



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Ieva Baķe

KOKVILNAS DZIJAS UN JUKTU ŠĶIEDRU TRIKOTĀŽAS VIRSMAS MODIFIKĀCIJA VEIKTSPĒJAS UZLABOŠANAI

Promocijas darbs



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 darbs

Zinātniskā vadītāja
profesore *Dr. habil. sc. ing.*

SILVIJA KUKLE

RTU Izdevniecība

Rīga 2023

Baķe I. Kokvilnas dzijas un jauktu šķiedru trikotāžas virsmas modifikācija veiktspējas uzlabošanai. Promocijas darbs. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2023. – 125 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

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 *PhD.* Daiva Mikučionienė
Kauņas Tehnoloģiju universitāte, Lietuva
Profesore *PhD.* Tiia Plamus
Tallinas Tehnoloģiju universitāte, Igaunija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Ieva Baķe: (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, četras nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 74 attēlus, 16 tabulas, kopā 125 lappuses. Literatūras sarakstā ir 131 nosaukums.

ANOTĀCIJA

Ieva BAĶE *“Kokvilnas dzijas un jauktu šķiedru trikotāžas virsmas modifikācija veiktspējas uzlabošanai”* [Promocijas darbs] Rīgas Tehniskā universitāte, MLĶF, Rīga – 2023. – 125 lpp.

Promocijas darbā apskatīta un izstrādāta metode – kokvilnas dzijas, kokvilnas, kokvilnas/poliamīda un kokvilnas/poliestera trikotāžas daudzfunkcionālas virsmas modifikācijas iespējas un tehnoloģijas. Apskatīts un izvērtēts modifikācijas ietekmes novērtējums uz trikotāžas izstrādājumu parametru īpašībām, valkāšanas komfortu.

Izstrādāta metode dzijas modificēšanai, piemērojot sola gēla tehnoloģiju, kā arī novērtēta modifikācijas ietekme uz dzijas fizikālajām un mehāniskajām īpašībām. Izstrādāta sagatavošanas un adīšanas tehnoloģiskā secība platinētas gludpinuma jauktu šķiedru sastāva – modificēta kokvilnas dzija/PA/PES – šķērsadītas trikotāžas drānas ieguvei. Rezultātā ir izstrādāts patents “Paņēmiens papildfunkcionālo īpašību piešķiršanai trikotāžas izstrādājumiem, modificējot tekstilpavedienus”. Patenta nummurs: LV15500B. 2010.2021.

Promocijas darbs sastāv no 4 pamatnodaļām, ievada secinājumiem un rekomendācijām. Darba apjoms: 125 lpp, 75 attēli, 16 tabulas un literatūras saraksts ar 131 avotu.

ANOTATION

Ieva BAĶE “Surface Modification of Cotton Yarns and Mixed Fibre Textiles for Improved Performance” [PhD thesis] Riga Technical University, MLĶF Riga – 2023. – 125 p.

The doctoral thesis examines and develops a method – possibilities and technologies of multi-functional surface modification of cotton yarn, cotton, cotton/polyamide, and cotton/polyester knitwear. The assessment of the effect of the modification on the parameters of the knitted products, the wearing comfort, has been reviewed and evaluated.

A method for yarn modification by applying sol-gel technology was developed, and the effect of the modification on the physical and mechanical properties of the yarn was evaluated. The technological sequence of preparation and knitting to produce cross-knitted fabric of platinized plain weave mixed fibre composition – modified cotton yarn PA/PES – has been developed.

As a result, the patent “Method for Assigning Additional Functional Properties to Knitted Products by Modifying Textile Threads” was developed. Patent number: LV15500B. 2010.2021.

The thesis consists of 4 main chapters, introductory conclusions, and recommendations. Volume of the work: 125 pages, 75 images, 16 tables and a bibliography with the 131 sources.

SATURS

IEVADS	14
1. LITERATŪRAS APSKATS	20
1.1. Funkcionālo un viedo tekstilizstrādājumu apskats.....	20
1.2. Šķiedru un tekstila izstrādājumu modificēšana	23
1.2.1. Antibakteriālas/antimikrobiālas īpašības	24
1.2.2. Nanostrukturētas tekstiliju modifikācijas	27
1.2.3. Tekstilijas ar mitruma/eļļas atgrūšanas īpašībām	28
1.2.4. Elektrovadošu elementu integrācija tekstilmateriālos un viedās tekstilijas	30
1.3. Valkāšanas komforts.....	31
1.4. Sintētisko šķiedru īpašības un raksturojums.....	33
1.4.1. Poliamīds (PA).....	33
1.4.2. Poliesteris (PES)	36
1.5. Sola gēla tehnoloģija.....	37
1.5.1. Sola gēla sintēzi ietekmējoši parametri.....	37
1.6. Pirmās nodaļas kopsavilkums un secinājumi	40
2 . EKSPERIMENTĀLĀ UN METODISKĀ DAĻA	43
2.1. Sola sintēze un modificēšanas tehnoloģija	43
2.2. Paraugu sagatavošana modifikācijai un to pēcapstrādes	43
2.2.1. Hidrotermiskā apstrāde (mazgāšana)	43
2.2.2. Paraugu papildapstrāde pirms modifikācijas	44
2.2.3. Modificētās dzijas paraugu pārstrāde trikotāžas drānās	44
2.2.4. Tekstiliju sastāvu un struktūru raksturojošo parametru novērtēšana	44
2.3. Testēto paraugu raksturojums un atšifrējumi	44
2.4. Mehānisko un komforta īpašību testēšanas metodes	47
2.4.1. Dzijas stiprības noteikšana	47
2.4.2. Nodiluma izturības novērtēšana	47
2.4.3. Gaisa caurlaidības novērtēšana	47
2.4.4. Slapēšanas līdzsvara leņķa novērtēšana.....	48
2.4.5. Tvaika caurlaidības un siltuma pretestības novērtēšana.	48
2.5. Uznestā pārklājuma novērtēšanas metodes	49

2.5.1. Antibakteriālo īpašību analīze	49
2.5.2. Skenējošā elektrostaru mikroskopija (SEM) un Enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas analīze (EDS).....	49
2.5.3. Furjē transformāciju infrasarkanās spektroskopijas (FTIR) piemērošana pētījumu objektu specifikai.....	49
3. Jauktu šķiedru sastāva trikotāžas izstrādājumu modifikācija.....	51
3.1. Kokvilnas/PA zeķu izstrādājumu raksturojošie parametri un eksperimentu plānojums.....	51
3.2. Modificēta adījuma šķiedru virsmas mikro struktūras.....	54
3.3. Salīdzinoša ATR-FTIR spektru analīze	56
3.4. Virsmas slapējamības salīdzinoša analīze.....	63
3.4.1. CO/PA trikotāžas priekšapstrādes ietekme uz modificētu virsmu slapējamību	64
3.4.2. Apstrādes režīms ar 5mas.%CAD koncentrāciju	64
3.4.4. Apstrādes režīms ar 7,5mas. %CAD koncentrāciju	67
3.4.3. Prekursora CAD mas. % koncentrācijas ietekme uz trikotāžas virsmas slapējamību	69
3.4. Gaisa caurlaidības analīze	70
3.4.1. Apstrādes režīms ar 5mas.%CAD koncentrācijas solu	72
3.4.2. Apstrādes režīms ar 7,5mas.%CAD koncentrāciju	73
3.5. CO/PA zeķu izstrādājumu tvaika caurlaidība	74
3.6. Siltumpretestība	77
3.6.1. Ar 5mas.% un 7,5mas.%CAD solu apstrādātu paraugu siltumu pretestības salīdzinošā analīze	77
3.6.2. Ar 5mas.% un 7,5mas.%CAD solu apstrādātu paraugu siltumu pretestības salīdzinošā analīze pēc hidrotermiskās apstrādes.....	78
3.7. Antibakteriālās aktivitātes novērtēšana.....	79
Trešās nodaļas kopsavilkums un secinājumi.....	83
4. Tehnoloģija trikotāžas izstrādei ar integrētu modificētas kokvilnas dziju.....	85
4.1. Kokvilnas dzijas modifikācija.....	86
4.1.1. Dzijas sagatavošana un modifikācija.....	86
4.1.2. Trikotāžas ar integrētu modificētas dzijas komponenti izstrāde.....	87
4.2. Modificētās dzijas tehnoloģiskās īpašības	92
4.2.1. Mērcēšanas parametru ietekme uz modificētās dzijas īpašībām.....	96

4.2.2. Modificētās dzijas lineārā blīvuma palielinājums atkarībā no attiecības un karsēšanas laika	97
4.2.3. Modificētās dzijas stiepes sprieguma un pagarinājuma izmaiņas atkarībā no attiecības un iemērķšanas laika	98
4.3. Poliamīda un modificētās kokvilnas dzijas trikotāžas variantu salīdzinošā analīze	101
4.3.1. FTIR- ATR Spektru salīdzinošā analīze	101
4.3.2. Kokvilnas/PA/elastāna trikotāžas drānu struktūru sastāvu raksturojošie parametri.....	102
4.3.3. Kokvilnas/PA/elastāna trikotāžas drānu gaisa un tvaiku caurlaidības salīdzinošā analīze	102
4.3.4. Nodilumizturība un virsmas efekti berzē.....	103
4.4. Modificētās kokvilnas un poliestera trikotāžas drānu raksturojošie parametri	105
4.4.1. FTIR-ATR spektru salīdzinošā analīze.....	105
4.4.2. Adītās drānas struktūru raksturojošo parametru salīdzinošā analīze	108
4.4.3. Antibakteriālo īpašību novērtējums	109
4.4.4. Trikotāžas drānu(kokvilna/poliestera/elastana) gaisa caurlaidības salīdzinošā analīze	111
Ceturtais nodaļas kopsavilkums un secinājumi	114
KOPĒJIE SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS.....	116
LITERATŪRAS AVOTU SARAKSTS	118

SKAIDROJUMI SAĪSINĀJUMI

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 – siltumapretastība

TC – tvaika caurlaidība

SEM – skenējošā elektronu mikroskopija

Zn – cinks

mas.% – procentuālais masas apjoms

PFE – pilns faktoru eksperiments

GC – gaisa caurlaidība

EDS – enerģijas dispersīvā rentgenstaru spektroskopija

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att. Antibakteriālo tekstila izstrādājumu tirgus pieauguma prognoze laika periodā no 2016.–2027. gadam [15].....	21
1.2. att. Antibakteriālo tekstilizstrādājumu tirgus prognozējamais pieaugums pēc lietojuma jomas laika periodā no 2020. - 2027. gadam [15].....	22
1.3. att. Antibakteriālo tekstilizstrādājumu tirgus prognozējamais pieaugums pa reģioniem [15].	22
1.4. att. Antimikrobiālās iedarbības principi [38].	26
1.5. att. Ar kapsulējošu reaģentu kovalenti saistīta nanodaļiņa [47],.....	27
1.6. att. Shematiskais nanodaļiņu “zaļās sintēzes” attēlojums [47],	27
1.7. att. Neilona struktūras raksturojošā diagramma [82, 83].	33
1.8. att. PA kondensācijas polimerizācija [86].	35
1.9. att. PA variantu salīdzinoši absorbciju spektri [87].	35
1.10. att. Polietilēntereftalāts.....	36
1.11. att. Poliestera šķiedras fizikālā struktūra [85].	36
1.12. att. Trīs primārās reakcijas sola-gēla sintēzē izmantojot alkoksīdu metodi.	37
1.13. att. a) Mezoporainā silīcija dioksīda prekursoru struktūra; b) Mezoporainu silīcija dioksīda veidošanās reakciju piemērs: hidrolīze (I) un kondensācija (II) [98].	38
1.14. att. Skābju a) un bāzes katalizētu b) hidrolīzes reakciju attēlojums [94].	39
1.15. att. pH ietekme uz sola dispersijas struktūru [100].	39
1.16. att. H ₂ O, TEOS un etilspirta šķīdības diagramma 25 °C [101].	40
2.1. att. Hidrofobas un hidrofilas virsmas robežas [113].	48
3.1. att. Ar kokvilnas šķiedru celulozi šķērssaistīta gēla veidošanās.	52
3.2. att. Ar 5mas.%CAD modificētu 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.	54
3.3. att. Ar 7,5mas.%CAD modificētu 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.	55
3.4. att. Nemodificēts paraugs, un ar 7,5mas.%CAD modificētu solu apstrādātu paraugu mikrogrāfijas, katalizators CH ₃ OOH: a) nemodificēts izstrādājums, b) Pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min), katalizators CH ₃ COOH, c) pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min) un HT apstrādes.....	56
3.5. att. Nemodificēto (K) un modificēto paraugu spektrogrammas: a) kokvilnas celulozei raksturīgās smails, b) iespējamo ķīmisko grupu saišu vibrācijas uz modificētas virsmas.	57
3.6 att. Kokvilnas/Poliamīda zeļu izstrādājumu salīdzinoši absorbcijas spektri: a) frekvenču diapazons 400–1950 cm ⁻¹ , b) frekvenču diapazons 2500–4000 cm ⁻¹ . Ks1 un Ks2 nemodificētas, Ms1 un Ms2 modificētas (120 °C, 8 min) trikotāžas labās un kreisās puses spektri.	59
3.7. att. Kokvilnas/ poliamīda zeļu izstrādājumu salīdzinoši absorbcijas diferencu spektri.	61
3.8. att. Temperatūras un karsēšanas laika ietekme uz absorbcijas intensitāti. Augšējais attēls: karsēšanas temperatūra 100 °C, laiks attiecīgi 5 min., (zils grafiks), 8 min., (sarkans). Apakšējais attēls: karsēšanas temperatūra 120 °C, laiks attiecīgi 5 min., (zils grafiks), 8 min., (zaļš).	62

3.9 att. Ar HF un etiķskābes katalizatoru solu modificētu zeķu spektri.....	63
3.10. att. Nemodificētas adītās virsmas slapēšanas leņķa izmaiņas laikā.	63
3.11. att. Kontroles un modificētu paraugu slapēšanas leņķa izmaiņas laikā.	64
3.12. att. 5mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze.	65
3.13. att. 5mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze: a) pēc modifikācijas un b) pēc modifikācijas un pirmās HT apstrādes.....	66
3.14. att. Ar 5mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas šķēlumī pēc HT apstrādes...	67
3.15. att. Ar 7,5mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze.....	68
3.16. att. Ar 7,5mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze.....	68
3.17. att. Ar 5mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze pēc HT apstrādes.	69
3.18. att. Ar 5 mas.% (a) un 7,5mas. % (b) CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze	70
3.19. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 5mas.%CAD modificētas zeķes stulmā.	72
3. 20. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 5mas.%CAD modificētas zeķes stulmā pēc HT apstrādes.....	73
3. 21. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 7,5mas.%CAD modificētas zeķes stulmā.	73
3.22. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 7,5mas. CAD modificētas zeķes stulmā pēc HT apstrādes.....	74
3.23. att. Vidējo TC mērījumi visām paraugu grupām pēc gala HT apstrādes.	76
3.24. att. TC mērījumi pēc HT apstrādes paraugiem kas modificēti ar a) 5mas.%CAD un b) 7,5mas.%CAD solu.	76
3.25. att. Nemodificētā un modificēto paraugu SP salīdzinošā analīze.	78
3.26. att. SP mērījumi pēc HT apstrādes paraugiem kas modificēti ar a) 5mas.%CAD un b) 7,5mas.%CAD solu.	79
3.27. att. Siltuma pretestība 5mas.%CAD, 7,5mas.%CAD solu modificētiem paraugiem pēc hidrotermiskās apstrādes.	79
3.28. att. Modificētu (HF) un nemodificētu paraugu antibakteriālā aktivitāte pret: a) <i>Staphylococcus aureus</i> ATTC 2913 un b) <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922.....	80
3.29. att. Modificētu (E) un nemodificētu paraugu antibakteriālā aktivitāte pret: a) <i>Staphylococcus aureus</i> ATTC 2913 un b) <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922.....	81
3.30. att. Ķīmisko elementu F, Si, Zn sadalījums uz CO tekstilijas šķiedrām (5mas.%CAD sols. Termiskā pēcapstrāde a) 120 °C, 2 min., b) 90 °C 30 min [102].	82
4.1. att. Šķērsadītas platinētas trikotāžas izstrāde uz apaļadīšanas automāta [122].	85
4.2. att. Kokvilnas dzijas modifikācijas tehnoloģiskā secība [123].	87
4.3. att. Trikotāžas izstrādājumu ar integrētu modificētas dzijas komponenti izgatavošanas blokskāma [123].	87
4.4. att. Salīdzinošas pavedienu šķiedru mikrogrāfijas a) pēc modificēšanas un b) pēc modificēto paraugu HT apstrādes pie dažādiem palielinājumiem.	89
4.5. att. Testēšanas laukumu lokācijas un izmēra izvēle. Modificēti pavedieni (a) un no modificētas un HT apstrādātas dzijas adīts paraugs (b).	90
4.6. att. Nemodificētas un modificētas kokvilnas dzijas un adījuma fragmenta ar modificētu dziju – SEM mikrogrāfijas.	91

4.7. att. Nemodificētas (KDz) un modificētas (MDz) kokvilnas dzijas diferencu spektri viļņu skaitļu joslā 400–1950 cm ⁻¹ (a) 2000–4000 cm ⁻¹ (b).....	92
4.8. att. Paralelo variantu dzijas īpašību salīdzinošā analīze. Nemodificēta K, modificētie MWT/1-4 varianti.	94
4.9. att. Pārraušanas slodzi raksturojošo sadalījumu raksturojošas histogrammas un e) sadalījumu centru raksturojošo parametru salīdzinājums.	95
4.10. att. Modificētas dzijas lineārā blīvuma izmaiņas atkarībā no attiecības un iemērķšanas laika.	97
4.11. att. Modificētas dzijas pagarinājuma (%) izmaiņas atkarībā no attiecības un iemērķšanas laika.	98
4.12. att. Nemodificētas un modificētas dzijas izturība (cN/tex) un stiepes deformācija (%) pie maksimālās slodzes.	99
4.13. att. Modificētās dzijas stiprības atkarība no sola šķīduma attiecības un iemērķšanas ilguma. Palielinājuma virzienus šķēluma attēlā norāda bultas.....	100
4.14. att. Stiepes sprieguma relatīvo sastopamības biežumu sadalījums attiecīgi M/W1:8/5 un M/W1:12/15 paraugiem.	100
4.15. att. Modificētu un nemodificētu kokvilnas dziju saturošu adītu paraugu spektri. ..	101
4.16. att. Modificētu un nekodificētu kokvilnas dziju saturošu adītu paraugu diferencu spektrs.....	102
4.17. att. Adīto kokvilnas/PA drānu gaisa caurlaidības salīdzinājums.	103
4.18. att. Kokvilnas/PA drānu virsmas fotofiksācijas pēc 5000 un 15 000 berzes cikliem.	105
4.19. att. MW/1:8/15 (attiecība 1:8; laiks 15 min) kreisās (kokvilnas) puses un labās (PES) salīdzinoši ATR-FTIR spektri.	105
4.20. att. Salīdzinoši variantu kokvilnas virsmas diferencu spektri.	106
4.21. att. Modificēto paraugu absorbcijas spektru salīdzinošā analīze <i>Pozitīva diference – absorbcija samazinās, negatīvā – palielinās</i>	108
4.22. att. No kombinētiem kokvilnas dzijas/poliestera-elastāna pavedieniem adītu paraugu valdziņu blīvuma atbalss virsmas šķēlumi. Bultiņas norāda palielinājumu salīdzinājumā ar paraugu, kas satur nemodificētu kokvilnas dziju.	109
4.23. att. Bacillus subtilis elektronmikogrāfija.	110
4.24. att. Nemodificētas trikotāžas drānas paraugu aktivitāte pret a) Bacillus subtilis mscL 1141 un b) Staphylococcus aureus mscL 334.	110
4.25. att. Modificētu/ nemazgātu trikotāžas drānas paraugu aktivitāte pret a) Bacillus subtilis mscL 1141 un b) Staphylococcus aureus mscL 334.....	111
4.26. att. Salīdzinoša CO/PES trikotāžas variantu GC.....	112
4.27. att. Relatīvā ūdens TC izmaiņas atkarībā no attiecības un mērķēšanas laika.....	112
4.28. att. Zeķu izstrādājumu noslēdzošās hidrotermiskās apstrāde [131].	116

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula FT klasifikācija pēc to īpašībām [10–14]	20
1.2. tabula Poliamīda izturība pret ķīmikālijām [84]	34
1.3. tabula Dažādu šķiedru tekstilpavedienu mehāniskās īpašības [85].....	34
1.4. tabula Galvenās PA raksturīgo ķīmisko grupu absorbcijas joslas [88–91].....	35
2.1. tabula Izmantoto reaģentu saraksts	43
2.2. tabula Paraugu apzīmējumi un to atšifrējumi.....	45
3.1. tabula Pilna faktoru eksperimenta 2 ³ plāns	53
3.2. tabula Celulozei raksturīgās absorbcijas joslas [119]	60
3.3. tabula Ar 5mas.%CAD modificētu solu apstrādātu zeķu izstrādājumu salīdzinoša GC, mm/s	71
3.4. tabula Ar 7,5mas.%CAD modificētu solu apstrādātu zeķu izstrādājumu salīdzinoša gaisa caurlaidība, mm/s	71
3.5. tabula Antibakteriālās iedarbības efektivitātes mērījumi	80
4.1. tabula EDS analīzē uz virsmas konstatēto ķīmisko elementu relatīvās mas.% (variants M/1:10/10).....	90
4.2. tabula Dzijas pārraušanas spēka, pagarinājuma, lineāro blīvumu statistiskie raksturlielumi pirms un pēc modifikācijas un modificētas dzijas HT apstrādes.....	93
4.3. tabula Korelācijas matrica	93
4.4. tabula Eksperimenta 2 ² plāns	96
4.5. tabula Kokvilnas dzijas īpašību izmaiņas modifikācijas parametru ietekmē	97
4.6. tabula Trikotāžas drānu (75 % CO/ 21 % PA/ 4 % elastāns) struktūras raksturlielumi	102
4.7. tabula Trikotāžas drānu (75 % CO/ 21 % PA/ 4 % elastāns) struktūras raksturlielumi	103
4.8. tabula Trikotāžas drānu (75 % CO/ 21 % PES/ 4 % elastāns) struktūras raksturlielumi	109
4.9. tabula Trikotāžas drānu (75 % CO/21 % PES/4 % elastāns) GC un TC rezultāti	111

IEVADS

Jau vairākas desmitgades pieaugošs pētījumu apjoms visā pasaulē vērsts uz daudzveidīgu funkcionālu elektronisku sistēmu integrāciju gan “in vitro”, gan “in vivo”. To kontrolējošās un izpildes komponentes parasti ir sensori un aktuatori, kas savienoti ar informācijas pārvades, uzkrāšanas un barošanas sistēmām, kopumā veidojot vairāk vai mazāk efektīvu autonomu kompleksu, kas spējīgs reaģēt uz izmaiņām kontrolējamā objektā.

