumam.

9. Darbā izstrādātā Furfē transformācijas infrasarkanās spektroskopijas procesā iegūto datu papildapstrādes metode ļauj iegūt ne tikai kvalitatīvus, bet arī kvantitatīvus datus jaukta šķiedru sastāva platinētas gludpinuma trikotāžas tehnoloģiskā procesa parametru regulēšanai un modifikācijas efektu novērtēšanai.

10. Adīšanas procesā iestrādājot platinētajā gludpinuma struktūrā modificētas kokvilnas dzijas komponenti 70–80 % robežās (saglabājot sintētisko dzijas sastāvu līdz 30 %), tiek nodrošināta jaukta šķiedru sastāva platinēta gludpinuma adījuma antimikrobiāla aktivitāte, ne tikai neļaujot mikroorganismiem augt zonā “āda-tekstilija”, bet arī nodrošinot salīdzinoši plašu inhibīcijas zonu ap modificētajiem kokvilnas pavedieniem, tādējādi aizsargājot adīto struktūru un tajā iestrādātās valkājamās elektronikas komponentus kopumā. Tai pat laikā valkātāja komfortu nodrošinošās īpašības saglabājas.

11. Atsevišķas dzijas modifikācijas ieviešana ražošanā praktiski būtu veicama dzijas vērpsanas ražotnē, kur tradicionāli ir iekārtas dzijas pārspolēšanai uz krustspolēm, ja paredzama dzijas krāsošana, tad bieži vien arī uz ficēm. Šis būtu optimāls variants, jo atbilstošās krāsošanas iekārtas, ja nepieciešams, var piemērot dzijas piesūcināšanai ar sola šķīdumu, procesu noslēdzot uzņēmumā esošā žāvēšanas līnijā, kas būtu ekonomiski izdevīgākais variants.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. G. Havenith, S. G. Hodder, and C. Heyde, "Comfort in clothing-Determining the critical factors," st International Comfort Congress. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/317559676>.
2. N. Baribina, I. Baltina, and A. Oks, "Application of additional coating for conductive yarns protection against washing," *Key Eng. Mater.*, vol. 762, pp. 396–401, 2018, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.762.396.
3. N. Baribina, I. Baltina, and A. Oks, "Application of additional coating for conductive yarns protection against washing," *Key Eng. Mater.*, vol. 762, pp. 396–401, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.762.396.
4. Okss A. Kataševs A., "Okss A. Kataševs A. Tekstila pārveidošanas ierīce (TPI) stiepes un spiedes mērījumiem, no TPI veidotu ierīču sistēmas ādas un muskuļu kontrolei un stimulēšanai un TPI ražošanas metode, izmantojot strāvu vadošos pjezorezistīvus diegus un plūksnoto vai fron," *Patents LV 14920 B*, 2015.
5. G. Repon, M., Mikučioniene, D., Baltiņa, I., Blūms, J., Laureckiene, "Ag Coated Pa-Based Electro-Conductive Knitted Fabrics for Heat Generation in Compression Supports.," *Autex Res. Journal*, pp. 1–9., 2021, [Online]. Available: ISSN 1470-9589. e-ISSN 2300-0929.
6. I. Baribina, N., Okss, A., Baltiņa, I., Šahta, "Washability of Knitted Conductive Lines for Smart Textile Application.," *Text. Bioeng. Informatics Symp. Proc. (TBIS 2018), United Kingdom, Manchester, 25–28 July, 2018. Manchester 2018, pp. 197–204. ISSN 1942-3438*.
7. Kee Sam Jeong and Sun K. Yoo, "Electro-Textile Interfaces: Textile-Based Sensors and Actuators," in *Smart Clothing Technology and Applications*. ed. G. Cho, pp. 89–113.
8. G. Acar, O. Ozturk, A. J. Golparvar, T. A. Elboshra, K. Böhringer, and M. Kaya Yapici, "Wearable and flexible textile electrodes for biopotential signal monitoring: A review," *Electron.*, vol. 8, no. 5, pp. 1–25, 2019, doi: 10.3390/electronics8050479.
9. "Latvijas apģērba un tekstila rūpniecības nozares apskats | business.gov.lv - Valsts platforma biznesa attīstībai." <https://business.gov.lv/en/node/11755> (accessed Jan. 11, 2022).
10. Bipin Kumar and Viraj Somkuwar, "Introductory Chapter: Functional Textiles," *Text. Funct. Appl. London, United Kingdom IntechOpen, 2021*, p. 13, 2021, [Online]. Available:<http://dx.doi.org/10.1039/C7RA00172J%0Ahttps://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>.
11. M. A. R. Bhuiyan, L. Wang, A. Shaid, R. A. Shanks, and J. Ding, "Advances and applications of chemical protective clothing system," *J. Ind. Text.*, vol. 49, no. 1, pp. 97–138, 2019, doi: 10.1177/1528083718779426.
12. S. Scataglini, G. Andreoni, and J. Gallant, "Smart clothing design issues in military applications," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol. 795, pp. 158–168. doi: 10.1007/978-3-319-94619-1\_15.
13. S. Beesoon, N. Behary, and A. Perwuelz, "Universal masking during COVID-19 pandemic: Can textile engineering help public health? Narrative review of the evidence," *Prev. Med. (Baltim.)*, vol. 139, 2020, doi: 10.1016/j.ypmed.2020.106236.
14. H. Leutheuser *et al.*, "Textile Integrated Wearable Technologies for Sports and Medical Applications," 2017, pp. 359–382. doi: 10.1007/978-3-319-50124-6\_16.
15. H. Saleem and S. J. Zaidi, "Sustainable use of nanomaterials in textiles and their environmental impact," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 22, pp. 1–28, 2020, doi: 10.3390/ma13225134.
16. A. Bras *et al.*, "Vpliv nanotehnološkega postopka kemijske modifikacije na