Tā kā vairums lietojumos viss komplekss pārvietojas līdz ar tā nesēju/valkātāju, ir virkne vides ierobežojumu, kurā tas jāievieto. Ja tas ir apģērbs vai ikdienā lietojams aksesuārs, jāņem vērā gan tas, cik komplekss ir ērts lietotājam, cik tas sver, kā sader ar vizuālo tēlu, gan cik lielā mērā tas pakļaujams regulārai kopšanai, kāda nepieciešama apģērbam/tekstilijai. Līdz šim nav izstrādāts universāls komponentu komplekts, kas ļautu vienkārši tās savienot funkciju realizācijai un videi atbilstošā konfigurācijā, līdztekus nodrošinot arī pārējās lietotājam svarīgās īpašības.

Veidojot ar elektronikas elementiem integrētu viedo apģērbu, ir svarīgi izvēlēties atbilstošu tekstiltehnoloģiju un tekstilijas struktūru, kas vislabākā veidā nodrošina tekstilijas saderību ar elektroniskās sistēmas elementiem gan izgatavošanas, gan lietošanas procesā. Ņemot vērā Rīgas Tehniskajā universitātē izstrādātās tehnoloģijas, kas ļauj adīšanas procesā līdztekus tekstilijas struktūras veidošanai ieadīt tādas elektroniskās sistēmas komponentes kā sensorus un elektrovadošus pavedienus [1], plānojot viedas tekstilijas, ir dodama priekšroka adītām struktūrām.

Trikotāžas un austas drānas atšķiras ar formēšanas tehnoloģiju: austā drāna veidojas no divām savstarpēji perpendikulārām pamatpavedienu sistēmām, kas aušanas procesā savstarpēji savienojas atbilstoši pinuma rakstam, veidojot struktūru, kurā tās elementiem (pavedieniem) lietošanas slodžu iedarbībā ir nelielas vai praktiski nav pārvietošanās iespējas, līdz ar to austu drānu elastība ir ierobežota. Savukārt šķērsadītās trikotāžas drānu veido horizontālu valdziņu rindas no viena pavediena/pavedienu sistēmas. Atkarībā no pinuma, valdziņu augstuma, blīvuma un pavedienu sistēmas kompozīcijas specifikas veidojas vairāk vai mazāk elastīga sistēma. Salīdzinājumā ar austu drānu no dzijām ar līdzīgiem raksturlielumiem, adītai drānai ir daudz irdenāka struktūra un stipri vairāk izteikta trešā dimensija. Pateicoties atšķirīgajai uzbūvei, adījumi ir elpojoši, viegli mazgājami, elastīgi un tiem piemīt spēja atgūt sākotnējos izmērus pēc tam, kad slodze noņemta. Šīs īpašības padara adītos apģērbus un sporta apģērbus ideāli piemērotus dažādām aktivitātēm, tostarp ceļošanai, lietošanai ikdienā un – ja tas ir atbilstoši darināts – arī formāliem pasākumiem.

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 apģērbu kārtā 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, zaudē strauji funkcionālās īpašības saskarē ar mazgāšanas līdzekļiem pat pie ļoti saudzīgiem hidrotermiskās apstrādes režīmiem [3 – 6].

Lai arī adīšanas tehnoloģiskās iespējas ļauj izveidot elastīgus elektroniskās sistēmas elementus (sensorus, vadus, ģeneratoru komponentes, displejus un citus) 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 elektroniskās sistēmas komponentes jāparedz izņemamas, 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 pārnesanas un izplatīšanās; papildus viedo apģērbu 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 izsaukto funkcionālo īpašību izmaiņas un to ietekmi uz valkāšanas komfortu.
- Piemērot sola gēla tehnoloģiju daudzfunkcionālai kokvilnas dzijas modifikācijai un novērtēt modifikācijas ietekmi uz dzijas fizikālajām un mehāniskajām īpašībām.
- Izstrādāt sagatavošanas un adīšanas tehnoloģisko secību platinētas gludpinuma jaukta 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 koššanas (*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 tīršanas 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 poliestera 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, Riga, 24.–24. oktobris, 2019. Riga: 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.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Funkcionālo un viedo tekstilizstrādājumu apskats

Tekstilrūpniecība ir viena no garākajām un sarežģītākajām industriālajām ražošanas ķēdēm, kurā iesaistīti daudzi sektori ar garu ražošanas ciklu, kas ietver šķiedru ražošanu un ieguvu, izejvielu ražošanu līdz pusfabrikātiem un gala produktiem. Tekstilrūpniecība ir arī 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]. Līdzās tradicionālajām, estētiskajām un dekoratīvajām funkcijām, mūsdienās tekstila izstrādājumi nodrošina arī valkāšanas komforta, veselības aprūpes un aizsardzības funkcijas.

Funkcionālās tekstilijas (FT) aptver plašu pēc dažādiem principiem klasificējamu tekstilizstrādājumu spektru, vadoties no funkcionālām iedalot tās sešās lielās grupās (1.1. tab.). Tekstilizstrādājumi ar tādām funkcijām, kā antibakteriālas, dezodorējošas, pelējuma necaurļaidīgas, 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.

1.1. tabula

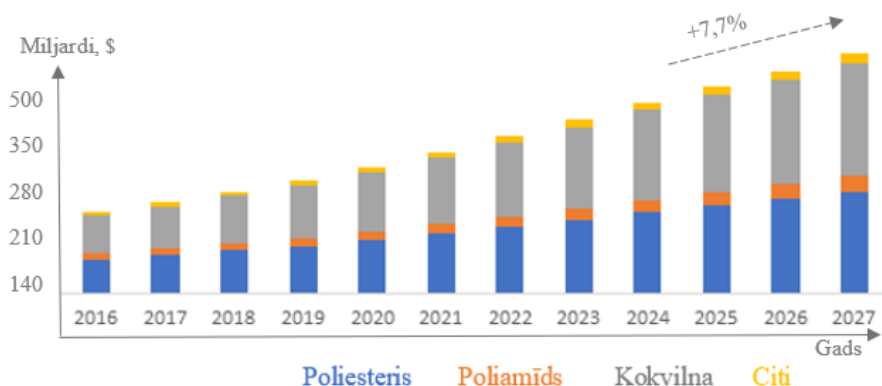
FT klasifikācija pēc to īpašībām [10–14]

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

Drošības un aizsardzības tekstilijām līdztekus tradicionālajām funkcijām, var piešķirt papildfunkcijas, kas var pasargāt lietojumos no fiziskiem, ķīmiskiem vai bioloģiskiem

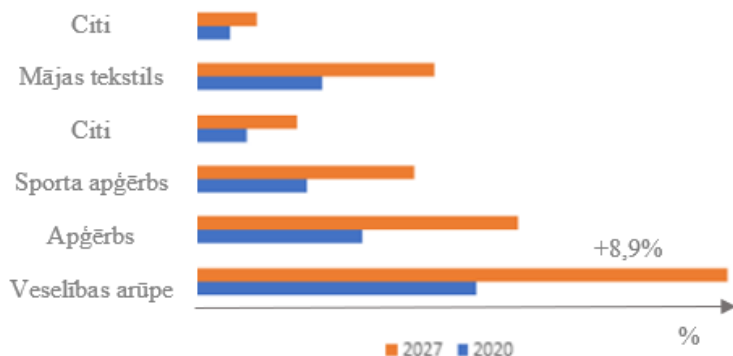
faktoriem/vielām, piemēram, uzliesmošanas, augstas/zemas temperatūras, UV starojuma, trokšņiem, triecieniem un dūrieniem. Savukārt viedās tekstilijas (VT) var sajuxt/reģistrēt vides pārmaiņas un brīdināt/reaģēt uz tām, piemēram, viedā temperatūras regulēšana un krāsu/gaismu maiņa, formas atmiņa, elektroniska kustībā esoša objekta parametru izsekošana un regulējošu funkciju nodrošināšana un citi jauni viedi tekstilizstrādājumi, kas veicina tekstiliju lietojumu arvien plašākās jomās. Pieaugošam patērētāju pieprasījumam pēc kvalitatīvām mājas tekstilijām seko pieaugoši ieguldījumi pētniecībā un zinātnē, lai izstrādātu jaunus produktus, savukārt dažādu galalietotāju pieprasījuma pieaugums pēc pretmikrobu izstrādājumiem veicinās nozares izaugsmi [15].

Funkcionālie apģērbi ir strauji augoša tekstilindustrijas joma. Tās tirgus apjoms 2018. gadā sasniedza \$ 283,3 miljardus un tirgus pētnieki prognozē, ka laika posmā no 2019. līdz 2026. gadam tirgus sasniegs \$505,8 miljardus ar ikgadēju pieaugumu 7,7 % [16]. Tirgus analītiķi uzskata, ka vērojamo augsto izaugsmi iedvesmojis rūpniecības izlaides, patēriņa, importa un eksporta, kā arī kapitālieguldījumu secīgs pieaugums daudzu gadu garumā [17]. Nesenais Covid-19 uzliesmojums ir izraisījis augstāku pieprasījumu pēc medicīniskiem tekstilizstrādājumiem un viedajiem veselības produktiem [10].



1.1. att. Antibakteriālo tekstila izstrādājumu tirgus pieauguma prognoze laika periodā no 2016.–2027. gadam [15].

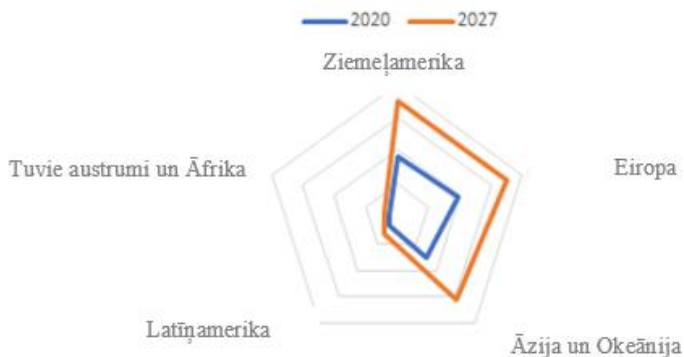
Paredzams, ka kokvilnas auduma antibakteriālo tekstilizstrādājumu tirgus līdz 2027. gadam pārsniegs 10 miljardus USD un pieaugs par aptuveni 9,3 % no 2021. līdz 2027. gadam. Poliesteru audumi dominē antimikrobiālu izstrādājumu patēriņā ar gandrīz pusi no pasaules tirgus daļas, un, visticamāk, līdz 2027. gadam pieaugs par 9,2 %. Poliesteru šķiedru vieglā pieejamība un iespēja tās sajaukt ar citām šķiedrām (kokvilnu, mākslīgajām sintētiskajām šķiedrām – viskozi, sintētiskajām šķiedrām – poliamīdu), padara to par plaši lietotu šķiedru ekspluatācijas īpašību uzlabošanai, vai piesaņošanai lietojumam (1.1. att.) [15].



1.2. att. Antibakteriālo tekstilizstrādājumu tirgus prognozējamais pieaugums pēc lietojuma jomas laika periodā no 2020. - 2027. gadam [15].

Veselības aprūpes nozare 2020. gadā veidoja vairāk nekā 45 % no kopējās tirgus daļas, un līdz 2027. gadam tas piedzīvos aptuveni 8,9 % kāpumu. Jaunu medicīnisko tekstilizstrādājumu izstrāde ar kontrolētas izdalīšanās īpašībām turpinās paplašināt pretmikrobu tekstilizstrādājumu tirgus izaugsmi prognozētajā laika posmā. Līdzvērtīgi prognozēts, ka metālu nanodaļiņu tirgus segments līdz 2027. gadam pieaugs par 9,3 % [15].

Paredzams, ka Eiropas (1.3. att.) antibakteriālo tekstilizstrādājumu tirgus līdz 2027. gadam pārsniegs 6 991,6 miljonus ASV dolāru, jo pieaug pretmikrobu tekstilizstrādājumu izmantošana veselības aprūpē un apģērbu ražošanā. Valdības atbalsts un vairāki fondi, piemēram, “*Horizon 2030*”, ar projektu palīdzību attīsta jaunu tekstilizstrādājumu izstrādi, veicinot nozares paplašināšanos.



1.3. att. Antibakteriālo tekstilizstrādājumu tirgus prognozējamais pieaugums pa reģioniem [15].

Pasaules Veselības organizācijas (*World Health Organization*) ziņojums liecina, ka pēdējos gados ir palielinājusies antibakteriālas rezistences tendences un, ņemot vērā pieaugošo iedzīvotāju skaitu, antibakteriālo tekstilizstrādājumu izpēte un pieprasījums pēc tām progresē. Covid-19 uzliesmojuma rezultātā ir paātrinājušās antimikrobiālo tekstilizstrādājumu pētniecības un attīstības aktivitātes [18].

Globālais viedo tekstilizstrādājumu tirgus 2021. gadā sasniedza 3,0 miljardu ASV dolāru vērtību. Raugoties nākotnē un paturot prātā Covid-19 neskaidrības, IMARC (*The International Market Analysis Research and Consulting*) grupa paredz, ka tirgus aptvere līdz 2027. gadam sasniegs 13,6 miljardus ASV dolāru, laika periodā no 2022. līdz 2027. gadam uzrādot pieauguma tempu 29,1 % apmērā [17].

1.2. Šķiedru un tekstila izstrādājumu modificēšana

Ir dažādi funkcionālās apdares veidi, kas jāizvēlas un jāpiemēro atkarībā no tekstila šķiedras veida un vēlamā gala lietojuma.

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 papildus funkcijas [19].

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 [20]. 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 [19].

Liela nozīme tekstilizstrādājumu ķīmiskajā modifikācijas procesā ir organofunkcionāliem trialkoksisilāniem, kas ir neorganiskā-organiskā hibrīda (IOH) sol-gēla prekursori ar vispārīgo formulu $R-Si(OR)^3$. B. Tomsic un komanda (Ljubļanas universitāte) veica eksperimentus izmantojot dažādas metodes dažāda rakstura tekstiliju modifikācijā. Autori kombinē plazmas pirmsapstrādi ar sol-gēla metodi, modificējot to ar sudraba nanodaļiņām. Šī eksperimenta mērķis bija izpētīt un ieviest trīs pakāpju ķīmiskās modifikācijas metodi, kas nodrošinātu tekstilizstrādājumiem antibakteriālas īpašības, kā arī modifikācijas ieteikumus izstrādājuma bio-degredācijai. Tika modificēti 100 % kokvilnas izstrādājumi, kokvilnas/poliestera izstrādājumi (50/50 %) un 100 % poliesteru izstrādājumi. Plaši pētījumi ir veikti sola gēla tehnoloģijas virzienā izmantojot metāla alkoksīdus un sāļus kā prekursorus, kā arī analizēti skābju un sārmu iedarbība uz hidrolīzes un kondensācijas reakcijām. Pētījumā novērota apstrādāto šķiedru/audumu/tekstilizstrādājumu īpašību uzlabošanās un jaunu piešķiršana (mehāniskā izturība, antibakteriālas īpašības, UV aizsardzība u.c.) [21 – 25].

Līdzvērtīgi pētījumi veikti, lai izstrādātu pārklājumus, kas paildzina tekstila izstrādājumu integrēto elektrovadošo elementu kalpošanas laiku un izturību pret kopšanu. Mitrumu atgrūdošs silīcija pārklājums nodrošināja minimālu elektriskās pretestības pieauguma ātrumu un pavedienu vadītspēja saglabājās pēc vairākiem mazgāšanas cikliem [3, 6].

No izmantotajiem nanomateriāliem, populārākās un daudzpusīgākās ir metālu nanodaļiņas, tās integrējot tekstilizstrādājumos iespējams nodrošināt vairākas funkcionālās īpašības [26, 27].

Neorganiskās nanodaļiņas, piemēram, titāna dioksīds (TiO_2), cinka oksīds (ZnO), silīcija dioksīds (SiO_2), vara(I) un vara (II) oksīds (Cu_2O , CuO), alumīnija oksīds (Al_2O_3) un reducēts grafēna oksīds (RGO) izmantotas, jo tām ir augsta temperatūras un ķīmiskā izturība, kā arī stabilitāte UV starojumā [26].

Tekstila izstrādājumu modifikācijā ZnO un tā atvasinājumi ir bieži izmantoti pateicoties tādām priekšrocībām, kā UV un antibakteriālā aizsardzība, pretsēnīšu īpašībām, kā arī spējai paātrināt brūču dzīšanu. 2021. gada pētījumā izmantojot sonokīmisko sintēzi un apstrādājot kokvilnas audumu novēroja šādus rezultātus – antibakteriālo aktivitāti pret *E. Coli* un *S. Aureus*, hidrofobitātes paaugstināšanos (kontakta leņķa) no 38° līdz 110° , bet tika novērota gaisa caurlaidības samazināšanās par 4,85 %.

1.2.1. Antibakteriālas/antimikrobiālas īpašības

Antimikrobiālie apģērbi ir novatoriska, augoša un ļoti konkurētspējīga joma apģērbu nozarē. Tajos modei un dizainam ir galvenā nozīme, pretmikrobu apdares piešķir papildfunktionalitāti, kas inovatīvā veidā ļauj cīnīties ar baktērijām. Tomēr šādu produktu izpratne un lietošana var būt ierobežota. Pētījums par pretmikrobu apģērbiem, piemēram, bērnu apģērbiem, zeķu un apakšveļas pirkšanas paradumiem Bangkokas metropolē atklāja, ka lielākā daļa pircēju ir sievietes, galvenokārt nodarbinātas un vecumā no 32 līdz 38 gadiem [28]. Pieprasīts ir arī sporta apģērbs, kas spēj novērst mikrobu augšanu un sviedru smaku [29].

Tekstila izstrādājumiem ir būtiska loma sabiedrībā, tādējādi ir svarīga mijiedarbība starp tekstilijas mikrobioloģijas un cilvēka ādas mikrofloras mijiedarbību. Āda ir lielākais orgāns uz cilvēka ķermeņa, kā arī biotops. Ādas virsmas skābums (pH 4,5 – 5) palīdz radīt nelabvēlīgu vidi patogēniem mikroorganismiem, bet vienlaikus arī veicina tādu baktēriju, kā *Staphylococcus pp* un *Corynebacterium pp* augšanu [30, 31]. Komensālie ādas mikrobi parasti ir sugas no taksonu apakškopas, kas iztur skābumu un kuriem ir mehānismi, kas ļauj tiem iztikt ar barības vielu resursiem, kas pieejami sviedros [32].

Primārā mijiedarbība starp apģērbiem un ādu ir mehāniska. Parasti dabīgajām šķiedrām ir salīdzinoši augstāks mitruma saturs un mitruma atgūšana nekā sintētiskajām šķiedrām [33]. Tādēļ tekstilijas, kuru sastāvā ir dabiskās šķiedras, ir vairāk pakļautas mikrobu ietekmei nekā izstrādājumi no sintētiskajām šķiedrām, jo šķiedru mitruma uzsūcošās īpašības un silta vide (ķermeņa temperatūra no 36°C – 38°C) veicina mikrobu augšanu uz tekstila substrātiem [34]. Divi no galvenajiem spēljošajiem spēkiem ir berze un spiediens. Tekstilizstrādājumu ādas berze lielā mērā ir atkarīga no tādiem faktoriem kā šķiedru un auduma struktūra, materiāls un tekstilizstrādājumu kvalitāte, kā arī šķiedru krāsošana un papildus apstrāde var izraisīt izmaiņas ādas mikroflorā [35].

Galvenā mikrobu aktivitātes problēma tekstilizstrādājumos ir mikroorganismu izraisīta tekstilizstrādājumu destrukcija, izraisot nepatīkamu smaku, samazinot tekstilizstrādājumu mehāniskās īpašības un izraisot estētiskus bojājumus [36], rezultātā samazinot produkta kalpošanas ilgumu un paaugstinot resursu lietojumu un izmaksas.

Smaku veidošanās mikrobu ietekmē norit šādu efektu ietekmē:

- mikrobi uz šķiedru virsmas veido bio – pārklājumus izmantojot cilvēka ādas mikrofloras tauku dziedzeru izdalītās sviedru un sebuma izdalītās eļļas – mikrobu uzturvielas, kuru pārstrādes rezultātā rodas nepatīkamais aromāts;
- mikroorganismu izraisīta šķiedru degradācija;
- smakas veidojas, kad šķiedra ķīmiskā ceļā absorbē ādas mikrofloras izdalītos sekrētus un laika gaitā tos pārstrādā un atbrīvo;
- visu iepriekšminēto faktoru mijiedarbības dēļ [37].

Vēsturiski jau sen atklāti dabiskie antibakteriālie un antimikrobiālie pārklājumi uz tekstila izstrādājumiem un audumiem, piemēram, Ēģiptē izmantoja garšvielas un augu pārklājumus sagatavojot mumificēšanai paredzētos audumus. Tradicionāli ķīnieši mājokļa struktūrai izmantoja bambusa šķiedras, kas saturēja pretmikrobu savienojumu ar nosaukumu “*Bamboo-kun*”. Ir arī pētītas bambusa šķiedru dabiskās antibakteriālās un pretsēnīšu īpašības, ko nodrošina 2 – 6-dimetoksi-p-benzohinons un dendrocīns [38].

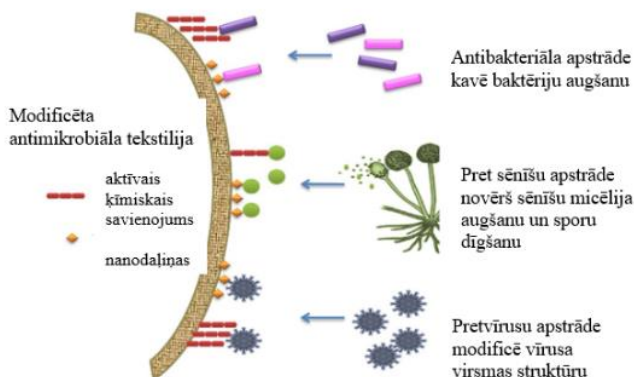
Otrā pasaules kara laikā tika izstrādātas antibiotikas, kā arī radās pieprasījums pēc antimikrobiālajiem līdzekļiem, kas novērstu tekstila izstrādājumu degradāciju. Teltis, brezenti un kravas automašīnu pārsegi bija jāaizsargā stipra lietuse un sniega laikā, jo mikrobi labvēlīgajā vidē strauji vairojoties sagrāva šķiedras un palielināja infekciju iespējamību. Lai aizsargātu audumu no mikrobu kolonizācijas un paildzinātu to kalpošanas laiku, vairāki militārie audumi tika apstrādāti ar antimona sāļiem, varu un hlolvasku maisījumu, kas ne tikai padarīja audumus izturīgākus, bet arī piešķīra tiem specifisku smaržu [38].

Līdz salīdzinoši nesēnai pagātnei netika pievērsta uzmanība šādu jaunu antibakteriālu līdzekļu lietojumu blakus efektiem uz cilvēka veselību, bet sākot ar 1962. gada publicēto grāmatu (*R. Carson, “Silent Spring”*) uzmanība tika vērsta uz drošāku un efektīvāku antibakteriālo savienojumu meklējumiem [39].

Antimikrobiālas iedarbības mehānismus var iedalīt vadoties no izvēlētās metodes ietekmes uz mikroorganismiem (1.4. att.) un tās darbības mehānismiem:

- tekstilizstrādājums kontrolēti izdala antibakteriālo vielu;
- tekstilizstrādājumi tiešā kontaktā iznīcina baktērijas, vai apstādina to dzīves ciklu (biocīda un biostatiska iedarbība);
- tekstilizstrādājumi pasargā izstrādājumu no mikrobiālas adhēzijas (neveicina apauguma veidošanos) [22, 40].

Pirmie divi minētie ir proaktīvas pieejas mehānismi, tos parasti izmanto klīniskajā vidē, tekstila un apģērbu rūpniecībā, jo tie spēj aktīvi likvidēt vai kavēt mikrobu augšanu, izvairoties no to vairošanās.



1.4. att. Antimikrobiālās iedarbības principi [38].

Vienreiz lietojamajos tekstilizstrādājumos nevienam no šiem diviem mehānismiem netiek dota priekšroka. Atkārtoti lietojamajos tekstilizstrādājumos pretmikrobu līdzekļu izdalīšanās no tekstilmateriāla ir diezgan nepraktiska, ja netiek nodrošināta izturība pret mazgāšanu. Antimikrobiālās efektivitātes pārbaudes metodes lielā mērā ir atkarīgas no to pretmikrobu darbības mehānismiem un koncentrācijas. Turklāt standarti atšķiras no pretmikrobu tekstilizstrādājumiem lietošanai paredzētajiem. Piemēram, brūču pārsējiem, kas uzklājami saskarē ar bojātiem ādas audiem, ir atšķirīgas prasības nekā tekstilizstrādājumiem, kas saskarsies ar veselu ādu [41].

Antibakteriālās tekstilijas var iedalīt 3 kategorijās – medicīniskie, slimnīcu un apģērbu tekstila izstrādājumi. Savukārt medicīniskie tekstilizstrādājumi tiek iedalīti 3 kategorijās, kas nonāk saskarē ar:

- steriliem audiem vai asinsvadu sistēmu (ķirurģiskās šuves, pārklājumi, tīkli);
- glotādām vai neskartiem ādas audiem (brūču pārsēji);
- neskartu ādu (medicīniskās maskas).

Slimnīcai paredzētie tekstilizstrādājumi ietver veselības aprūpes darbinieku formas, gultas veļu un pacientu atdalošos aizkarus. Apģērbu tekstilizstrādājumi parasti attiecas uz antibakteriālajām tekstilijām tekstilrūpniecībā, kuru mērķis ir samazināt bioloģisko degradāciju, nepatīkamo aromātu un sēnīšu likvidāciju. Šādas īpašības tiek integrētas lielākoties sporta apģērbā, apakšveļā, zeķēs, mājas tekstilijās u. c. [41].

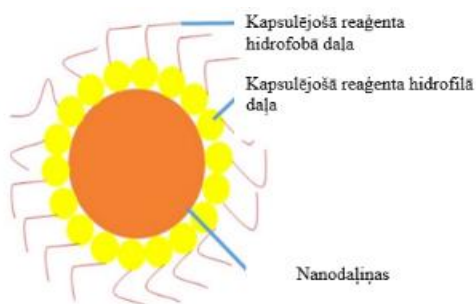
Tomēr šādu produktu izpratne un lietošana var būt ierobežota. Pētījums par pretmikrobu apģērbu, piemēram, bērnu apģērbu, zeķu un apakšveļas, pirkšanas paradumiem Bangkokas metropolē atklāja, ka lielākā daļa pircēju ir sievietes, galvenokārt nodarbinātas un vecumā no 32 līdz 38 gadiem [28]. Pieprasīts ir arī sporta apģērbs, kas spēj novērst mikrobu augšanu un sviedru smaku [29].

“*Antimicrobial Arm Sleeve*” autori patentēja elastīgu pretmikrobu uznavu, ko lieto šķaudot vai klepojot piedurknē. Uznavu ir izstrādāta nēsāšanai virs apģērba neierobežojot kustību [42]. Antimikrobiālās tekstilijas neaprobežojas tikai ar lietojumu ikdienas rutīnā, tās pieprasītas arī daudzās citās jomās. Pēdējos gados veikta analīze par to lietojumu ilgstošās kosmosa misijās.

Lai arī kosmosa vide parasti ir sterila, tomēr šādās misijās apģērbi tiek lietoti ilgstoši un kosmosā mazgāšanas iespējas ir limitētas. Apģērba ilgstošā saskarē ar cilvēka ādu un tās mikrofloru vairojas mikrobi arī sterilā vidē, līdz ar to ir aktuāli tekstila izstrādājumi, ko var lietot tos retāk pakļaujot hidrotermiskai apstrādei [43]. Covid-19 pandēmija izraisījusi strauju pieprasījumu pēc nanotehnoloģiju balstītiem pretvīrusu izstrādājumiem, tostarp sejas maskām, cimdiem, aizsargtērpiem u. c. veicinot strauju nanodaļiņas saturošu tekstilizstrādājumu attīstīšanos, ražošanas un izmantošanas pieaugumu. Neadekvāta šāda veida izlietoto individuālās aizsardzības līdzekļu savākšanas un likvidēšanas prakse var radīt ilgstošu negatīvu ietekmi uz vidi [44]. Nosakot metālu nanodaļiņu zudumu tekstilizstrādājumos tos mazgājot ir iespējams aprēķināt nanodaļiņu apjomu, kas izdalītos vidē, ja šādus izstrādājumus likvidētu atkritumu poligonos [45].

1.2.2. Nanostrukturētas tekstiliju modifikācijas

Nanostrukturētu neorganisku materiālu biosintēze un lietojums ir viens no veidiem antibakteriālu tekstila izstrādājuma ražošanā. Piemēram, ar sintezētām selēna nanodaļiņām pārklāta kokvilna uzrādīja antibakteriālu aktivitāti pret *bacillus subtili* [22, 38]. Funkcionāls videi draudzīgs nanohibrida materiāls, kas sintezēts, izmantojot oligohitozānu (iegūts no krabju čaulām) un nanosilīcija dioksīdu (iegūts no rīsu selēnam), bija izturīgs pret *Phytophthora* sēnīti, kas norādīja uz progresīviem pētījumiem zaļās lauksaimniecības sektorā [38, 46].



1.5. att. Ar kapsulējošu reaģentu kovalenti saistīta nanodaļiņa [47],



1.6. att. Shematisks nanodaļiņu “zaļās sintēzes” attēlojums [47],

Aglomerācijas novēršana, nanodaļiņu morfoloģija un izmērs vienmēr ir bijis izaicinājums ar nanodaļiņu sintēzi saistītajos pētījumos. Lai risinātu šīs problēmas parasti tiek izmantoti kapsulējoši ligandi (stabilizē saskari, kurā nanodaļiņas mijiedarbojas ar to sagatavošanas vidi), piem., polieitilēnglikols (PEG), kā arī citi dabīgie kapsulējošie savienojumi. Nanodaļiņu īpašās strukturālās iezīmes ir saistītas ar to virsmas apvalku (1.5. un 1.6. att.). Šiem stabilizatoriem ir būtiska nozīme bioloģisko darbību un vides piesārņojuma samazināšanā [47].

Metāla nanodaļiņu pretmikrobu īpašības ir pierādītas gan pret grampozitīvām, gan gramnegatīvām baktērijām, un tās ir saistītas ar to izmēru, morfoloģiju, virsmas lādiņu, katalītiskajām, fotoaktīvām, optiskajām un termiskajām īpašībām [48, 49].

Citi pētījumi rāda, ka ir iespējams iegūt antibakteriālo pārklājumu uz kokvilnas substrāta izmantojot ar cinka oksīda nanodaļiņām modificētas jūras aļģes, tādējādi iegūstot antibakteriālu iedarbību pret gram pozitīvām (*Staphylococcus aureus* un *Streptococcus pyogenes*) un gram negatīvām (*Escherichia coli* un *Kleb-siella aerogenes*) baktērijām [50]. Līdzīgi bloķējoši elementi izmantoti, lai veidotu pārklājumu ar cinka nanodaļiņām un dateļu sēkļu ekstraktu, kas demonstrēja modificētas kokvilnas drānas antibakteriālu aizsardzību un aizsardzību pret ultravioleto starojumu [51].

Lai sasniegtu efektīvu nanodaļiņu stabilitāti uz celulozes bāzes tekstilijām ir nepieciešama priekšapstrāde. Izturīga funkcionāla pārklājuma izstrādes procesā ir jāveic cilvēka ādai draudzīgu bio-adhezīvu ķīmisko vielu un metožu izpēte. Sonoķīmiski nogulsņējot cinka nanodaļiņas fermentatīvas, skārsaisstītas gallskābes fenola tīklā ir iegūta antibakteriāla aktivitāte, kas saglabājas pēc vairākiem mazgāšanas cikliem [52].

Sudraba hlorīds nanodaļiņu vai kompozītmateriālu formā tiek izmantots, lai nodrošinātu tekstilizstrādājumiem antimikrobiālas īpašības. Tekstilmateriālu modificēšana visbiežāk tiek veikta mērcējot ūdens bāzes šķīdumā vai krāsošanas laikā [18, 53]. Sudraba nanodaļiņu iedarbība uz mikroorganismiem notiek, šīm daļiņām izdaloties no apstrādāta substrāta. Pētījumi rāda, ka šāds modifikācijas veids ir aktīvs arī pēc 15 mazgāšanas cikliem, kas liecina, ka laika gaitā tekstilizstrādājumiem, kas modificēti ar sudraba kompozītu savienojumiem, lietošanas laikā samazinās antimikrobiālās īpašības [54].

Citos pētījumos apskatītas iespējas modificēt tekstilijas ar sudraba nanodaļiņām, sekojot “zaļās ķīmijas principiem”, kā arī izmantot reciklējamus materiālus [47, 55]. Minētais pētījums piedāvā jaunu metodiku baterijās esošu materiālu, piem., oglekļa atkārtotam lietojumam. Pētījumā iegūta silīcija bāzes matrica ar integrētām oglekļa un sudraba nitrāta komponentēm, kas funkcionalizēta ar aminopropiltriētoksilānu (ATPTES). Iegūtais pārklājums uzklāts uz kokvilnas substrāta, izmantojot (*pad-dry-cure*) iemērkšanas – nospiešanas – žāvēšanas – karsēšanas metodi. Pētījuma ietvaros novērota antifungālā aktivitāte pret *C. globosum* (sēnīte, kas veicina celulozes destrukciju) un *Aspergillus* (pelējuma sēnītes, kas plaši sastopama dabā un var izraisīt alerģiskas reakcijas) sēnītēm, blakus efekts – kokvilnas estētiska degradācija var būt ierobežojošs lēmuma pieņemšanas procesā [56].

Lignocelulozes šķiedrās lignīns nodrošina rezistenci pret mikrobiem, bet šķiedru iegūšanas procesā no stiebra fenolu savienojumi tiek zaudēti. No cukurniedru atlikumu šķiedrām izgatavots audums apstrādāts ar lignīnu uzrādīja antibakteriālu aktivitāti pret *Staphylococcus epidermidis*. Lignīna pārklājuma koncentrācija noteikta balstoties uz savienojuma minimālo inhibējošo koncentrāciju, kas liecināja ka baktēriju augšanu var kavēt 6 h laikā pēc saskares [57, 58].

1.2.3. Tekstilijas ar mitruma/eļļas atgrūšanas īpašībām

Pēdējās desmitgadēs pieprasījumam pēc tehniskajām tekstilijām pieaugot tādas īpašības, kā hidrofobitāte, ūdens, netīrumu un atgrūšanas īpašības tiek uzskaitītas kā pieprasītākās [59]. Tādos izstrādājumos kā *Gore-tex*® un *Sympatex*® ūdens atgrūdošā barjera tiek panākta ar biezu polimēru kārtu, vai laminētām tekstilijām, kurās integrē attiecīgas membrānas. Bet jāņem

vērā, ka šāda apstrāde var samazināt tādas dabisko šķiedru īpašības kā gaisa caurlaidība un tekstūra. Sola gēla tehnoloģija ir viena no populārākajām metodēm dabisko šķiedru modifikācijai nodrošinot gan iepriekšminētās īpašības, gan vēl citas. Virsmas hidrofobās īpašības ietekmē virsmas topogrāfija, kā arī apstrādājamās virsmas un sola ķīmiskais sastāvs. Ūdens atgrūdošās īpašības var panākt sola sintēzē izmantojot fluoru nesaturošus komponentus, piemēram alko-silānus, bet jāņem vērā, ka silāni nespēj nodrošināt eļļu atgrūdošās īpašības. Ir veikti daudzi pētījumi par modificētu silāna prekursoru izmantošanu sol-gēla tehnoloģijā, lai nodrošinātu hidrofobu efektu uz tekstilmateriāliem ar mērķi piešķirt virsmai raupjumu, kā arī radīt zemu substrāta virsmas, pamatojoties uz Venzela vai Kassija un Bakstera teoriju. Pieeja virknē pētījumos nodrošinājusi superhidrofobus materiālus [22, 60, 61].

Zhao un citi kokvilnu, kokvilnas/ poliestera un poliestera audumu apstrādāja izsmidzināšanas procesā, izmantojot silīcija dioksīda nanodaļiņas (3-aminopropil) trietoksisilānu (APTES,) un heksadeciltrimetoksisilānu (HDTMS) saturošu nanosolu [22, 62]. Pētījumā izdevās radīt audumu, kura kontakta leņķis pārsniedza 150° un histerēze virs 10° . Palielinot HDMS vai silīcija dioksīda nanodaļiņu daudzumu bija iespējams palielināt kontakta leņķi, savukārt ar atomu spēka mikroskopiju (AFM) izmērītās virsmas raupjuma vērtības palielinājās pārklātajiem kokvilnas/poliamīda audumiem salīdzinājumā ar neapstrādātajiem. Kokvilnas un poliestera audums pēc piecām mazgāšanas reizēm nezaudēja savas superhidrofobiskās īpašības. Turklāt modificētie audumi saglabāja hidrofobās īpašības arī pēc 600 nodiluma izturības cikliem [62].

Xue un citi hidrofobitātes efekta sasniegšanai pārklāja poliestera audumu ar silīcija dioksīdu un polidimetilsiloksānu (PDMS) saturošu polimēra pastu, izmantojot izsmidzināšanas metodi. Rezultātā kontakta leņķis pārsniedza 90° . Nākošā solī audums tika apstrādāts ar TEOS prekursora cetiltrimetoksisilānu (CTMS) saturošu nanosolu; veiktā pēcapstrāde ar nanosoliem ļāva pacelt kontakta leņķa rādītāju līdz $162,5^\circ$ un piliena noslīdēšanas leņķi līdz 10° [22, 62]. Pētījuma laikā noskaidrojās, ka auduma ūdens spiediena izturība palielinājās līdz 38,6 kPa, palielinot pārklājumu skaitu palielinājās arī kontakta leņķis. Šie parametri nesamazinājās arī pēc apstrādes ar skābēm ar atšķirīgām pH vērtībām, kā arī apstrādes ar ultravioletajiem stariem.

Hao un kolēģi pētīja polimēru nanokompozītus, kas sintezēti *in situ* sola gēla procesā, lai piešķirtu kokvilnas audumam daudzfunkcionālas īpašības. Šķērssaisītis polisiloksāns (CLPS), kas tika papildināts ar aminopropiltrietsilānu (APTES), tālāk iegūta kombinācija tika integrēta silīcija solos *in situ* apstākļos, kokvilnas auduma paraugi tika mērcēti APTES-CLPS vai CLPSSiO₂ šķīdumā, kam pievienots etilacetats, un tad tie tika žāvēti un karsēti [63]. Tika secināts, ka paraugi, kas apstrādāti ar CLPS-SiO₂ pārklājumu TGA analizē uzrādīja labāku termisko stabilitāti un mazāku svāra zudumu un vidējo kvadrātisko raupjumu (4,528 nm), nekā tiem paraugiem, kas apstrādāti ar APTES-CLPS, nelietojot silīcija dioksīdu. Paraugu ar CLPS-SiO₂ apstrādi kontakta leņķi sasniedza 158° un to hidrofobās īpašības saglabājas pēc 10 mazgāšanas cikliem [63].

Pētnieki Onar un Mete pētīja kokvilnas audumus piemēroja divpakāpju procesu, kurā paraugi apstrādāti ar ZnO Al₂O₃, TiO₂, un ZrO₂ nano-daļiņām, un garo ķēžu savienojumu alkilsilāniem (heksadeciltrimetoksi-silāns), kas palielināja virsmas raupjumu uzlabojot hidrofobās īpašības. Pētījumā konstatēts, ka labākie rezultāti sasniegti kombinējot alumīnija

oksīdu ar HDMS, modificēto paraugu superhidrofobās īpašības saglabāja arī pēc mazgāšanas [22, 64].

Citā pētījumā pētot kokvilnas auduma ūdens atgrūšanas īpašību uzlabošanas iespējas, vispirms paraugus apstrādāja ar skābekļa plazmu, pēc tam ar 1H, 1H, 2H, 2H – perfluorooktiltrietoksifiziānu (SiF) etanolu sola gēla procesā. Audumi, kas apstrādāti ar plazmu (darba strāva 0,3 Angstromi) 20 s, uzrādīja gandrīz 150° kontakta leņķi un 24° slīdēšanas leņķi [22, 65].

Zinātnieks Colleoni ar kolēģiem veica pētījumus modificējot kokvilnas un poliestera audumus apstrādājot tos ar oktiltrietoksisilānu (OTES) kopā ar melamīna bāzes šķērsvienojumu. Viņi atklāja, ka kokvilnas un poliestera audumiem bija labas hidrofobiskas īpašības ar attiecīgi 130° un 150° kontakta leņķa vērtībām [22, 66].

1.2.4. Elektrovadošu elementu integrācija tekstilmateriālos un viedās tekstilijas

Praksē un pētījumos tekstilmateriālus ar integrētiem elektrovadošajiem elementiem iedala šādās kategorijās:

- Tekstilijas ar metāla nanodaļiņu saturošiem pārklājumiem. Izmantojot dažādas metodes (sola gēla tehnoloģiju, uzputināšanu u. c.) tekstilijām uznes metāla nanodaļiņas saturošus pārklājumus.
- Tekstilijas ar iestrādātiem elektrovadosiem pavedieniem kas ieadīti vai ieausti tekstilstruktūrās. Sintētiskajiem vai dabīgajiem pavedieniem/dzīvajiem elektrovadītspēju piešķir: aptinot, šķeterējot vai stiegrojot ar elektrovadošu pavedienu vai arī elektrovadošajam filamentam pievieno metāla nanodaļiņas.
- Elektrovadošās drānas ir tekstilijas ar metalizētu virsmu, kas iegūta galvanizēšanas, uzmidzināšanas, noputināšanas, polimerizācijas procesos.
- Tekstilijas ar integrētiem metāla pavedieniem. Metāla pavedienus un filamentus integrē tekstilijās, nodrošinot asinsrites stimulācijas, brūču dzīšanas un antibakteriālas funkcijas [67].

Viens no galvenajiem izaicinājumiem valkājāmā e-tekstila tehnoloģijas panākumiem ir vieglu un elastīgu komponentu izstrāde, kā arī šķiedru struktūras ar augstu elektrovadītspēju, kas spēj izturēt tekstilizstrādājumu valkāšanas un kopšanas spriedzi [68].

Viedos tekstilmateriālus pēc to spējas reaģēt uz ārējas vides stimuliem var iedalīt 3 kategorijās:

- pasīvā – uztver apkārtējās vides izmaiņas (pirmās paaudzes izstrādājumi);
- aktīvā – uztver apkārtējās vides izmaiņas un reaģē uz tām, jo tajos iestrādāti sensori un izpildmehānismi (otrās paaudzes izstrādājumi). Izpildmehānismi reaģē uz uztverto signālu tieši vai no centrālā vadības bloka. Aktīvie viedie tekstilizstrādājumi var būt formu atmiņoši, ūdensizturīgi, hameleoniski un tvaiku caurlaidīgi siltuma akumulatori, termoregulējami, tvaikus absorbējoši un siltumu izdaloši audumi;

- Īpaši aktīvā – spēj sajūst, reaģēt un pielāgoties vides apstākļiem (trešā viedo tekstilizstrādājumu paaudze). Izstrādājums būtībā ir vienība, kas darbojas kā smadzenes – ar izziņas, spriešanas un aktivizēšanas spējām [69].

Pateicoties VT priekšrocībām, tās atrod plašu lietojumu dažādās nozarēs, tostarp militārajā, veselības aprūpes, transporta, izklaides, fitnesā un sporta [70]. Līdz šim vairums VT lietojumi aprobežojušies tikai ar nišas produktiem, ieskaitot augstākās klases modes, militārās un aizsardzības, kā arī medicīnas nozares. Tagad VT joma piedzīvo pārmaiņas, pozitīvi attīstoties tehnoloģijai un tekstilizstrādājumiem, kas ļauj ērti integrēt uz tekstiltehnoloģijām balstītus sensorus un elektrovadošus pavedienus austā vai adītā drānā. Paredzams, ka viedie tekstilizstrādājumi radīs revolūciju viedo valkājamo preču tirgū. Nanotehnoloģijas ļauj izstrādāt viedās mikro un nano-mēroga neaustas drānas un šī nozare strauji turpina attīstīties [71] jomas progresam balstoties uz nerimstošu pētniecību pasaules laboratorijās, atklājot arvien jaunas iespējas un to realizācijas mehānismus. VT un funkcionālajām tekstilijām ir jāatbilst plašam komforta īpašību spektram – taustes, termofizioloģiskajām u. c. Lai novērtētu šo aspektu pētnieki izmanto dažādas apģērba komforta kvalitātes novērtēšanas sistēmas – subjektīvo novērtēšanu, ekspertu grupas, fizikālo īpašību novērtēšanu [70].

Kā, piemēru, var minēt stājas zeķes kurās iestrādāti stājas nepārtrauktas monitorēšanas un korekcijas sensorus. Sensori fiksē nevēlamas pēdu balsta pozīcijas, tādējādi ātrāk atklājot nevēlamus stājas deformācijas risku [1].

1.3. Valkāšanas komforts

Tādas fundamentālas izmaiņas, kā gadalaiks, klimats, vecums, nodarbošanās utt., ir būtiskas apģērba izvēlē, cilvēks atrodas nepārtrauktā mijiedarbībā ar apkārtējo vidi, dabisku vai mākslīgi radītu. Apģērbs diendienā atrodies mehāniskā saskarē ar cilvēka ādu ir kā aizsargslānis no mainīgajiem apkārtējās vides apstākļiem. Attīstoties jaunām tehnoloģijām un iespējām, praksē un pētījumos mūsdienīgam apģērbam tiek izvirzītas komplicētas prasības, taču nemainīgs ir fakts, ka tas nedrīkst ierobežot valkātāja komforta sajūtas [72].

Terminam komforts apģērbā nav viennozīmīga definēta jēdziena, bet to raksturo:

- Termofizioloģiskais komforts – apģērba spēja nodrošināt siltuma un mitruma cirkulāciju dažādos aktivitātes intensitātes līmeņos.
- Fizioloģiskais komforts – maksimālā mehāniskā komforta sajūta uz ādas: mīkstumš, elastīgums, higiēniskums, gludums, kā arī antropocentrisko parametru atbilstība valkātājam.
- Psihofizioloģiskais komforts – subjektīvas sajūtas, kas saistītas ar sensorās sistēmas darbību – redzi, tausti, dzirdi un ožu.
- Psiholoģiskais komforts – apģērba atbilstība valkātāja prasībām un vajadzībām, kas ir klimatisko, vēsturisko, ekonomisko, sociālo un individuālo aspektu kopums.