- protimikrobnost in biorazgradljivost tekstilnih vlaken,” *Tekstilec*, vol. 60, no. 1, pp. 14–24, 2017, doi: 10.14502/Tekstilec2017.60.14-24.
17. S. Vihodceva, “Nanolīmenī modificētu tekstiliju sortimenta paplašināšana. Promocijas darbs. Rīga: RTU, 2014, 207 lpp.”.
  18. “ISO 6330:2021 – Textiles – Domestic washing and drying procedures for textile testing”.
  19. “EN 12127:1997 – Textiles – Fabrics – Determination of mass per unit area using small samples”.
  20. “EN 14971:2006 – Textiles – Knitted fabrics – Determination of number of stitches per unit length and”.
  21. D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments, 8th edition*, vol. 32, no. 1. John Wiley & Sons, Incorporated, 2013. doi: 10.1002/ep.11743.
  22. ISO 139:2005 Textiles – Standard atmospheres for conditioning and testing.
  23. “ISO 2062:2009 – Textiles – Yarns from packages – Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester”.
  24. Baltiņa I. (2001). Rīga: RTU Izdevniecība. 95, “Metodiskie norādījumi laboratorijas darbiem tekstilmateriālzinībās.”.
  25. “LVS EN ISO 12947-1:2001. Tekstilizstrādājumi – Izstrādājumu nodilumizturības noteikšana ar Martindeila metodi – 2.daļa: Martindeila abrazīvās nodilšanas pārbaudes ierīce. – 2001 – 12 p.”.
  26. “ISO 9237:1995 – Textiles – Determination of the permeability of fabrics to air”.
  27. “ISO 11092:2014 – Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)”.
  28. David J Spencer, *Knitting technology - a comprehensive handbook and practical guide*. Elsevier. ISBN 1 85573, 2006.
  29. Z. Z. Ieva Baķe, Dana Beļakova, Silvija Kukle, “Method for Assigning Additional Functional Properties by Modifying Textile Yarn for Knitted Products,” *Patents. Nr. LV15500B*, 2021.
  30. S. Kukle, S. Vihodceva, D. Beļakova, B. Lukasevica, and A. Riepniece, “At the nano-level modified cotton knitwear prototype development,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 254, no. 12, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/254/12/122005.
  31. I. Noda, A. E. Dowrey, J. L. Haynes, and C. Marcott, “Group Frequency Assignments for Major Infrared Bands Observed in Common Synthetic Polymers,” in *Physical Properties of Polymers Handbook*, Springer, New York, NY, 2007, pp. 395–406. doi: 10.1007/978-0-387-69002-5\_22.
  32. G. Rotter and H. Ishida, “FTIR separation of nylon-6 chain conformations: Clarification of the mesomorphous and  $\gamma$ -crystalline phases,” *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 30, no. 5, pp. 489–495, Apr. 1992, doi: 10.1002/POLB.1992.090300508.
  33. M. R. Jung *et al.*, “Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 127, pp. 704–716, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2017.12.061.
  34. М. Р. СанПиН, “Гигиенические требования к одежде для детей , подростков и взрослых,” 2003.
  35. L. M. Teksheva *et al.*, “[Hygienic assessment of children’s clothes made using new-generation textile auxiliaries],” *Gig. Sanit.*, no. 2, pp. 75–79, 2009.
  36. “Detailed Socks Manufacturing Process – MeetSocks.” <https://www.meetsocks.com/socks-manufacturing-process.html> (accessed Jun. 26, 2023).



**Ieva Baķe** dzimusi 1990. gadā Rīgā. Latvijas Universitātē ieguvusi profesionālo bakalaura grādu un interjera dizainera kvalifikāciju (2015). Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi maģistra grādu materiālu dizainā un tehnoloģijā (2017). Patlaban ir RTU Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Dizaina tehnoloģiju institūta pētniece un asistente.