Līdzsvars starp šiem rādītājiem nodrošina pozitīvu valkātāja komforta pieredzi [2, 72, 73].

Tos ietekmē apģērba noteiktie uzdevumi tiem paredzētajos laika apstākļos, kā arī valkātāja subjektīvās prasības. Lai sekmīgi nodrošinātu valkāšanas komfortu, svarīgi ir apzināt ķermeņa

termoregulācijas mehānismus. Cilvēka ķermenī visu laiku notiek temperatūras svārstības, bet ķermeņa kodola temperatūra saglabājas nemainīga ~ 37 °C, nodrošinot līdzsvaru starp ķermeņa siltumradi un siltumatdevi [74], ko uztur ādas, asinsvadu, hipotalāma receptori, smadzeņu termoregulācijas centri un lejupejoši nervu ceļi [73]. Netraucētas ķermeņa termoregulācijas uzturēšanai apģērbam jānodrošina noteikts gaiss un ūdens tvaiku un mitruma caurlaidības līmenis.

Apģērba **gaisa caurlaidība** nodrošina mikroklimatu saskares zonā ar ādu un ietekmē valkātāja pašsajūtu, veselību un darba spējas. To ietekmē tādi tekstilijas struktūras parametri kā šķiedru/ pavedienu/ dzijas izcelsme, kvalitāte un īpašības (grodums, vienmērība, struktūra, lineārais blīvums, dzijas un drānas virsmas blīvums un porainība (skaits, tilpums)). Jāņem vērā, ka hidrofobas šķiedras uzbriestot var ietekmēt tekstilijas gaisa caurlaidības rādītājus [2, 72].

Ūdens tvaika un mitruma caurlaidība ir svarīgs parametrs jo ķermenis svīst un ir būtiski sviedrus aizvadīt, lai apģērbs saglabātu termoregulācijas īpašības [75]. Cilvēka ķermenis vidēji izdala 10^{-6} g sviedru uz cm^2/min . Sviedru un ķermeņa mikroflorā dzīvojošo baktēriju (piemēram, *Corynebacterium*, *Staphylococcus* un *Cutibacterium*) mijiedarbībā rodas nepatīkams ķermeņa aromāts, tā rašanās saistīta ar gaistošo organisko savienojumu, gaistošo tauksābju un tiospirtu ražošanu [75, 76]. Apģērbam, kas ir tiešā saskarē ar nēsātāja ādu, jānodrošina psihofizioloģiskais komforts, ko ietekmē izstrādājuma mehāniskās un ķīmiskās īpašības [77].

Platinētas trikotāžas struktūru veido atšķirīgs iekšējais un ārējais slānis, kas ļauj pārvietot mitrumu no valkātāja ādas caur iekšējā slāņa kapilāriem uz ārējo (apkārtējās vides iedarbības) slāni un palīdz radīt ievērojamu mitruma koncentrācijas gradientu starp abiem slāņiem. Tādu platinētas trikotāžas struktūru var veidot, izvēloties atšķirīga šķiedru sastāva pavedienus/dzijas ar mērķi nodrošināt to, ka iekšējais slānis kalpo kā difūzais, bet ārējais kā absorbējošs slānis, kas uzver iekšējā slāņa pārnesto mitrumu. 100 % kokvilnas vai viskozes šķiedras, pateicoties to hidroskopitātei un labai siltumvadāmībai, nodrošina lieliskas komforta īpašības valkātājam, taču lietošanas procesā jārēķinās ar krokošanos, biežas mazgāšanas nepieciešamību, zemu krāsas stabilitāti un sliktu nodiluma izturību. Kombinējot kokvilnas vai viskozes dziju ar poliestera šķiedrām, iespējams apvienot abu šķiedru veidu priekšrocības, tādējādi samazinot katras komponentes vājās īpašības. Tādas sintētiskās šķiedras, kā poliesters un neilons visbiežāk izmanto kopā ar dabīgo šķiedru dziju, piemēram, kokvilnas, platinētas trikotāžas izstrādājumos. Lai gan kombinēšanas mērķis ir panākt labākas īpašības galaproduktā, īpašību un adīšanas tehnoloģisko parametru neatbilstība var radīt kvalitātes un viendabīguma problēmas, kas būtu pretrunā sajaukšanas mērķim. *Jhanji et al* veiktais publicētās literatūras apskats [78] liecina, ka pētījumi galvenokārt ir vērsti uz šķiedru un dzijas parametru ietekmes izpēti uz austu un trikotāžas drānu komforta īpašībām. Tai pat laikā pētījumi par platinētu adījumu siltum-fizioloģiskajām īpašībām ir ļoti ierobežoti, lai gan struktūras ātri kļūst par vēlamu izvēli noteiktās trikotāžas sortimenta pozīcijās, pateicoties inženiertehnisko risinājumu elastībai veidojot ar dažādu šķiedru/dziju kombinācijām divus atšķirīgus slāņus.

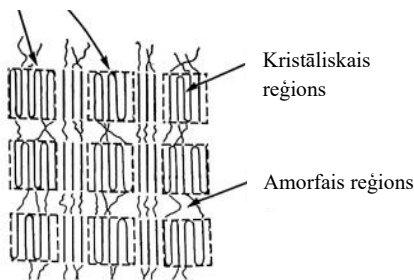
1.4. Sintētisko šķiedru īpašības un raksturojums

Zeķu izstrādājumos tradicionāli tiek lietoti poliamīda tekstilpavedieni savienojumā ar elastānu, kokvilnas dziju, kā arī ar poliestera/elastāna pavedieniem savienojot dažādās proporcijās paredzamo ekspluatācijas īpašību nodrošināšanai. Līdz ar to izstrādājot modifikācijas tehnoloģijas papildfunkcionālo īpašību piešķiršanai ir nepieciešams ņemt vērā komponentu atšķirīgās ķīmiskās, fizikālās un tehnoloģiskās, kā arī valkāšanas komfortu līmeni nodrošinošās īpašības.

1.4.1. Poliamīds (PA)

Poliamīda šķiedras (PA) tādu īpašību dēļ kā izturība, elastība, nodiluma izturība un citas – ir plaši lietots zeķu izstrādājumu, sieviešu apakšveļas, drānu, sporta apģērbu un mājas tekstiliju ražošanā, mēbeļu industrijā, kā arī autorūpniecībā un medicīnas nozarē [79]. Ir divu veidu šķiedras veidojoši poliamīdi, klasificēti kā neilons XY un neilons Z. Neilona XY gadījumā X attiecas uz oglekļa atomu skaitu diamīna monomērā un Y apzīmē oglekļa atomu skaitu dikarbonu skābes. Savukārt Z tipa neilonā Z apzīmē oglekļa atomu skaitu monomērā. Neilons 6 (Z tips) un neilons 66 (XY tips) ir divi visvairāk ražotie poliamīdi ar plašu lietojuma spektru. Lai gan neilons 6 un 66 satur vienas un tās pašas ķīmiskās grupas vienādā proporcijā, pastāv nelielas atšķirība molekulu izvietojumā [80], ko nosaka nedaudz zemāka neilona 6 kristāliskuma pakāpe salīdzinājumā ar neilonu 66. Augstas stiprības neilona morfoloģisko struktūru veido mikrofibrilāri un starpmikrofibrilāri reģioni [81]. Mikrofibrilārie reģioni sastāv no kristāliskiem un amorfiem reģioniem, bet starpmikrofibrilārie reģioni veidojas no orientētām molekulārām ķēdēm (1.7. att., a)).

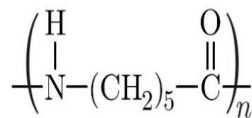
Mikrofibrilas



a)



Neilons 66



Neilons 6

b)

1.7. att. Neilona struktūras raksturojošā diagramma [82, 83].

Polimerizācijas pakāpe neilona 6 un 66 molekulā variē robežās no 100 līdz 200 vienībām, molekulu ķēdes (1.7. att., b) izvietotas savstarpēji paralēli, veidojot stipras ūdeņraža saites starp amīdu saitēm (1.8. att.) blakus esošajās molekulārajās ķēdēs. Neilona kristāliskums atkarīgs no sasniegtās orientācijas pakāpes šķiedru formēšanas procesā.

Abi neiloni ir daļēji kristāliski, tie ir higroskopiski, bet augstās kristāliskuma pakāpes dēļ mitruma saturs ir ierobežots līdz 4 %. Neilonu blīvums ir $1,14 \text{ g cm}^{-3}$, atkarībā no mitruma satura neilona šķiedru stiklošanās temperatūra (T_g) parasti ir robežās no 40 līdz 55 °C. Neilona 6 kušanas diapazons ir 215–230 °C, savukārt neilona 66 diapazons ir no 250 līdz 265 °C, un šīs atšķirības rada augstāku neilona 66 temperatūras stabilitāti salīdzinājumā ar neilonu 6.

Neilons 66 labi saglabājas zemās temperatūras, bet pakļaujot to temperatūrai virs 150 °C, materiāls zaudē mehāniskās īpašības un sāk dzeltēt. PA ir ķīmiski stabils, bet pie temperatūras 250 °C notiek poliamīda šķiedru destrukcija. Hidrofobās īpašības ir atkarīgas no šķiedru orientācijas pakāpes, īpaši pie augsta mitruma satura, kas ietekmē poliamīda šķiedras apstrādes un krāsošanas ērtību.

Poliamīda šķiedras vājā elektrovadītspējā ir cieši saistīta ar zemo PA ūdens absorbciju, poliamīds tādejādi uzkrāj elektrostatisko lādiņu. Šķiedra vāji uzbriest ūdenī, bet pie ūdens temperatūras virs 150 °C notiek hidrolīze. PA ir īpaši laba dimensiju stabilitāte mazgājot. Zems blīvums un zema ūdens absorbcija padara šos materiālus piemērotus lietus apģērbiem un peldkostīmiem.

1.2. tabula

Poliamīda izturība pret ķīmikālijām [84]

Reaģents vai apstrādes process*		PA 66	PA6
Dezinfekcija	Atšķaidīts etanols	+	+
	Atšķaidīts kvartārs amonija vai fosfonija šķīdums	+	+
	Vārīšana	+	+
	0,5 % sodas šķīdums tvaiks	+	+
		+	+
Spirts		0	0
Fluorskābe	Līdz 40 % ūdens šķīdumā	+	+
Etiķskābe	5–40 % ūdens šķīdumā	+	+
Mīkstīnātājs	10 % ūdens šķīdumā	+	+

* (-) nav izturīgs, (0) vidēji izturīgs, (+) izturīgs.

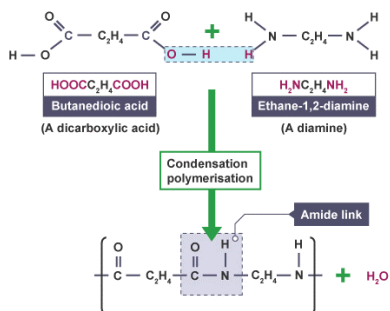
Polimēriem ir augsta izturība pret sārnu saturu ūdenī (1.2. tab.), kaut arī augstā temperatūrā notiek stipra amīda saites hidrolīze. PA ir jutīgāki pret skābēm, tos ātri noārda stiprās neorganiskās un organiskās skābes. Atšķaidītas skābes būtiski neietekmē poliamīdu 6.6, bet tās veicina hidrolīzes reakcijas. Poliamīda šķiedras šķīst skudrskābē, fenolā un tā atvasinājumos, ar ko jāreķinās izvēloties katalizatorus sola sintēzei (1.3.tab.).

1.3. tabula

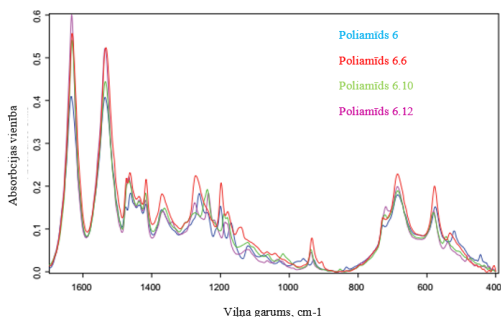
Dažādu šķiedru tekstilpavedienu mehāniskās īpašības [85]

Īpašības	Viskoze	PES	PA 6	PA 66	PLA
Stiprība, cN/dtex	1,2–5,0	3,7–4,4	4,0–7,2	4,1–4,5	2,0–3,2
Pagarinājums pārtrūkšanas mirklī, (%)	15,30	30–38	45–85	32 - 44	40–80
E, Junga modulis, cN/dtex	54	97	40	31	35

PA klātbūtnē kokvilnas/PA kombinēto pavedienu lietojuma gadījumā visnepārprotamāk identificējama šaurā spektra viļņu skaitļu diapazonā ar virsotnēm ap 1634 un 1538 cm^{-1} un ap 3298 un 2932 cm^{-1} (gan salīdzinoši mazas intensitātes) pat tad, ja PA šķiedras/pavedieni ir iekļauti maisījumā ar citiem šķiedru materiāliem (1.3. tab., 1.9. un 1.10. att.). Savukārt neilonam 6 specifiskās frekvences ar virsotnēm ap 1465, 1265, 960, 925 cm^{-1} un neilonam 66 – ap 1480, 1280 un 935 cm^{-1} [86], 1.9. att. ļauj identificēt rūpnieciski ražotajos izstrādājumos lietoto neilona tipu.



1.8. att. PA kondensācijas polimerizācija [86].



1.9. att. PA variantu salīdzinoši absorbciju spektri [87].

1.4. tabula

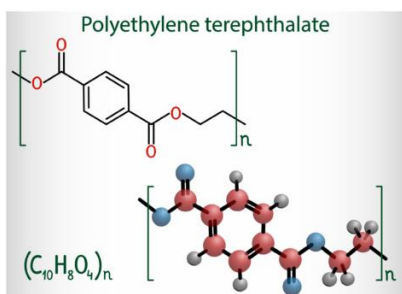
Galvenās PA raksturīgo ķīmisko grupu absorbcijas joslas [88–91]

Absorbcijas joslas maksimuma novietojums, cm^{-1}	Funkcionālā grupa/saite	Svārstības tips
3298	N-H	Stretch
2932	C-H	Stretch
2858	CH	Stretch
1634	C=O	Stretch
1538	NH C-N	Bend stretch
1464	CH ₂	Bend
1372	CH ₂	Bend
1274	NH C-N	Bend stretch
1199	CH ₂	Bend
687	NH C=O	Bend Bend

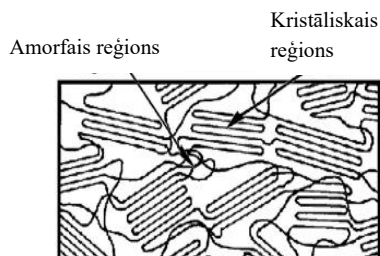
Zeķu izstrādājumos PA šķiedra/pavedienus pārstrādā šķērsadītas vai garenadītas trikotāžas izstrādājumos tīrā veidā vai kombinējot ar dabīgajām, visbiežāk kokvilnas šķiedrām to nodilumizturības palielināšanai, kā arī veidojot kombinācijas ar poliestera šķiedrām/pavedieniem.

1.4.2. Poliesteris (PES)

Poliestera ķīmiskā struktūra ir parādīta 1.10. attēlā, šķiedru morfoloģiskā struktūra ir līdzīga poliamīda šķiedrām, jo abas ir polimēru šķiedras, kas veidojas kausējuma vērpsšanas procesā. Poliesteris sastāv no daļēji orientētām un daļēji kristāliskām struktūrām (1.11. att.), elementvienības molekulmasa ir 192. Parasti izstiepto poliestera šķiedru kristāliskuma pakāpe ir ap 55 % [92]. Poliesteris šķiedru stiklošanās temperatūra ir aptuveni 70 °C, kušanas temperatūra robežās no 255 līdz 270 °C, šķiedru blīvums 1,39 g/cm⁻³.



1.10. att. Polietilēntereftalāts monomēra struktūrshēma [93].



1.11. att. Poliesteris šķiedras fizikālā struktūra [85].

Poliesteris šķiedras:

- ir hidrofobas, ar ļoti zemu mitruma atgūšanas spēju (ap 0,4 %). Pateicoties hidrofobitātei, PES ir ūdeni atgrūdošas un ātri žūstošas;
- tām piemīt lieliska stiepes izturība un izturība pret stiepšanos (1.3. tab.) – elastības atjaunošanās pēc 5 % pagarinājuma ir 88 – 93 % parastai šķiedrai un 90 % augstas stiprības šķiedrai [93];
- raksturo niecīga ieraušānās deformācija un augsta krokojumpretestība;
- tām piemīt ļoti laba izturība pret skābēm, bet ir ļoti jutīgas pret sārmim (piem., NaOH);
- ir ļoti izturīgas pret oksidētājiem;
- raksturo augsta izturība pret UV starojumu.

Pateicoties PES īpašību spektram tās plaši izmanto ļoti daudzos veidos gan tekstila un apģērba, gan citās rūpniecības nozarēs. PES kā vienas komponentes šķiedra var nodrošināt izcilu izturību, nodilumizturību, veiktspēju un vieglu kopjamību. No otras puses, 100 % poliesteris izstrādājumu valkāšanas/lietošanas komforts ir salīdzinoši zems, īpaši ja tā ir pirmā apģērba/tekstila kārtā, kas saskaras ar ādu. Uzlabojumi tiek veikti gan modificējot vērpsšanas sastāvu, šķiedru šķērsgrizumus, piemērojot dažādas šķiedru/drānu apretes, izvēloties

tekstilstruktūras, kas spēj kompensēt PET piemītošos trūkumus, t. sk. PES ir vēlamas šķiedras kokvilnas un vilnas šķiedru maisījumos/pavedienu kārtojumos to veiktspējas uzlabošanai.

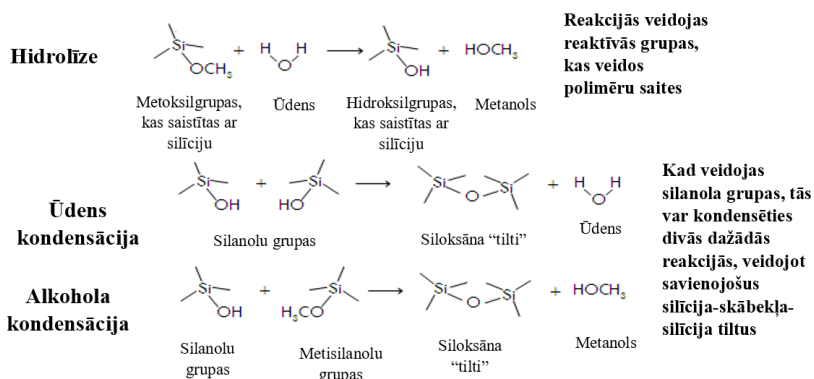
1.5. Sola gēla tehnoloģija

Terminu sola-gēls (*solution – gelation* / šķīduma želēšana) ieviesa zinātnieks Grehems 1864. gadā, pētot silīcija dioksīda solus. Sols būtībā ir koloidālu daļiņu (1–100 nm) dispersija šķīdumā, un gēls ir savstarpēji savienots stingrs tīkls ar porām, kuru izmēri ir mazāki par mikronu, un polimēru ķēdēm [94].

Sola gēla tehnoloģijai tekstila nozarē strauji attīstās dodot plašas iespējas attīstīt uzlabot un radīt jaunus produktus. Tehnoloģija piedāvā un nodrošina dažādu substrātu virsmu apstrādi un modifikāciju pievienojot dažādu funkciju apvienošanu vienā materiālā [95]. Sola gēla tehnoloģijas galvenās priekšrocības ir vienkārša realizācija, mazs ķīmikāliju patēriņš, un iespēja sintēzi un modifikāciju veikt bez speciāla aprīkojuma [22, 95].

Modifikācija ar sola gēla tehnoloģiju sastāv no trim fāzēm:

- sola sintēze (hidrolīzes un kondensācijas reakcijas);
- pārklājuma uznešana;
- termiskā apstrāde.



1.12. att. Trīs primārās reakcijas sola-gēla sintēzē izmantojot alkoksīdu metodi.

Lai nodrošinātu pilnīgu TEOS hidrolīzes reakciju, pietiek nodrošināt H₂O: TEOS attiecību R=2 līmenī. Iegūto pārklājumu īpašības ietekmē lietoto katalizatoru un citu reaģentu veids, proporcijas, kā arī konkrēti tehnoloģiskā procesa posmu parametri [96].

1.5.1. Sola gēla sintēzi ietekmējoši parametri

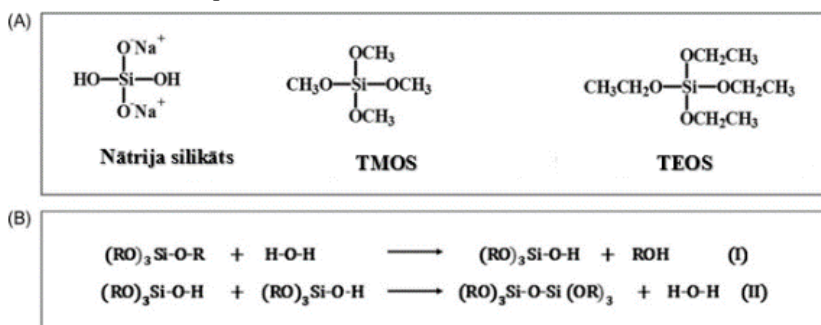
Sola gēla metode ir viens no paņēmieniem, kas ļauj sintezēt maza izmēra nanodaļiņas un pārklājumus. Metodes pamatā ir process kura ietvaros monomērus vai citus iekļautos materiālus pārveido par koloidālu šķīdumu, kas ir viens no sākuma prekursoriem tālākai gēla formācijai [97].

Tālāk seko prekursoru hidrolīze un poli-kondensēšanās koloidālu šķīdumu formēšanai, kam seko trīs dimensionāla režģa formēšanās. Visbiežāk izmantotie prekursori ir metālu oksīdi un hlorīdi. Biežāk izmantotais prekursors, lai sintezētu mezoporainos silīcijus ir alkoksīdi, visbiežāk lietotais ir TEOS, bet alkoksīdi ar garākām alkil-saitēm arī var tikt izmantoti, piemēram nātrija silikāts.

Šādi mezoporiski silīcija materiāli tiek sintezēti, procesā to struktūru nosaka reaģenti, visbiežāk virsmaktīvas vielas, kas nodrošina mezostrukturētu savienojumu veidošanos silīcija prekursoru kondensācijas rezultātā ko veicina skābes klātbūtne šķīdumā [98]. Nanodaļiņu izmērs koloidāla šķīdumā ir no 0,1 – 1 nm. Sekojošā iegūtā sola šķīduma žāvēšanas procesā var iegūt kserogēlus vai aerogēlus atkarībā no karsēšanas organizācijas. Atkarībā no izmantotā šķīdinātāja sola gēla metodi var īstenot divos virzienos – ūdens bāzes un bezūdens [99].

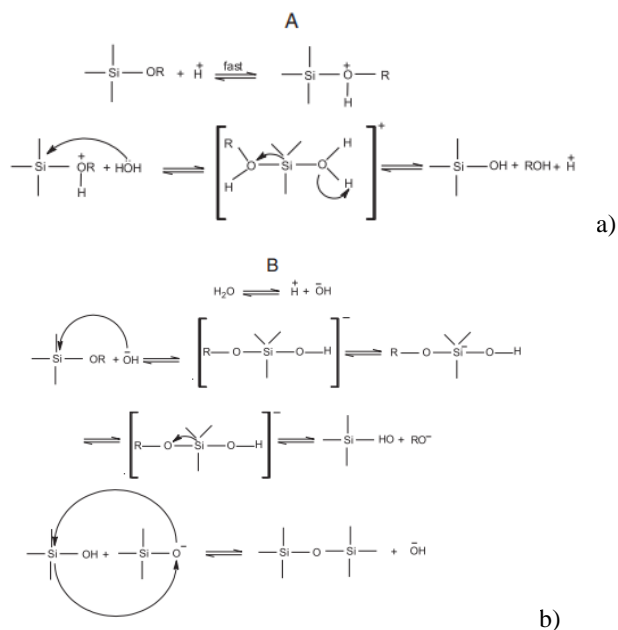
Lai norisinātos TEOS hidrolīze ir vajadzīgs skābes katalizators, hidrolīzes ātrums ir proporcionāls skābes koncentrācijai. Hidrolīzes un gelācijas procesi norisinās vienlaicīgi. Hidronija H_3O^+ + klātbūtne paātrina hidrolīzes procesu, turpretī OH^- klātbūtne veicina gelāciju. Alkoholū klātbūtne samazina TEOS hidrolīzes ātrumu.

Mezoporiski silīciji, kas funkcionalizēti ar APTES ģenerē amino grupas, kas veicina aromātisko imīdu kovalento sasaisti, reaģējot ar atbilstošo aromātisko anhidrītu prekursoru. Aromātiskie imīdi ir organiskie hromofori, kas iegūti no karbonskābēm, tiem piemīt fotoķīmiskās un foto-fizikālās īpašības [98].



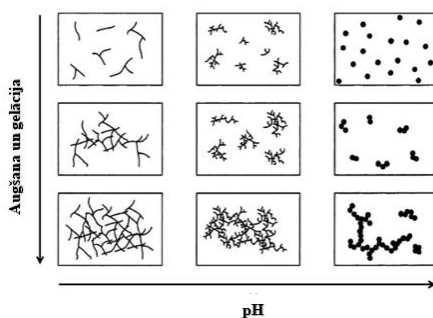
1.13. att. a) Mezoporainā silīcija dioksīda prekursoru struktūra; b) Mezoporainu silīcija dioksīda veidošanās reakciju piemērs: hidrolīze (I) un kondensācija (II) [98].

Ja hidrolīze ir notikusi pirms pirmās kondensācijas, iegūtajam produktam pirosilīciskābei $((OH)_3Si-O-Si(OH)_3)$ ir 6 vietas turpmākajiem kondensācijas posmiem. Šāda reakcija visbiežāk tiek novērota bāziskos apstākļos (pH=7), kur hidrolīze norit ātrāk.



1.14. att. Skābju a) un bāzes katalizētu b) hidrolīzes reakciju attēlojums [94].

Vairāku kondensācijas posmu rezultātā “solā” veidojas mazi, ļoti sazaroti aglomerāti, kas gala rezultātā sasaistās, veidojot koloidālu želeju. Skābā vidē, kur pirmais hidrolīzes posms parasti notiek ātrāk, kondensācija sākas pirms hidrolīzes noslēgšanās. Kondensācija bieži notiek ar gala silanoliem, kā rezultātā solā veidojas ķēdei līdzīgas struktūras un tīklveida gēli (1.15. att.) [100].

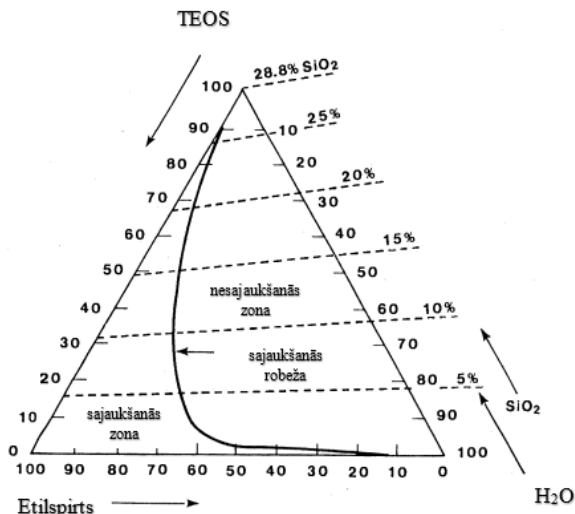


1.15. att. pH ietekme uz sola dispersijas struktūru [100].

Hidrolīzi sola šķīdumā ietekmē virkne citu parametru:

- katalizatoru un prekursoru izvēle;
- H₂O, SiO₂ un etilspirta attiecība;
- pH un temperatūra;
- šķīdinātāji u. c.

Kā vienu var minēt šķīdinātāju klātbūtni, kurus pievieno, lai uzlabotu sajaukšanos (liela daļa silīcija alkoksīdu nešķīst ūdenī) un kāda ir tiešā šo šķīdinātāju mijiedarbība ar silīcija molekulām. Sola sintēzē visbiežāk lieto TEOS, kur jāņem vērā tā šķīdība ūdenī un etilspirtā, kas ir ierobežota un atkarīga no proporcijām (1.16. att.).



1.16. att. H₂O, TEOS un etilspirta šķīdības diagramma 25 °C [101].

Daudzskaitlīgie ķīmiskie un apstrādes parametri apzināti tos mainot ļauj iegūt materiālus ar ļoti dažādām kompozīcijām, tekstūrām un formām. Bet no otras puses ir tā, ka jaunu *sol-gel* materiālu izstrādei un optimizācijai joprojām ir jāpaļaujas uz empīrismu un ekspertu zināšanām, jo ķīmiskās reakcijas ir sarežģītas un ļoti jūtīgas pret parametru kombinācijām un pat grūti fiksējamām to izmaiņām. Laika gaitā arī rūpnieciskā mērogā ir izstrādāti uzticami un reproducējami sola-gēla procesi, bet tikai daži no tiem ir detalizēti izprasti, neskatoties uz to, ka vispārējie principi ir zināmi. Priekšstats, ka sola-gēla materiālus var apzināti “projektēt” no nulles, saliekot noteiktus molekulāros celtniecības blokus saskaņā ar projektu, pagaidām ir vēlmju līmenī.

1. 6. Pirmās nodaļas kopsavilkums un secinājumi

1. Funkcionālās tekstilijas aptver plašu tekstilizstrādājumu spektru, kas nepārtraukti papildinoties funkciju saimei viedo strauji augošas tekstilindustrijas jomas. Vērojamo augsto izaugsmi ir iedvesmojis rūpniecības izlaides, patēriņa, importa un eksporta, kā arī kapitālieguldījumu secīgs pieaugums daudzu gadu garumā.
2. Tekstilijām līdztekus tradicionālajām funkcijām, var salīdzinoši vienkārši piešķirt vienu vai vairākas papildfunkcijas, kas var pasargāt lietojumos no fiziskiem, ķīmiskiem, mehāniskiem vai bioloģiskiem faktoriem/vielām, UV starojuma, trokšņa, atvieglot kopšanu, padarīt traipus/nospiedumus un pat lietotājus neredzamus. Savukārt viedās

tekstilijas var sajst/reģistrēt vides pārmaiņas un brīdināt/reaģēt uz tām, nodrošināt koriģējošas vai regulējošas funkcijas.

- Adīšanas tehnoloģijās izgatavotas tekstilijas ir ideāls karkass elastīgu funkcionālu sistēmu elementu izveidošanai apģērbā, saglabājot valkāšanas komfortu.
 - Platinēti gludpinuma kokvilnas un jauktu kokvilnas/sintētisko šķiedru zeķu izstrādājumi iekļauj virkni sortimenta grupu ar ļoti plašu lietojumu ikdienas, sporta, atpūtas un darba apģērbu komplektu sastāvā, kā arī izstrādājumus ar integrētu valkājamu elektroniku
3. Zeķu izstrādājumos tradicionāli lietoti ir poliamīda pavedieni savienojumā ar elastānu, kokvilnas dziju, kā arī poliestera/elastāna pavedieni, savienojot tos dažādās proporcijās paredzamo ekspluatācijas īpašību nodrošināšanai. Līdz ar to izstrādājot modifikācijas tehnoloģijas papildu funkcionālo īpašību piešķiršanai jāņem vērā komponentu atšķirīgās ķīmiskās, fizikālās un tehnoloģiskās un valkāšanas īpašības.
 4. Līdzsvars starp termofizioloģisko, fizioloģisko, psihofizioloģisko un psiholoģisko komfortu nodrošina pozitīvu valkātāja komforta pieredzi. Netraucētas ķermeņa termoregulācijas uzturēšanai apģērbam jānodrošina noteikts gaisa un ūdens tvaiku un mitruma caurlaidības līmenis, to izmaiņas modifikācijas rezultātā nedrīkst pārsniegt paredzētajam lietojumam atbilstošas noteiktas robežvērtības un ir procesa svarīgi kontroles parametri.
 5. Platinētas trikotāžas izstrādājumos tādas sintētiskās šķiedras, kā poliestera un neilona visbiežāk izmanto kopā ar dabīgo šķiedru dziju. Kombinējot kokvilnas vai viskozes dziju ar poliestera šķiedrām, iespējams apvienot abu šķiedru veidu priekšrocības, samazinot katras komponentes vājās īpašības. Lai gan kombinēšanas mērķis ir panākt labākas īpašības galaproduktā, īpašību un adīšanas tehnoloģisko parametru neatbilstība var radīt kvalitātes un viendabības problēmas.
 - Pētījumi par platinētu adījumu siltum-fizioloģiskajām īpašībām ir ļoti ierobežoti, lai gan struktūras ātri kļūst par vēlamu izvēli noteiktās trikotāžas sortimenta pozīcijās, pateicoties inženiertehnisko risinājumu elastībai veidojot ar dažādu šķiedru/dziju kombinācijām divus atšķirīgus izstrādājuma slāņus.
 6. Sola gēla tehnoloģiju tekstila nozarē lieto aizvien vairāk izmantojot tās plašās iespējas uzlabot esošās un radīt jaunas patēriņa un tehniskās tekstilijas. Tehnoloģija piedāvā un nodrošina gan dažādu tekstiliju virsmu apstrādi faktiski modificējot to veidojošo pavedienu šķiedras paredzētās papildu funkcijas nodrošināšanai vai ar vienu procesu/viena procesa dažādiem soļiem pievienojot vairākas atšķirīgas funkcijas.
 - Vairums pētījumos jaunu funkcionalizācijas procesu izstrādē netiek pievērsta uzmanība valkāšanas komfortu noteicošo parametru izmaiņām, kas var ievērojami pasliktināties ņemot vērā, ka modifikācijas procesā mainās gan ārējā tekstilstruktūras porainība, gan iekšējā pavedienu un šķiedru porainība.
 7. Apzināti mainot sola gēla procesā daudzskaitlīgos ķīmiskos un apstrādes parametrus var iegūt virsmas/materiālus ar ļoti dažādām īpašībām. Bet no otras puses ir jārēķinās ar to, ka jaunu materiālu izstrādei sol-gēla procesā un tā optimizācijai tekstil nozarē joprojām

ir jāpaļaujas uz empīrismu un ekspertu zināšanām, jo ķīmiskās reakcijas ir sarežģītas un ļoti jutīgas pret parametru kombinācijām un pat grūti fiksējamām to izmaiņām.

2. EKSPERIMENTĀLĀ UN METODISKĀ DAĻA

2.1. Sola sintēze un modificēšanas tehnoloģija

Sola sintēze un modificēšanas tehnoloģija balstīta uz doktores Svetlanas Vihodcevas izstrādāto metodi promocijas darbā “Nanolīmenī modificētu tekstiliju sortimenta paplašināšana” [102]. Sola šķīdumā izmantotie reaģenti apkopoti 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Izmantoto reaģentu saraksts

Vielas nosaukums	Formula	Ražotājs	Tīrība, %
Tetraetilortosilikāts (TEOS)	$C_8H_{20}O_4Si$	ACRŌS, OORGANICS Beļģija	≥ 98 %
Etanols	C_2H_5OH	ES (izplatītājs SIA "Enola")	$\geq 99,98$ %
Fluorūderažskābe	HF	SIGMA-ALDRICH Vācija	≥ 40 %
Cinka acetāta dihidrāts	$Zn(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$	FIRMA CHEMPUR Polija	analīt.tīrs
Etiķskābe	CH_3COOH	FIRMA CHEMPUR Polija	$\geq 99,98$ %

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 [102]. Modifikācijas laikā dažām paraugu grupām tika optimizēta šķīduma attiecība pret paraugu svaru, lai samazinātu liekā šķīduma daudzumu, bet 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.).

2.2. Paraugu sagatavošana modifikācijai un to pēcapstrādes

2.2.1. Hidrotermiskā apstrāde (mazgāšana)

Visi paraugi pirms un pēc apstrādes pakļauti hidrotermiskai (HT) apstrādei saskaņā ar standartu *ISO 6330:2021* [103], kas nosaka maigu mazgāšanas režīmu: 30 °C temperatūra 46 min izmantojot 5 g/l standartā noteikto mazgāšanas līdzekli bez fosfāta un optiskiem balinātājiem “*SDC Enterprise Limited. 2304 Standart Sope*”. Kokvilnas dzija vārīta 100 °C un 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.

2.2.2. Paraugu papildapstrāde pirms modifikācijas

Dažām paraugu grupām piemēroti papildus 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 un skalota destilētā ūdenī.

2.2.3. 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*”.

2.2.4. Tekstiliju sastāvu un struktūru raksturojošo parametru novērtēšana

Visiem adītajiem paraugiem tika noteikti šādi raksturojošie lielumi:

- sastāvs, %: precīzs drānas sastāvs noteikts, sadalot 200 mm² 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 mm² laukumā horizontālā un vertikālā virzienā, EN 14971:2006 [20].

2.3. Testēto paraugu raksturojums un atšifrējumi

Kopumā apstrādātos un testētos paraugus var izdalīt 3 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 uz, pirmās pakāpes pilna faktoru (PFE) plāniem 2³ un 2² (regresijas vienādojumi, virsmas 2D šķēlumi) [106], korelācijas un histogrammu analīze.

Paraugu apzīmējumi un to atšifrējumi

Apzīmējums	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 FTIR testos	
		HF	CH3OOH	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Paraugu apzīmējumi un to atšifrējumi

Modif.	Katalizators		Paraugu priekšapstrāde		CAD mas. %		Paraugu masa pret šķīduma tilpumu solā, g/ml				Konsolidācij as temp., °C		Konsolidācijas laiks, min				HT apstrāde pēc modif.	Trikotāžas labā/kreisā puse FTIR testos	
	HF	CH3OOH	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/W/1:12/15		-		-		-	-		-	-			-	-	-		-	-	

2.4. Mehānisko un komforta īpašību testēšanas metodes

Pirms modifikācijas un testēšanas paraugi izturēti konstanta klimata kamerā “*Binker KBF 115*” 24 h normālos klimata apstākļos (20 ± 2 °C, relatīvais mitrums 65 ± 5 %) saskaņā ar standartu *ISO 139:2005* [107].

2.4.1. 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. Paraugu 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* [108], izrietot no dzijas blīvuma – 24 tex.

• Testēšanas iekārta “*PM-3-1*”. Pavedienu nostiprina iekārtas augšējā un apakšējā spīlē. Paraugu garums – 200 mm, paraugu skaits 100. Pavedienu izstiepj līdz tā pārtrūkšanai un nolasa mērījumu pārtrūkšanas 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. Testi veikti RTU MLĶF DTI.

2.4.2. Nodiluma izturības novērtēšana

Materiālu nodilumizturība raksturota ar berzes ciklu skaitu, ko materiāls iztur līdz pirmajām destrūkcijas pazīmēm. Drānas berzes izturība novērtēta fiksējot ciklu skaitu, kādu paraugs izturējies līdz sagrūšanai. Adījumos tas tiek fiksēts, ja pārtrūcis ir vismaz viens pavediens [110].

Testiem izmantota “*SDL Atlas M235 Martindale*” iekārta. Martindeila abrazīvtesterī nodilumizturības pārbaudei paraugi pakļauti neorientētai berzei (*LVS EN ISO 12947-1:2001*) [111], paraugu ($D=38$ mm) fiksējot paraugu turētājā ar valkājamo pusi uz leju; kā abrazīvs izmantots standarta vilnas ķemmdzijas audums ($D=140$ mm), izvēloties piespiešanas slodzi 595 ± 7 g atbilstoši apgērību un mājas tekstiliju nominālajam spiedienam 9 kPa, kas raksturo apstākļus ar kādiem tekstilija saskaras reālos apstākļos. Testi veikti RTU MLĶF DTI.

2.4.3. Gaisa caurlaidības novērtēšana

Paraugu gaisa caurlaidību (GC) novērtēta ar gaisa caurlaidības koeficientu, mērot gaisa daudzumu, kas iziet cauri $5,0 \text{ cm}^2$ parauga laukumam noteiktā laikā pie gaisa spiediena starpības abās pusēs 30 un 100 Pa. Tests veikts ar “*SDL Atlas Air Permeability*” iekārtu saskaņā ar standartu (*ISO – ISO 9237:1995*) [112]. Katram paraugam veikti 10 mērījumi dažādās vietās. Vidējā gaisa caurlaidība (q_v), dm^3/min vai l/min aprēķina saskaņā ar (2.1.) formulu.

(2.1.)

$$q_v = \frac{\sum q_i}{n},$$

kur $\sum q_i$ – gaisa caurlaidības mērījumu summa,
 n – mērījumu skaits.

Gaisa caurlaidības koeficients (R), mm/s aprēķina saskaņā ar (2.2.) formulu.

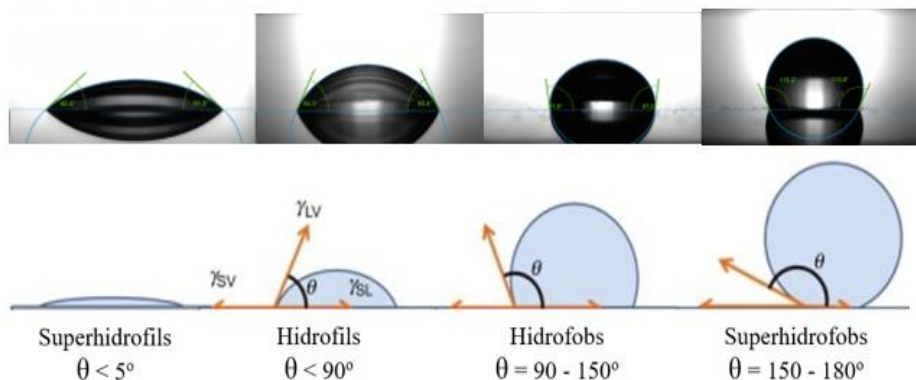
(2.2.)

$$R = \frac{q_v}{A} \times 167,$$

kur q_v – vidējā gaisa caurlaidība, dm³/min vai l/min;
 A – parauga laukums, caur kuru tiek virzīta gaisa plūsma, cm²;
 167 – skaitliska vērtība gaisa caurlaidības pārveidošanai no dm³/min vai l/min uz mm/s [110]. Testi veikti RTU MLĶF DTI.

2.4.4. Slapēšanas līdzsvara leņķa novērtēšana

Paraugu slapēšanas leņķis noteikts ar optisko tensiometru “*Theta Attension*” izmantojot piliena metodi ar precizitāti $\pm 0,1^\circ$. Slapēšanas leņķis θ veidojas uz šķidrums trīsfāžu robežas kur sastopas šķidrums, gāze un parauga virsma (cieta vieta). Paraugu novieto uz platformas, uzpilda dejonizēta ūdens pilienu ($\sim 5 \mu\text{l}$) un uzstāda bāzes līniju. Iekārta automātiski veic un ieraksta visus mērījumus, fiksējot piliena tilpuma izmaiņas un slapēšanas leņķi. Katram paraugam veikti 3 – 5 mērījumi vienas minūtes intervālā. Testi veikti RTU MLĶF Polimeru materiālu institūtā.



2.1. att. Hidrofobas un hidrofīlas virsmas robežas [113].

2.4.5. 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 m²·K/W, raksturo tekstila vai kompozītu sausa silta gaisa plūsmu izmantotajā laukumā, reaģējot uz vienmērīgi lietoto temperatūras gradientu ISO 11092:2014 [114].

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

Iekārta nosaka ūdens tvaika pretestību diapazonā no 1–200 $\text{m}^2\text{ Pa/W}$ un relatīvo ūdens tvaika caurlaidību robežās no 0,5 līdz 100 %. Pirms testēšanas iekārta tiek kalibrēta ar standartizētām drānām ISO 11092:2014 [114].

Ūdens tvaiku caurlaidības noteikšanai apsildāmo poraino plati (D 80 mm) nosedz ar ūdens tvaiku caurlaidīgu membrānu. Ierīces T_m un gaisa T_a temperatūra tiek iestatīta līdz 35 °C un relatīvajam mitrumam ir jābūt ap 40 %. Uzsākot abas testēšanas metodes tiek fiksēta apkārtēja gaisa temperatūra un relatīvais gaisa mitrums.

Testējamo drānu paraugi 12 cm^2 , testējamā laukuma diametrs 8 cm. Katram paraugam veikti trīs mērījumi abiem testiem dažādās drānas vietās.

2.5. Uznestā pārklājuma novērtēšanas metodes

2.5.1. 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 $\varnothing 11\text{ mm}$, katrai kultūrai nodrošināti seši paralēlie mērījumi. Testi veikti Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un mikrotehnoloģijas institūtā un “BIOR” Mikrobioloģijas un patoloģijas laboratorijā.

2.5.2. Skenējošā elektrostaru mikroskopija (SEM) un Enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas analīze (EDS)

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.

2.5.3. Furjē transformāciju infrasarkanās spektroskopijas (FTIR) piemērošana pētījumu objektu specifikai

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) Spekrālanalizē 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 uzņestā 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.

Ekspērimētālo paraugu spektri uzņemti RTU MTAFL laboratorijā ar spektrometru “*Bruker Tensor IP*”, izmantojot pavājinātās kopējas refleksijas (*ATR*) metodi. Izmantotais kristāls – dimants ar spektrālo diapazonu 50 000–2500 cm^{-1} , 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*” tiešaistes 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 diferencu spektrus, ja nepieciešams, un veic to interpretāciju.

3. Jauktu šķiedru sastāva trikotāžas izstrādājumu modifikācija

Vairums veiktajos pētījumos un praktiskos lietojumos funkcionalizācijas iespēju izpēte veikta un modifikācijai pakļautas kokvilnas tekstilijas. Tai pat laikā praktiskos lietojumos, īpaši zeķu izstrādājumos ekspluatācijas īpašību uzlabošanai pievieno sintētiskos poliamīda vai/un poliestera šķiedru un elastāna pavedienus. Rezultātā funkcionalizācijai jāpakļauj sarežģītas struktūras virsmas, kas veidotas no komponentēm ar atšķirīgām ķīmiskajām, fizikālajām, mehāniskajām un fizioloģiskajām īpašībām, kā arī ietekmētas no izvēlēta tehnoloģijas tipa un piemērotajiem tehnoloģiskajiem parametriem.

Zeķu izstrādājumi ir neatņemama garderobes sastāvdaļa gan ikdienas valkāšanai, gan daudzveidīgos speciālos lietojumos (sporta/atpūtas, darba/speciālie apģērbi), kā arī kandidāti valkājāmās elektronikas integrācijai. Atšķirīgās lietošanas prasības un vides no vienas puses un iespējas nodrošināt gandrīz neierobežotā skaitā daudzveidīgu faktoru un procesu kombinācijas no otras puses veido plašu daudzveidīgu iznākumu spektru, kuram grūti piemērot formalizētu apraksta stratēģiju gala īpašību un to intensitātes prognozei. Rezultātā joprojām nepieciešami apjomīgi pētījumi noteikta sortimenta iekšienē, mēģinot noteikt faktoru kombinācijas un to intensitāti nepieciešamo īpašību/funkciju nodrošināšanai gala produktā.

Nodaļas ietvaros apskatīta kokvilnas-poliamīda šķiedru sastāva rūpnieciski šķērsadītu zeķu izstrādājumu modifikācija papildfunkciju piešķiršanai to veiktspējas uzlabošanai.

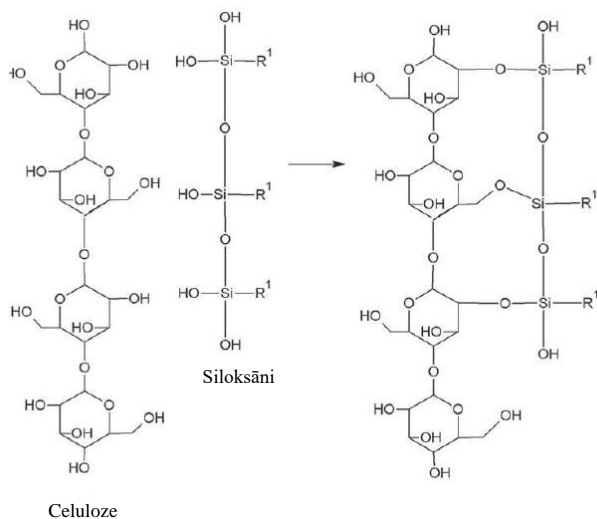
3.1. Kokvilnas/PA zeķu izstrādājumu raksturojošie parametri un eksperimentu plānojums

Tekstiliju funkcionalizācijai adaptētais sola-gēla process bieži ietver trīs posmus: šķīduma, želatācijas un karsēšanas. Šķīduma stadijā alkoksilānus hidrolizē šūnu sienas virsmā saistītais ūdens, veidojot silanolus.

Silanolu kondensācijas procesā veidojas sola, alkoksilānu, silanolu un polisilanolu oligomēru maisījums. Sols pakāpeniski attīstās, veidojot trīsdimensiju gēlveida tīklu, kas satur gan šķidro, gan cieto fāzi. Tajā pat laikā starp polisilāniem un hidroksilgrupām uz šķiedru virsmām veidojas ūdeņraža saites, ļaujot noenkurot polisilāna tīklu ar tām.

Trešajā posmā silāna-tekstila kompozītu karsējot, veidojas šķērssaistīts, ļoti kondensēts gēls, kas ir kovalenti saistīts ar šķiedru virsmas ķīmiskajām grupām [22] (3.1. att.).

Lai nodrošinātu plānoto iznākumu jāņem vērā, ka tikai daudzskaitlīgi teorētiski un eksperimentāli pētījumi sola sastāva un tehnoloģisko parametru izvēlei un saskaņošanai ar tekstiliju veidojošo šķiedru fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām, drānu struktūrām un to tehnoloģisko priekšvēsturi var nodrošināt augstas veiktspējas funkcionalizētas tekstilijas iegūšanu atbilstoši paredzētajam lietojumam. Vienlīdz svarīgs ir arī modifikācijas ietekmes novērtējums uz gala produkta lietošanas īpašībām.



3.1. att. Ar kokvilnas šķiedru celulozi šķērssaistīta gēla veidošanās

Tekstiliju funkcionalizācijas process kļūst arvien sarežģītāks ņemot vērā, ka aizvien retāk tās veidotas kā monošķiedru struktūras. Biežāk lietojumam atbilstošās īpašības tiek nodrošinātas kombinējot divus, trīs vai pat vairāk šķiedru variantus dažādās proporcijās un veidojot gala produktus ar daudzveidīgām tekstiltehnoloģijām.

Pētījumam pakļautas baltas gludpinuma rūpnieciski šķērsadītas trikotāžas zeķes ar šādu sastāvu: 81 % ekoloģiski audzēta kokvilna (CO) un 19 % poliamīds (PA). Vidējais valdziņu blīvums 10 cm² laukumā ir 100 vertikālajā un 90 valdziņi horizontālajā virzienā. Ņemot vērā, ka šī sortimenta zeķu izstrādājumi paredzēti valkāšanai gada siltākajos mēnešos un līdz ar to tie tiek regulāri pakļauti hidrotermiskajai (HT) apstrādei, funkcionalizācijas mērķis ir nodrošināt virsmas pašattīršanās 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, ka sistēmas elementu veiktspēja strauji samazinās ar katru HT apstrādes ciklu un to atteikumi iestājas krietni pirms zeķu izstrādājuma fiziskās kalpošanas laika beigām.

Balstoties uz iepriekš veiktajiem pētījumiem, kas apliecinājuši efektīvu kokvilnas audumu funkcionalizāciju, zeķu izstrādājumu modifikācijai piemērota sola-gēla tehnoloģija [86, 96 – 97] ar silīcija bāzes solu kā prekursoru integrējot tajā cinka acetāta dihidrātu (CAD).

Būtiskas atšķirības no iepriekš veiktajiem pētījumiem:

- pētāmā sortimenta zeķu izstrādājuma struktūru līdztekus kokvilnai veido 19 % poliamīda šķiedras pavedieni ar samērā zemu pieļaujamo darba temperatūru;
- adītās sieniņas struktūra ir principiāli atšķirīga salīdzinājumā ar kokvilnas auduma struktūru, līdz ar to ir atšķirīgas tehnoloģiskās īpašības pārklājuma uznešanas procesā, funkcionālās un ekspluatācijas īpašības;

- gludpinuma trikotāžai raksturīgās augstās deformētspējas dēļ nepieciešamas rūpīga modificējošā pārklājuma esamības un veiktspējas kontrole gan izgatavošanas, gan ekspluatācijas procesā;
- nepieciešams modificēt testēšanas metodes modificējošā pārklājuma mijiedarbības novērtēšanai ar adīto substrāta struktūru.

Pēc gēla uzklāšanas uz adītā izstrādājuma to iemērcot sola šķīdumā nepieciešams iztvaicēt lieko šķīdumu un karsēt tekstiliju pārklājuma konsolidācijai ar šķiedru virsmu uzturot temperatūru 30 līdz 60 min. vismaz 90 °C (atkarībā no substrāta īpašībām) vai arī palielināt temperatūru vismaz līdz 100 °C samazinot karsēšanas laiku, kas ir mērķtiecīgāk no racionālas resursu izmantošanas viedokļa. Ņemot vērā PA pavedienu klātbūtni adītājā struktūrā, ir nepieciešams saskaņot karsēšanas temperatūru un laiku katrai jaunai šķiedru sastāva un adījuma pinuma kombinācijai, lai nodrošinātu pārklājuma stabili sasaisti ar abu veidu tekstilšķiedru virsmu neizsaucot šķiedrām un adījumam piemītošo īpašību ievērojamu pasliktināšanos vai pat destruktiju.

Problēmas risinājumam pirmās pakāpes pilna faktoru eksperimenta (PFE) plānā 2^3 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 uz iepriekšējos pētījumus pamatotajiem 100 % kokvilnas audumam [21, 102], un parādīti pilna faktoru eksperimenta 2^3 plānā (3.1. tab.).

3.1. tabula

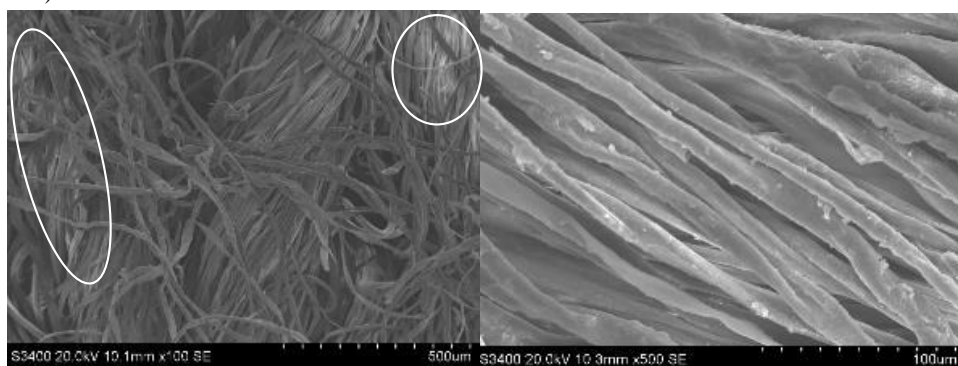
Pilna faktoru eksperimenta 2^3 plāns

Faktoru apzīmējums	Faktori	Kodēti faktoru līmeņi			Variēšanas intervāls
		-1	0	1	
X_1	Termiskās apstrādes laiks, min	5	6,5	8	1,5
X_2	Termiskās apstrādes temperatūra, °C	100	110	120	10
X_3	Cinka acetāta dihidrāta CAD koncentrācija, mas. %	5	6,25	7,5	1,25

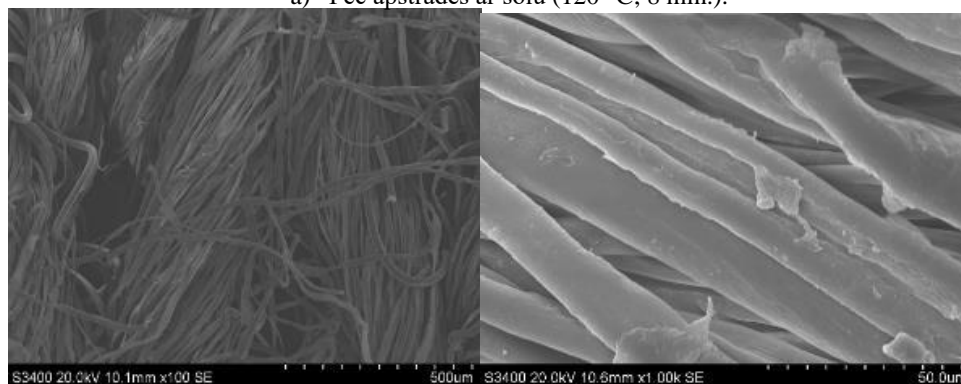
Atbilstoši sola-gēla tehnoloģijai, ievērojot eksperimenta plānā paredzētos neatkarīgos mainīgos, izstrādāto variantu īpašību testi veikti pirms un pēc modifikācijas, kā arī pēc pirmā HT apstrādes cikla, kas, kā parādīja iepriekšējā pieredze, ir modifikācijas procesa noslēdzošā apstrāde.

3.2. Modificēta adījuma šķiedru virsmas mikro struktūras

Kā rāda SEM mikrogrāfijas, zeķu adījuma modifikācijas rezultātā izveidojies ~ 60 nm biezs pārklājums uz šķiedrām praktiski neveidojot šķiedras savienojošas plēves (3.2. att.). Salīdzinot 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. att., a)). HT apstrādes procesā liela ūdens apjoma klātbūtnē turpinās pārklājuma konsolidācija ar šķiedru virsmu, rezultātā mikrogrāfijās nav saskatāmas salīpušu šķiedru šķipsnas (3.2. att., b) – pa kreisi), šķiedru virsmas pārklājumi ir nogludinājušies, saglabājas nedaudzi lielākos veidojumos salīpuši aglomerāti (3.2. att., b) – pa labi).



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

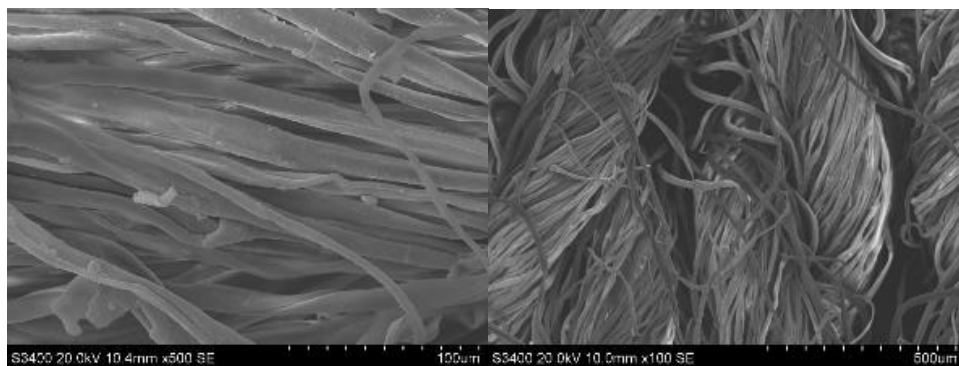


b) Pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.) un HT apstrādes.

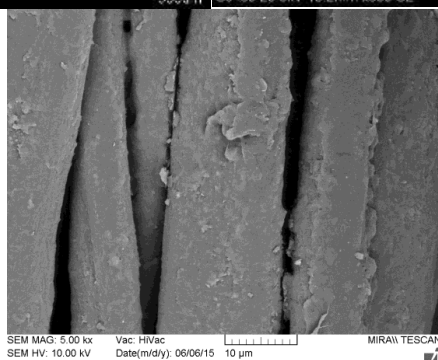
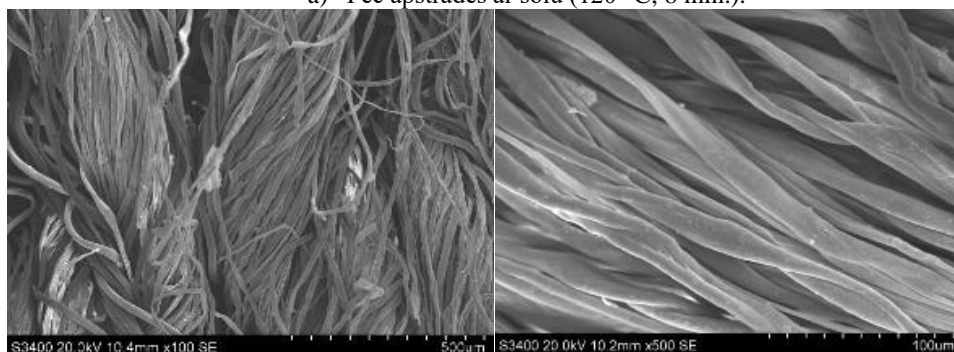
3.2. att. Ar 5 mas.%CAD modificētu solu apstrādātu paraugu mikrogrāfijas: a) pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.), b) pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.) un HT apstrādes.

Palielinoties sola modifikatora CAD koncentrācijai šķīdumā līdz 7,5 mas.%, modificētajos paraugos vērojams lielāks apgabalu skaits ar pārklājuma defektiem (3.3. att.,a)) salīdzinājumā ar 5 mas.%CAD variantu. Pēc HT apstrādes defektu intensitāte samazinājusies, samērā vienmērīgs pārklājums vērojams gan uz kokvilnas (plakanas šķiedras), gan poliamīda šķiedrām (3.3.att., b)).

Tika izvirzīta hipotēze: aizvietojoj fluorūdeņraža skābi sola sastāvā ar organisko etiķskābi iespējams iegūt videi draudzīgāku modifikācijas risinājumu, bet, iespējams, dažas modificētās trikotāžas īpašības var pasliktināties.



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

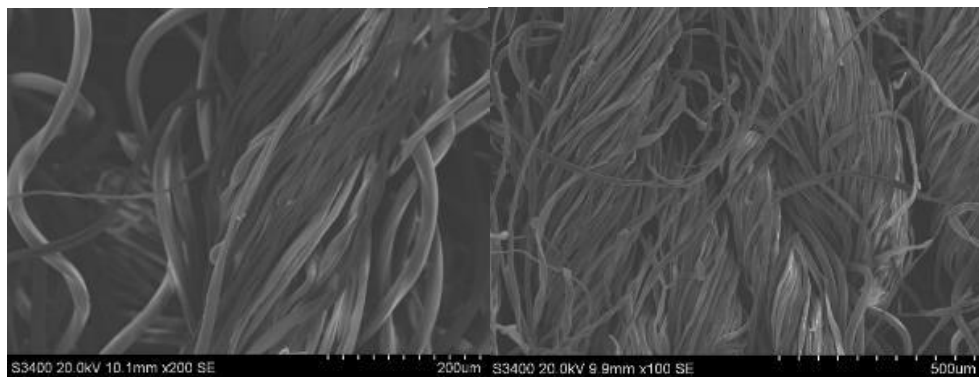


b) Pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.) un HT apstrādes.

3.3. att. Ar 7,5 mas.% CAD modificētu 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.

3.4. att. mikrogrāfijas redzams, ka aizvietojoj sola sastāvā katalizatoru fluorūdeņražskābi ar etiķskābi, pārklājums ir izveidojies bez vērā ņemamiem defektiem vienmērīgi pārklājot kā kokvilnas, tā poliamīda šķiedras (3.4. att., b)). Pēc HT apstrādes neredzami palikušie sola

aglomerāti ir vāji saistījušies ar šķiedru virsmas pārklājumiem (3.4.att., c)) un nākošajā HT apstrādes ciklā viegli atdalīsies.



a) Nemodificēts izstrādājums.

b) Pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.), katalizators CH₃COOH.



c) Pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.) un HT apstrādes.

3.4. att. Nemodificēts paraugs, un ar 7,5 mas.% CAD modificētu solu apstrādātu paraugu mikrogrāfijas, katalizators CH₃OOH: a) nemodificēts izstrādājums, b) Pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.), katalizators CH₃COOH, c) pēc apstrādes ar solu (120 °C; 8 min.) un HT apstrādes.

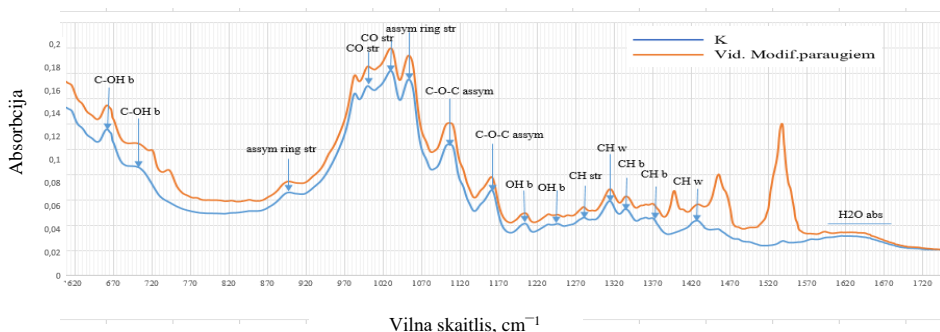
3.3. Salīdzinoša ATR-FTIR spektru analīze

Absorbcijas spektru galvenie parametri ir joslu skaits, to novietojums, joslas pusplatums un forma, absorbcijas koeficienta vērtība joslas maksimumā. Šie parametri ir atkarīgi no vielas ķīmiskā sastāva, absorbējošo molekulu struktūras, vielas agregātstāvokļa, temperatūras, spiediena. Sarežģīto molekulu spektri sastāv no dažādas intensitātes liela skaita joslām, kuras, turklāt, pārklājas un tādēļ ķīmisko grupu identifikācija šādos spektros ir diezgan grūts uzdevums. Uzdevuma risināšana ir iespējama tikai tā iemesla dēļ, ka absorbcijas joslas novietojums dotajai ķīmiskai saitei ir tuvs neatkarīgi no tā, kādās molekulās šī saite atrodas.

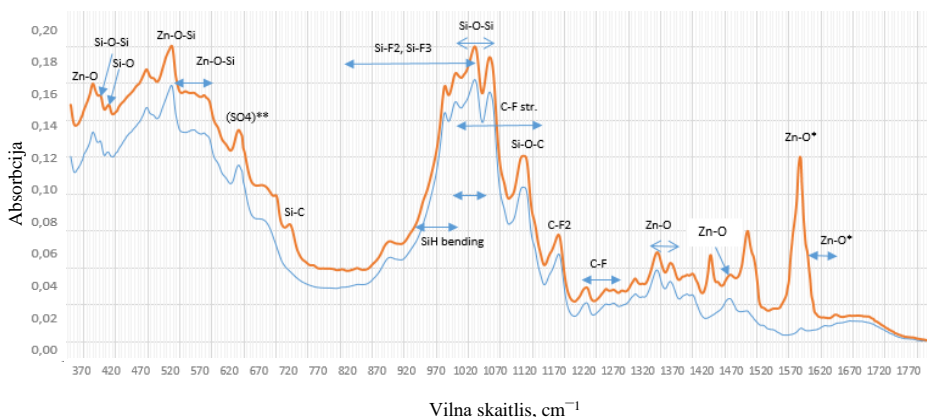
Attiecībā uz zeķu izstrādājumiem sportam un ikdienas valkāšanai jāievēro, ka parasti tos izgatavo platinētā gludpinuma adījumā uz viena cilindra adīšanas mašīnām, izmantojot divus

vai vairākus dzijas veidus. Parasti dominē kokvilnas dzija, veiktspējas uzlabošanai pievienojot poliamīda un/vai poliestera pavedienus, kas bieži kombinēti ar elastāna pavedieniem.

Platinētajā pinumā adītās drānas ārējās un iekšējās virsmas šķiedru sastāvs ir atšķirīgs: vienā no virsmām dominē kokvilnas dzija, nodrošinot valkāšanas komfortam svarīgas īpašības, otrajā virsmā poliamīda vai poliestera pavedieni uzlabo izstrādājuma nodilumizturību palielinot valkāšanas laiku, līdz ar to abas virsmas tiek pakļautas spektrālnalīzei, lai izsekotu virsmu izmaiņas modifikācijas un tam sekojošā valkāšanas procesā, līdztekus kokvilnai un modificējošam pārklājumam raksturīgajām funkcionālajām grupām pievēršot uzmanību arī pievienotos sintētiskos pavedienus raksturojošām saitēm (3.5.att., a) un b)).



a) Kokvilnas celulozei raksturīgās smailes.



a) Iespējamo ķīmisko grupu saišu vibrācijas uz modificētās virsmas.

3.5. att. Nemodificēto (K) un modificēto paraugu spektrogrammas: a) kokvilnas celulozei raksturīgās smailes, b) iespējamo ķīmisko grupu saišu vibrācijas uz modificētās virsmas.

Zn-O* iespējams amorfas formas oksīda saite

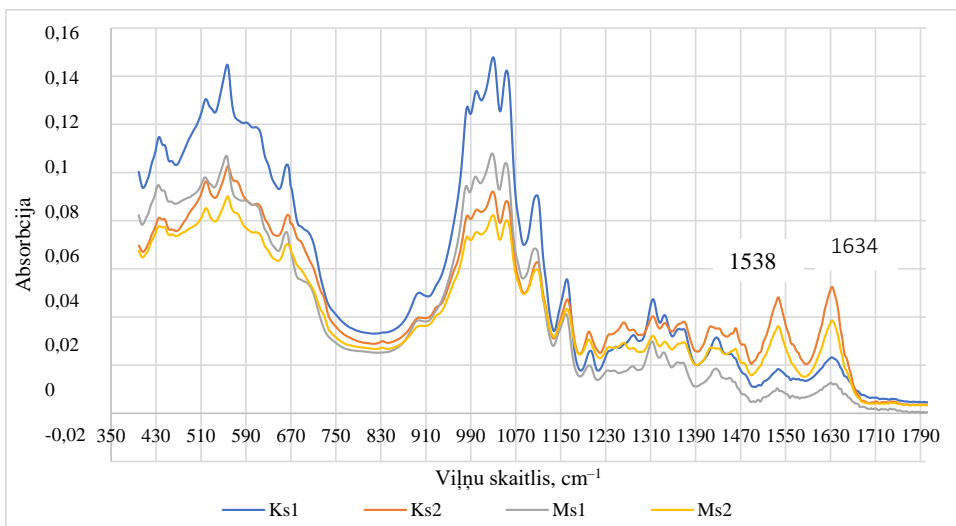
Uzklājot modificējošu virsmas pārklājumu uz tekstiliju virsmām, uz kurām jau pirms uzklāšanas ir ķīmiskās grupas ar atšķirīgas intensitātes absorbciju praktiski visā viļņu skaitļu diapazonā, jākoncentrējas uz absorbcijas intensitātes izmaiņām un to atšķirībām starp paraugu

grupām, jo vibrāciju joslas un smailes, kas raksturīgas kokvilnas celulozei un poliamīdam (3.5. att., a)), pārklājas ar nano-izmēra modificējošā pārklājuma ķīmisko grupu vibrācijas joslām un smailēm (3.5. att., b)), vājinot vai pastiprinot summāro absorbciju noteiktā frekvenču joslā. Termiskās apstrādes laikā cinka acetāts sadalās un tālāk polimerizējas Zn–O–Zn tiltos. Iespējams, ka pārklājuma matricā varētu veidoties arī Zn–O–Si saites, taču izskatās, ka atļautā temperatūra nenodrošina kristāliska cinka oksīda veidošanos [117], bet tā amorfās formas, šķiet, ir iespējamas kā to apliecina absorbcijas intensitātes pieaugums attiecīgās frekvenču joslās (3.5. att., b)).

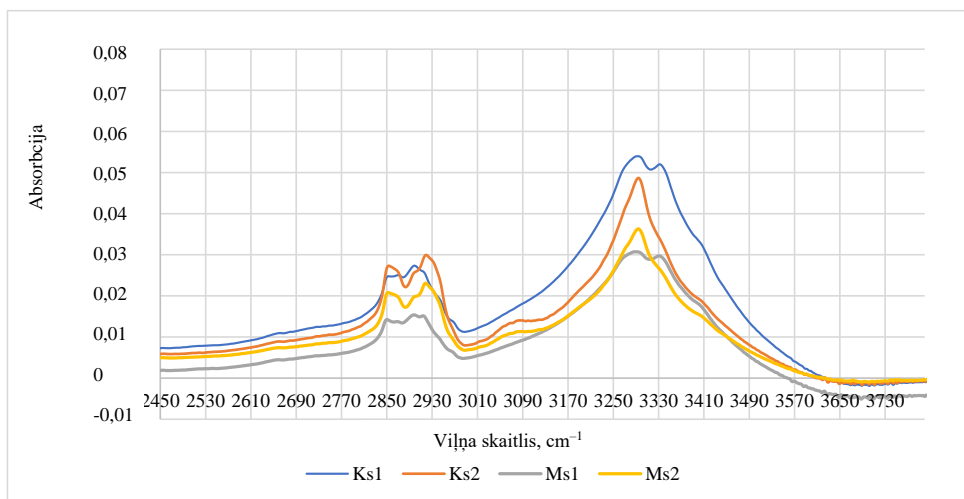
Diferenču spektru analīze procesos no laboratorijas līdz rūpnieciskajai ražošanai ļauj izsekot pārklājuma esamībai gan tūlīt pēc tā uznešanas, gan izmaiņām turpmākajos HT apstrādes procesos, gan līdz brīdim, kad ražojums sasniedz gala lietotāju ar ražotāja garantijām.

Tā kā tekstiliju modifikācijas procesam jānotiek temperatūrās, kas neizraisa to destrukciju, eksperimentā piemērotās temperatūras nepārsniedz 120 °C, uz tekstilijas šķiedru virsmām palielinās ķīmisko savienojumu daudzveidība un ir grūti nepārprotami identificēt ķīmiskos savienojumus, kas uz šķiedru virsmas pievienojušies modifikācijas procesā, jo neapstrādāto un pārklāto adīto virsmu ķīmisko savienojumu absorbcijas/caurlaidības joslas pilnībā vai daļēji pārklājas. Sola-gēla procesā radītā pārklājuma (30–60 nm) dēļ kokvilnas/PA adītās struktūras virsmas ķīmisko saišu absorbcijas intensitāte kļūst acīmredzami vājāka: 3.6. att., a un b spektri liecina par absorbcijas intensitātes samazināšanos abās adītās tekstilijas pusēs gandrīz visa viļņu skaitļu diapazonā 4000 cm⁻¹, jo amorfs mikroporains kserogēls veido pārklājumu uz šķiedru virsmām un šķiedru porām tuvu virsmai, kā rezultātā samazinās absorbcija, jo īpaši frekvenču diapazonā, kas raksturīgs celulozei [118].

Frekvenču joslas ar smailēm 1540 un 1636 cm⁻¹ liecina gan par PA pavedienu dominējošu pārsvaru adītās struktūras ārējā virsmā (spektrs Ks2), gan modificējošā pārklājuma esamību uz PA pavedienu virsmas (spektri Ks2 un Ms2).



a) frekvenču diapazons 400–1950 cm^{-1} . Ks1 un Ks2 nemodificētas, Ms1 un Ms2 modificētas trikotāžas labās un kreisās puses spektri (modificēta karsējot 120 $^{\circ}\text{C}$, 8 min.).



b) frekvenču diapazons 2500–4000 cm^{-1} . Ks1 un Ks2 nemodificētas, Ms1 un Ms2 modificētas trikotāžas labās un kreisās puses spektri, (modificēta karsējot 120 $^{\circ}\text{C}$, 8 min.).

3.6 att. Kokvilnas/Poliāmīda zeļu izstrādājumu salīdzinoši absorbcijas spektri:

a) frekvenču diapazons 400–1950 cm^{-1} , b) frekvenču diapazons 2500–4000 cm^{-1} . Ks1 un Ks2 nemodificētas, Ms1 un Ms2 modificētas (120 $^{\circ}\text{C}$, 8 min.) trikotāžas labās un kreisās puses spektri.

Ņemot vērā, ka uznestā pārklājuma biezums ir nano-izmēra, modificēto virsmu spektros parādās gan substrāta (trikotāžas), gan pārklājuma ķīmisko grupu absorbcijas efekti, pie tam absorbcijas frekvenču joslas/smailes pārklājas. Trikotāžas virsmas spektri (3.6. att., a) un b)), kurā dominē kokvilnas pavedieni, uzrāda kokvilnas celulozei raksturīgo spektru Ks1 (3.2. tab.) un tās modifikācijas efektus – spektrs Ms1 [20], [98]. Amorfā mikroporainā kserogēla pārklājums pārklāj šķiedras un izoderē virsmai tuvās poras (3.6. att., a), rezultātā absorbcija samazinās, īpaši celulozei specifiskajās frekvenču joslās 898–1400 cm^{-1} un 350–670 cm^{-1} .

3.2. tabula

Celulozei raksturīgās absorbcijas joslas [119]

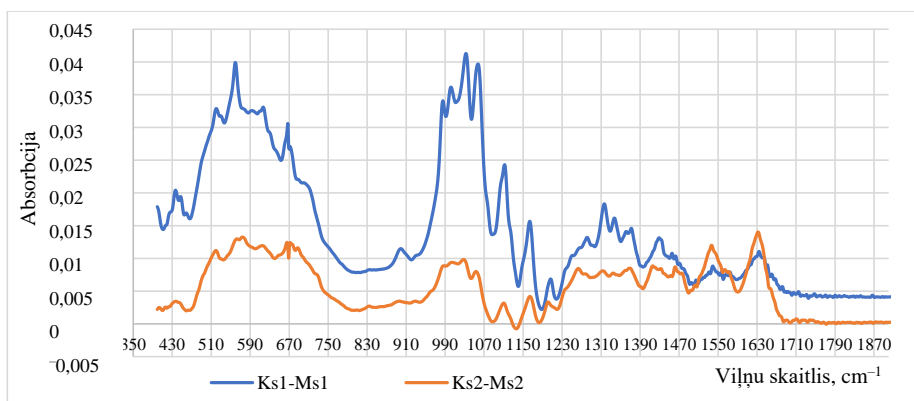
No celulozes tipa atkarīgās absorbcijas joslas			No celulozes tipa neatkarīgās absorbcijas joslas	
Celuloze I	Celuloze II			
3350-3430	3440-3450	-OH (ūdeņraža saites)	1720-1735	-C=O grupu svārstības
2901-2906	2890-2892	-CH		
1430-1435	1419-1422	-CH ₂ pie C(6)	1620-1680	Saistītais ūdens
1372-1373	1376-1377	C-H saites	1152-1156	C-O-C asimetriskas svārstības
1319-1320	1316-1317	-CH ₂ pie C(6)		
1282-1287	1275-1278	C-H saites	1045-1060	C-C, C-OH, C-H un sāna grupu svārstības
1236-1237	1227-1228	-COHplaknē pie C(6)		
1202-1205	1200-1201	-COHplaknē pie C(6)	1022-1035	C-C, C-OH, C-H un sāna grupu svārstības
1163-1165	1158-1162	COC β-glikozīdiskā saite	992-997	C-C, C-OH, C-H un sāna grupu svārstības
897-898	894-895	COC β-glikozīdiskā saite	660-670	C-OH saišu svārstības ārpus plaknes

Spektru pāris Ks1 un Ms1 (3.6. att., b) ar virsotni 3340 cm^{-1} frekvenču joslā 3350–3430 cm^{-1} (-OH ūdeņraža saites) un 2901–2906 cm^{-1} (-CH) atbilst celulozes I absorbcijas joslām (3.2. tab.) un rāda būtisku absorbcijas samazinājumu modifikācijas rezultātā šajā frekvenču diapazonā.

3.6. att. a) redzamajos spektros savukārt labi izdalās atšķirīgie platinētā adījuma trikotāžas labās un kreisās puses spektri, liecinot gan par poliamīda klātbūtni – raksturīgās smailes atbilstoši frekvencēm 1537 un 1632 cm^{-1} spektros Ks2, gan par uznestā pārklājuma esamību uz PA pavedieniem – spektrs Ms2. 3.6. att. b) spektrus Ks2 un Ms2, smailes 3298 cm^{-1} (N-H stretch) un 2931 cm^{-1} (C-H stretch) norāda uz dominējošu PA [99–101] pavedienu klātbūtni uz virsmas, kā arī uz modificējošā pārklājuma absorbcijas intensitātes samazinājumu

modifikācijas rezultātā. Tādējādi absorbcijas intensitātes samazinājums šajās joslās ļauj gūt pārlicību par pārklājuma esamību uz PA pavedienu virsmas un, balstoties uz absorbcijas intensitātes salīdzinošu analīzi, ļauj izsekot pārklājuma izmaiņas nākotnē ekspluatācijas procesā.

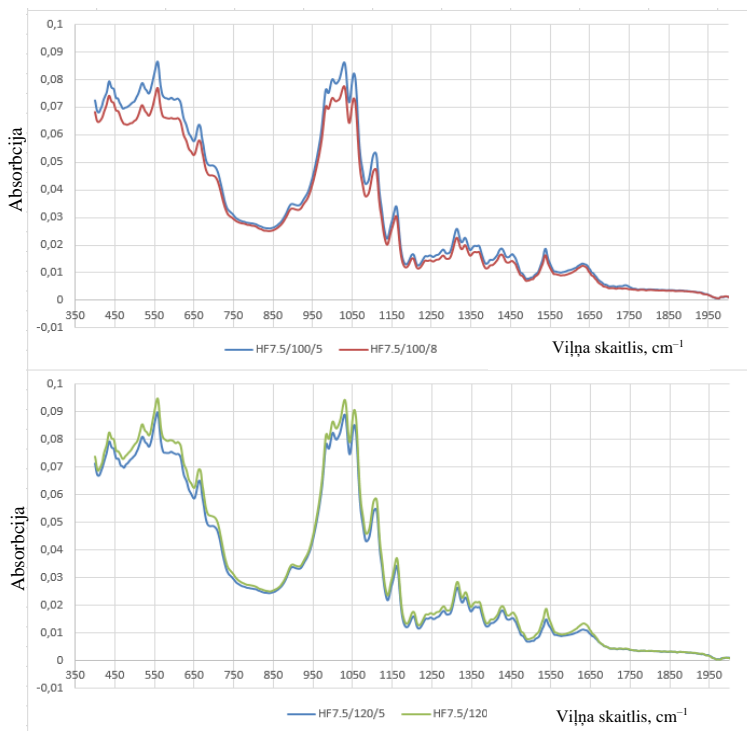
Labāku izpratni par pārklājuma efektiem visā frekvenču diapazonā un to izpēti var gūt apskatot absorbcijas diferencu spektrus, kas iegūti vispirms normējot vidējos absorbcijas spektrus (10 spektri ļauj iegūt stabilu sadalījumu), pēc tam veidojot diferencu spektrus kā starpības starp absorbcijas intensitāti pirms un pēc pārklājuma uznešanas (3.7. att.).



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

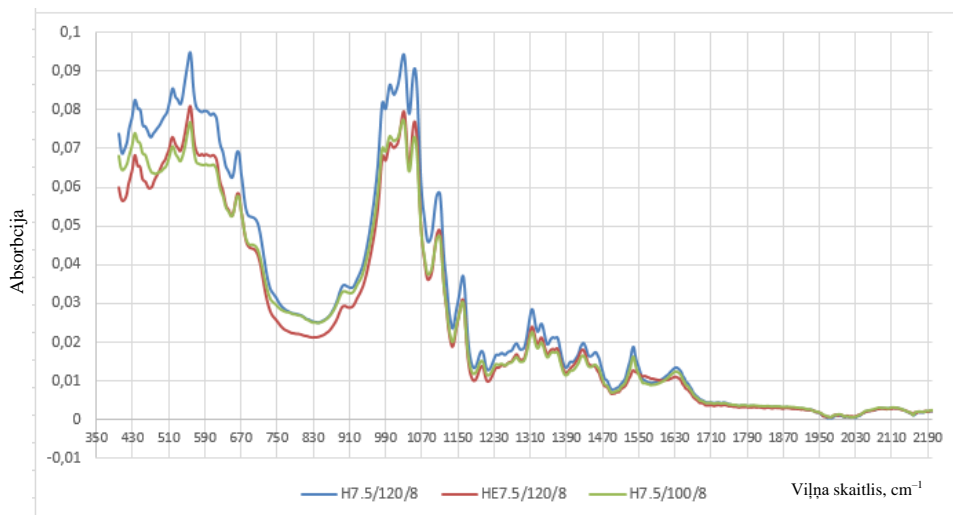
3.7. att. parādītie CO/PA diferencu spektri ļauj gūt ieskatu par pārklājuma absorbcijas smaīļu sadalījumu adījuma virsmas modifikācijas rezultātā un ļauj veikt pārklājuma sastāvā izveidojušos ķīmisko grupu identifikāciju, kas vispār runājot ir sarežģīti, ņemot vērā, ka solagēla process ierobežoto karsēšanas temperatūru dēļ nenotiek līdz galam, kā tas ir tad, ja karsēšana ir pieļaujama 600 °C un augstākās temperatūrās. Darba ietvaros lietotā sola spektri [102] parāda sola ķīmisko grupu raksturīgās smaīles frekvenču joslā 400-1650 cm⁻¹ un 2900-3600 cm⁻¹, ja karsēšanas temperatūra ir 100 un 120 °C un ļauj identificēt absorbcijas intensitātes pārklājuma ķīmisko grupu smaīlēm atbilstošās frekvenču joslās. Ņemot vērā, ka pārklājuma biezums vidēji ir ~60 nm, bet absorbcijas mērījumi ietver ~ 1 mm biezu slāni, diferencu spektri parāda pārklājuma ietekmētas substrāta intensitātes izmaiņas 3.7. att. grafikos platinētās struktūras iekšējā virsmā (Ks1-Ms1), kas raksturo salīdzinoši lielu intensitātes samazinājumu kokvilnas ķīmiskajām grupām atbilstošās viļņu skaitļu joslās (3.2. tab.) un ļoti nelielu PA raksturīgajās. Savukārt ārējās virsmas diferencu spektrs Ks2-Ms2 liecina par absorbcijas intensitātes samazinājumu modificējošā pārklājuma ietekmē uz PA raksturīgajām smaīlēm 1537 un 1632 cm⁻¹. Tādējādi diferencu spektri cita starpā var kalpot, lai identificētu pārklājuma esamību uz pavedienu šķiedrām un izsekot, kas notiek sekojošos procesos (HT apstrādes, valkāšanas u. tml.)

Karsēšanas laiku palielinot no 5 līdz 8 min., absorbcijas intensitāte samazinās (3.8. att.), salīdzinoši vairāk, ja process notiek pie temperatūras 100 °C nekā pie temperatūras 120 °C.



3.8. att. Temperatūras un karsēšanas laika ietekme uz absorbcijas intensitāti. Augšējais attēls: karsēšanas temperatūra 100 °C, laiks attiecīgi 5 min., (zils grafiks), 8 min., (sarkans). Apakšējais attēls: karsēšanas temperatūra 120 °C, laiks attiecīgi 5 min., (zils grafiks), 8 min., (zaļš).

Aizvietojojot sola sintēzes procesā fluorūdeņražskābi ar etiķskābi, varianta HE7,5/120/8 absorbcijas intensitāte ir zemāka vidēji par 18 % salīdzinājumā ar atbilstošajiem H7,5/120/8 absorbcijas koeficientiem, bet praktiski ļoti tuva attiecīgajam H7,5/100/8 varianta spektram (3.9. att.). Spektu HE7,5/120/8 un HE7,5/100/8 absorbcijas intensitātes praktiski atšķiras ļoti maz, vidēji par 0,5 % liecinot, ka karsēšanas T palielināšana no 100 °C līdz 120 °C šajā gadījumā nav mērķtiecīga.



3.9 att. Ar HF un etiķskābes katalizatoru solu modificētu zeķu spektri.

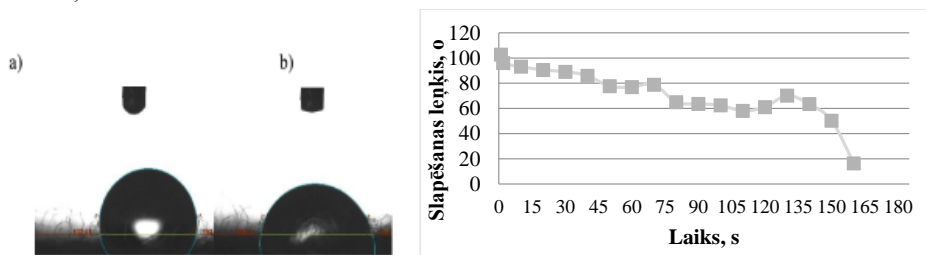
3.4. Virsmas slapējamības salīdzinoša analīze

Slapēšanas līdzsvara leņķa ietekmi raksturo šādi:

- ja slapēšanas leņķa vērtība nepārsniedz 90° , šķidrums izplūst slapinot virsmu, virsma tiek klasificēta kā hidrofila;
- ja slapēšanas leņķa vērtība pārsniedz 90° , virsma tiek klasificēta kā hidrofoba, jo cietā virsma šķidrumu atgrūž;
- ja slapēšanas leņķis pārsniedz 150° , virsma tiek klasificēta kā superhidrofoba.

3.4.1. Nemodificētas virsmas slapējamība

Nemodificētu zeķu izstrādājuma virsma vadoties no slapēšanas leņķa līdzsvara stāvokļa klasificētos kā hidrofoba pirmajās sekundēs (3.10. att.), tā kā tas saglabājās robežās no $\pm 101,7^\circ$ līdz $\pm 93,2^\circ$.



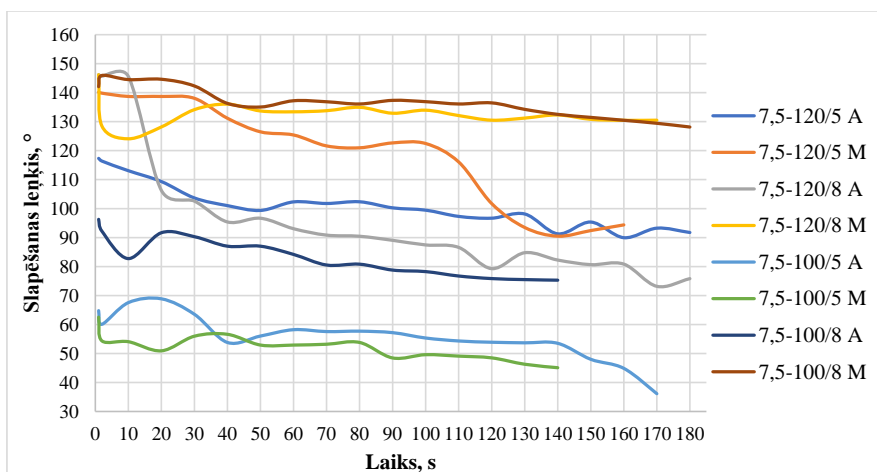
a) Nemodificētas zeķu drānas slapēšanas leņķis. a) uzreiz pēc uzpildināšanas b) pēc 60 s.

b) Nemodificēta parauga slapēšanas leņķa izmaiņas.

3.10. att. Nemodificētas adītās virsmas slapēšanas leņķa izmaiņas laikā.

Turpmāko 60 s laikā piliens mēreni samazina savu apjomu iesūcoties virsmā. 3.10. attēlā, b redzams, ka pēc 60 s slapēšanas leņķis jau ir krietni zem 90° un turpina strauji samazināties līdz piliens pilnībā iesūcās 160 s (3.10. att., c)). Ņemot vērā trikotāžas virsmas struktūru, novērota nevienmērīga piliena uzsūkšanas, ja mērījums veikts adījuma valdziņā.

3.4.1. CO/PA trikotāžas priekšapstrādes ietekme uz modificētu virsmu slapējamību



3.11. att. Kontroles un modificētu paraugu slapēšanas leņķa izmaiņas laikā.

Modificēto variantu 7,5-100/8 M un 7,5-120/8 M slapēšanas līdzsvara leņķi pārsniedz 130° un tie uzskatāmi par hidrofobiem (3.11. att.). Tas liecina, ka ar 7,5 mas.%CAD modificēta sola lietojumā karsēšanas laiks 8 min. temperatūras diapazonā no 100 līdz 120 °C ļauj sasniegt stabilu mitruma atgrūšanas efektu. Straujais varianta 7,5-120/5 M slapēšanas leņķa samazinājums tikai pēc 100 s liek domāt, ka stabilizējot procesu kontrolētā rūpnieciskā iekārtā arī karsēšanas laiks 5 min. 120 °C temperatūrā varētu daudziem lietojumiem pietiekošu pašattīrīšanās efektu. Varianta 7,5-100/5 A grafiks (pirms modifikācijas mērcēts acetona šķīdumā) liek domāt par spēju nodrošināt ūdens atgrūšanas spējas uzlabojumu, taču kopumā tas nav stabils. Pārējo variantu slapēšanas leņķi vai nu jau sākotnēji nesasniedz 90°, vai arī turpina mainīties laikā, kas liecina par to, ka pārklājums nav konsolidējies ar trikotāžas pavedienu virsmu. Tāpēc turpmāk modificēto nemitināto paraugu varianti salīdzināti ar kontroles parauga virsmas slapējamības izmaiņām laikā.

3.4.2. Apstrādes režīms ar 5 mas.%CAD koncentrāciju

Pirms modifikācijas ar solu, puse no zeķu paraugiem mērcēta acetona (50 % acetona/H₂O šķīdums, mērcēšanas laiks 5 min). Kā redzams 3.10. attēlā, pirms modifikācijas acetona šķīdumā apstrādāto zeķu virsmas joprojām ir hidrofilas neskatoties uz sekojošo modifikāciju ar 5 mas.%CAD solu.

Slapēšanas leņķis visā testēšanas laikā pārsniedz 100° gan pēc 5, gan 8 min. ilgstošas karsēšanas 100 °C temperatūrā, bet pirms modifikācijas nav pakļauti apstrādei acetona

šķīdumā. Labāko virsmas ūdens atgrūšanas spēju šī eksperimenta robežās nodrošina zeķu paraugi, kas pakļauti karsēšanai 100 °C temperatūrā 8 min. (3.12. att., b) un c); 3.11. att.), ko var uzskatīt par optimālu kombināciju virsmas pašattīršanās efekta nodrošināšanai. Mērcēšana acetona šķīdumā pirms modifikācijas nav uzskatāma par mērķtiecīgu, drīzāk tā rada negatīvu ietekmi.

Slapēšanas līdzsvara leņķis paraugiem A5-100/5 un A5-100/8, kas mērcēti acetona šķīdumā un nav pakļauti HT apstrādei, mērījuma beigās ir zem 90° atzīmes. Līdztekus noturīgākajam pret virsmas slapēšanu variantam M5-100/8 arī varianta M5 100/5 slapēšanas līdzsvara leņķis pārsniedz 100°. Bet paraugu grupai, A5-120/8 ir labāki rezultāti nekā grupai, kas netika mērcēti acetona.



a) M5-100/ 8, tikko pēc uzpilināšanas.



b) M5-100/8 pēc 60 s.



c) MM5-120/5 tikko pēc uzpilināšanas.



d) MM5-120/ 5 pēc 60 s.

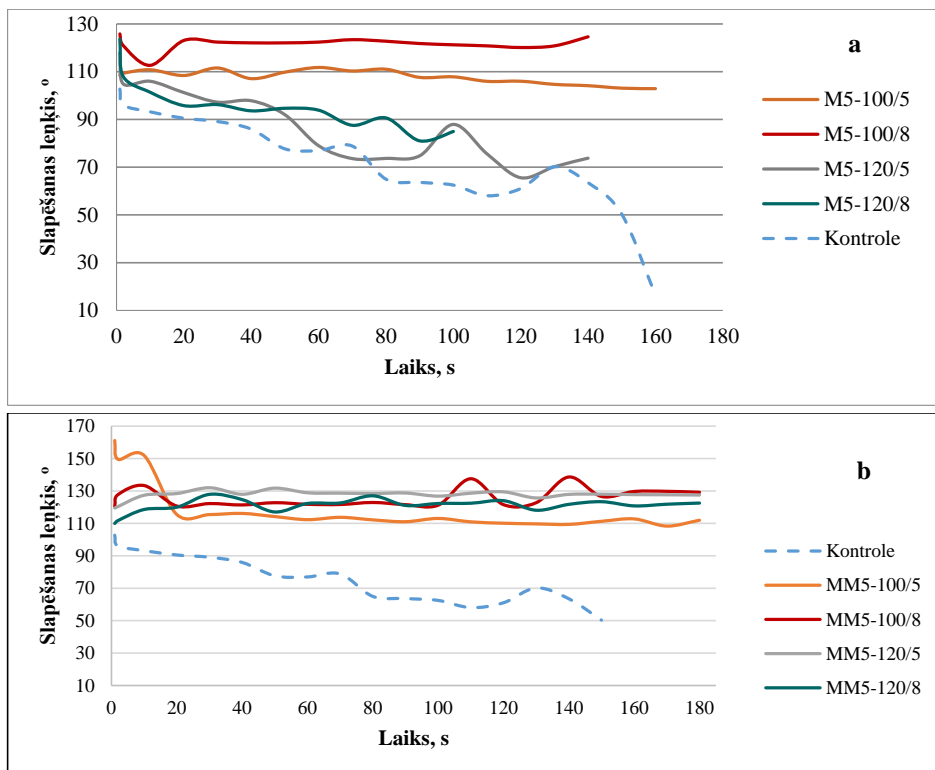
3.12. att. 5 mas.%CAD solu modifcētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze.

Pēc HT apstrādes slapēšanas leņķis palielinās par 7–49° un nostabilizējas visos konsolidācijas režīmos, mitrajā vidē šķiedru virsmas pārklājums ir pašlīdzinājies aizdziedējot pārklājuma mikro-defektus.

Parauga MM5-100/5 (3.13. att.) ir vērojama strauja slapēšanas vidējā leņķa krišanās no 161,12° līdz 114± 2° un nostabilizēšanās 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.

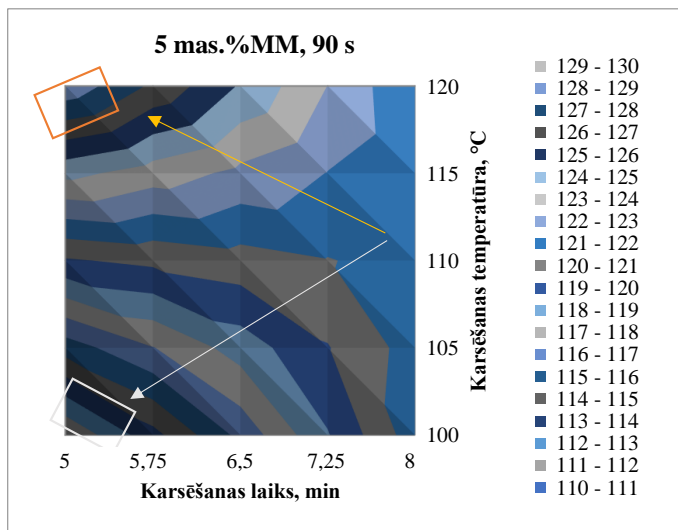
Pēc HT apstrādes pie 120 °C temperatūras karsēto zeķu virsma ir vienmērīgi hidrofoba uzrādot mazāko slapējamību, ja karsēšanas laiks ir bijis 5 min. Palielinot karsēšanas laiku līdz

8 min., un saglabājot temperatūru 120 °C slapēšanas līdzsvara leņķis samazinās līdz 120 °C (3.13. att.,b). Stabilākie mērījumi ir paraugiem MM5-120/5, kur pēc apstrādes karsēšanas režīms ir 120 °C. Slapēšanas leņķis saglabājas stabils visu mērījuma laiku izmainoties par $8 \pm 2^\circ$ (3.13. att., a), b)).



3.13. att. 5 mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze: a) pēc modifikācijas un b) pēc modifikācijas un pirmās HT apstrādes.

Salīdzinot 3.13. att., a un b grafikus kopumā, ir acīmredzama pirmās HT apstrādes ietekme uz visiem četriem variantiem apliecinot, ka sola-gēla process ir sekmīgi noslēdzies pārklājumam konsolidējoties ar šķiedru virsmu, rezultātā ļoti mitrumu uzsūcošā trikotāžas virsma ir kļuvusi hidrofoba, ko apliecina iegūtie paraugu slapēšanas līdzsvara leņķi robežās no 110 līdz 130°, t. sk. arī to paraugu (M5-120/5 un M5-120/8), kuru virsmas pirms HT apstrādes bija hidrofilas.

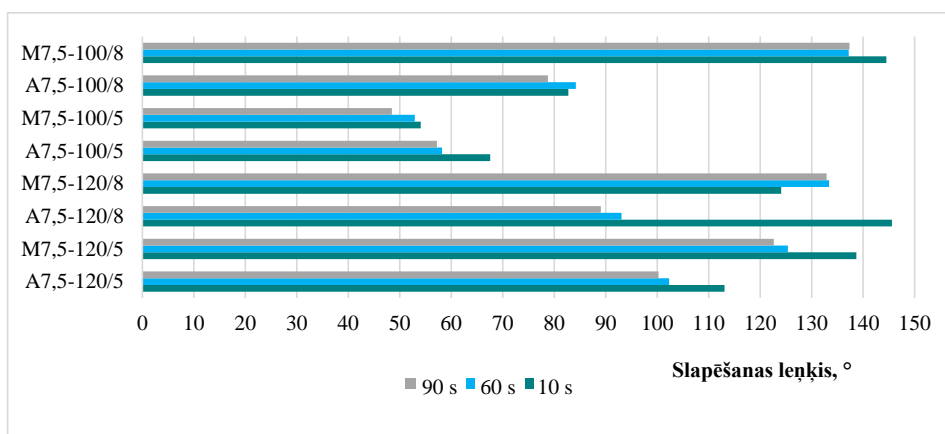


3.14. att. Ar 5 mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas šķēlumi pēc HT apstrādes.

3.14. att. parādīti regresijas vienādojuma (3.1.) grafiskās interpretācijas rezultātā iegūtie Y_{SLI} virsmas 2D šķēlumi, kas ļauj noteikt, ka ar 5 mas.%CAD solu modificētu paraugu augstāko hidrofofija (slapēšanas leņķis 127–129 ° grādi) var nodrošināt kombinējot karsēšanas laiku intervālā 5–5,4 min. ar temperatūru robežās no 119 līdz 120 °C. Pazeminot karsēšanas temperatūru līdz 100–102 °C un saglabājot to pašu karsēšanas laika intervālu slapēšanas leņķis samazinās līdz 111–113°, bet virsma joprojām klasificējama kā hidrofofa, lietošanas procesā kā pašattīroša. Slapēšanas leņķa vērtības vairāk ietekmē karsēšanas temperatūra (x₂ koeficients pozitīvs, pārsniedz x₁ koeficientu), līdzvērtīga ietekme ir arī abu faktoru mijiedarbībai pretējos līmeņos (x₁, x₂ koeficients kļūst pozitīvs, samērojams ar x₂ ietekmi) – lielāka karsēšanas temperatūra kombinācijā ar mazāku laiku nodrošina lielāku slapēšanas leņķi, tātad augstāku hidrofofiju.

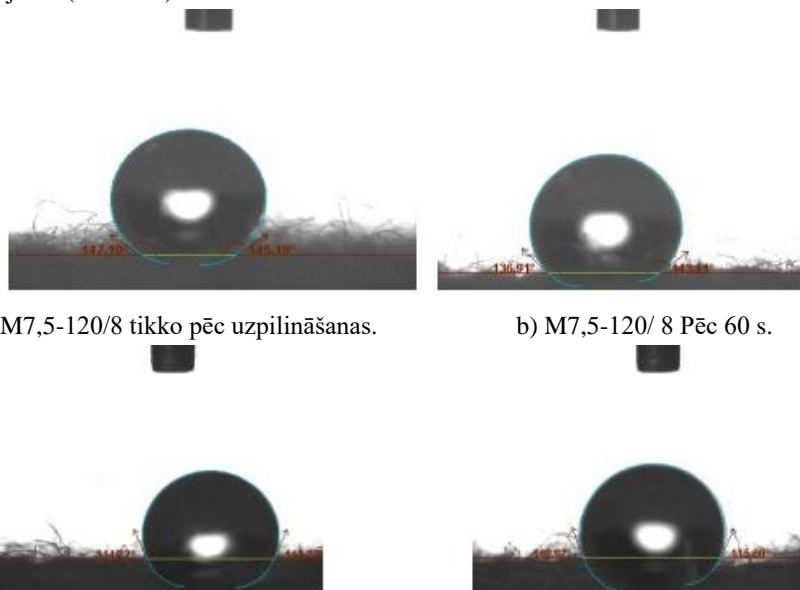
3.4.4. Apstrādes režīms ar 7,5 mas. %CAD koncentrāciju

Pēc modifikācijas ar 7,5 mas.%CAD paraugu virsmas, kas pirms modifikācijas mērcētas acetona (50 % acetona šķīdums/5min), slapējas vairāk nekā tikai mazgātās (3.15. att.). Šāda tendence ir novērota visiem acetona apstrādātajiem paraugiem. Stabīlākie rādījumi ir paraugam M7,5 – 120/8, kura piliena līdzsvara leņķis no uzpilināšanas mirkļa (3.15. att., a) un b)) līdz 60 s saglabājas virs 120°, izmainoties par ±10°. Paraugiem ar karsēšanas režīmu 100 °C rezultāti ir nestabili (3.15. att.) Slapēšanas leņķis jau tikko pēc uzpilināšanas ir zemāks par 90°. Skaidrojams kā neveiksmīgi izvēlēta vieta testam, vai nevienmērīgs pārklājums. Zemie mērījumi paraugiem, kas apstrādāti pie 100 °C bija vērojami abām zeķēm pārī (3.15. att.).



3.15. att. Ar 7,5mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze.

Pēc modifikācijas ar 7,5 mas.%CAD paraugiem, kas karsēti pie 100 °C un 120 °C temperatūras 8 min., ir stabili vidējie līdzsvara slapēšanas leņķi, kas saglabājas robežās virs 100° rādījuma (3.16. att.).



a) M7,5-120/8 tikko pēc uzpilināšanas.

b) M7,5-120/ 8 Pēc 60 s.

c) MM7,5-120/8 tikko pēc uzpilināšanas.

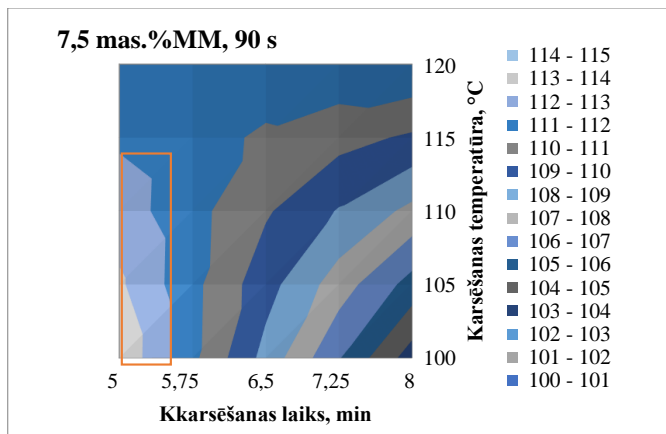
d) MM7,5-120/ 8 pēc 60 s.

3.16. att. Ar 7,5 mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze.

Pēc HT apstrādes virsmas slapēšanas līdzsvara leņķis nostabilizējas (3.17. att), mērījumu vērtības ir par 10° augstākas. Visu paraugu mērījumi saglabājas virs 100° atzīmes. Vienlīdz stabili ir paraugi, kas pēc apstrādes karsēti 5 min., 100 °C un 8 min., 120 °C. Piliens uz parauga MM7,5 - 120/8 virsmas tikko pēc uzpilināšanas un saglabā līdzsvara leņķi 114–110° (3.16. att.,

c) un d)). Visiem paraugiem, kas konsolidēti šajā režīmā, visu testa laiku piemīt stabila, līdzīga virsmas slapējamība.

Vienādojums (3.2.) un tam atbilstošie divu dimensiju šķēlumi (3.17. att.) ļauj paredzēt, ka ar 7,5 mas.%CAD solu modificētu paraugu augstākā hidrofbija (slapēšanas leņķis 112–114°) tiks nodrošināta kombinējot karsēšanas laiku robežās 5–5,4 min. ar temperatūru robežās 100–114 °C.



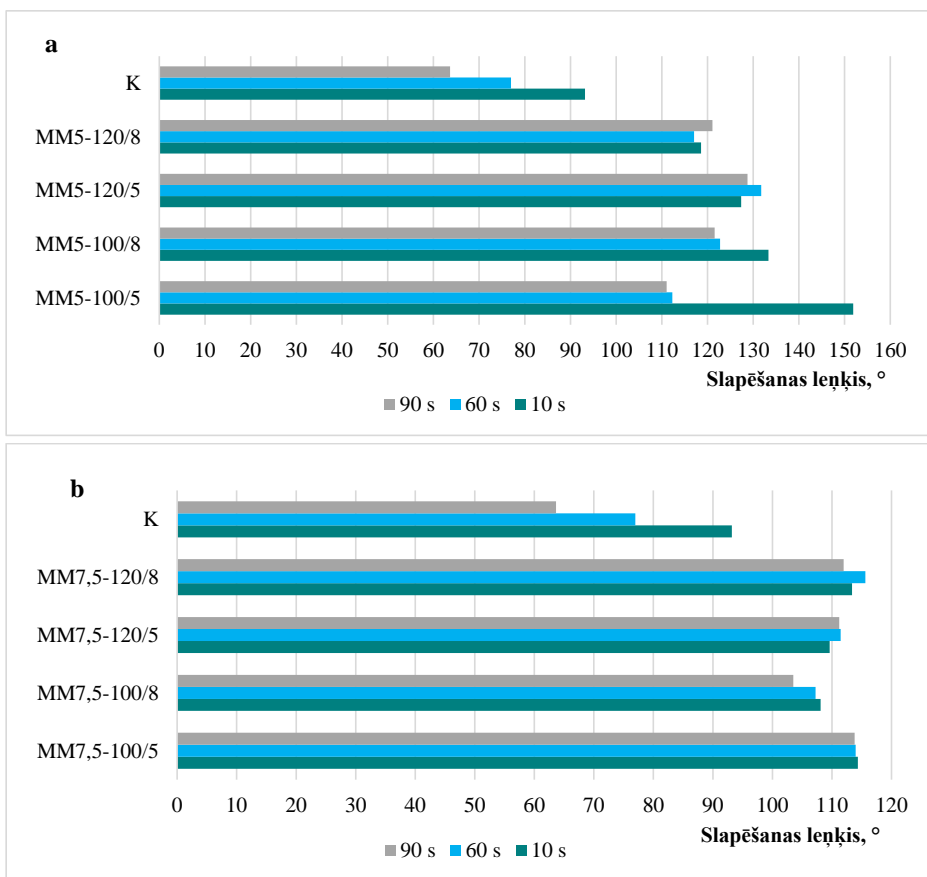
$$\hat{Y}_{SL2} = 110,12 - 2,39 x_1 + 1,47 x_2 - 2,77 x_1 x_2 \quad (3.2.)$$

3.17. att. Ar 5 mas.%CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša analīze pēc HT apstrādes.

Palielinot karsēšanas laiku līdz 7–8 min. un piemērojot karsēšanas temperatūras intervālā 100–111 °C slapēšanas leņķis samazinās 103–108°. Slapēšanas leņķa vērtības šajā gadījumā vairāk ietekmē karsēšanas laiks, līdzvērtīga ietekme ir arī abu faktoru mijiedarbībai (liecina vienādojuma (3.2.) koeficienti) – lielāka karsēšanas laiks kombinācijā ar mazāku temperatūra samazina slapēšanas leņķi, tātad pazemina hidrofbiju.

3.4.3. Prekursora CAD mas. % koncentrācijas ietekme uz trikotāžas virsmas slapējamību

Salīdzinot 3.14., 3.17., 3.18. att., a) un b) grafikus redzams, ka ar 5 mas.%CAD solu modificēto zeķu slapēšanas leņķu izmaiņu diapazons pēc HT apstrādes mainoties karsēšanas laikam un temperatūrai eksperimenta robežās ir pārvietojies augstāku vērtību apgabalu nekā tas ir vērojams ar 7,5 mas.%CAD solu modificēto zeķu grafikos. Kā rāda vienādojumi (3.1.) un (3.2.) un atbalss virsmu šķēlumi 3.14. un 3.17. attēlos, ir mainījies arī faktoru un to mijiedarbības ietekmes raksturs.



3.18. att. Ar 5 mas.% (a) un 7,5mas. % (b) CAD solu modificētu paraugu virsmas slapējamības salīdzinoša 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 100–115°) iespējams tāpēc, ka palielinās pārklājuma biezums samazinoties šķiedru virsmas porainībai.

3.4. Gaisa caurlaidības analīze

Gaisa caurlaidības (GC) mērījumi zeķu izstrādājumiem veikti vienā slānī 10 vietās. Testi veikti pie 30 Pa spiediena starpības trikotāžas abās pusēs. Spiediena starpība samazināta no standartā noteiktā 100 Pa, ņemot vērā, ka adījuma blīvums ir mazs, līdz ar to GC 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 samazinās vidēji zeķes stulmā robežās no 26 līdz 38 %, un pēdā no 19 līdz 28 % (3.3. tab.).

3.3. tabula

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

x ₁	x ₂	Stulms		Pēda		Modifikācijas efekti		Mazgāšanas efekti		Nemodif.-modif.	
		M5	MM5	M5	MM5	stulms	pēda	stulms	pēda	stulms	pēda
Min.	°C										
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 %
Kontrole		801,4		790,53							

Pēc paraugu modifikācijas ar 7,5 mas.%CAD koncentrācijas sola šķīdumu un sekojošās HT apstrādes novērotā GC samazinās vidēji zeķes stulmā no 20–23 %, savukārt pēdā nedaudz vairāk – no 22–28 % (3.4. tab.) ņemot vērā blīvāku adījuma struktūru pēdā.

3.4. tabula

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

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

Lai novērotu mijiedarbības starp karsēšanas temperatūru, laiku un CAD koncentrāciju, eksperimenta atbilstoši I pakāpes pilna faktoru eksperimenta plānam 2³ izveidotie varianti ļauj novērtēt gan temperatūras un fiksēšanas laika iedarbību katram atsevišķi (lineārie efekti) vienādojumā (3.3., 3.4., 3.5.), gan arī izpētīt kā šie pētāmie parametri ietekmē viens otru (mijiedarbības efekti) mainoties CAD koncentrācijai. Pēc eksperimentā iegūtajiem rezultātiem aprēķinātie vienādojumi ļauj vizualizēt GC izmaiņas atkarībā no visiem trim pētāmajiem faktoriem gan kā virsmu 3D telpā (atbalss virsma), gan kā šīs virsmas šķēļumus plaknē (2D šķēļumi):

$$y_{G1} = 694,5 + 6,2x_1 + 22,6x_2 - 39,1x_3 + 7,5x_1x_2 + 3,4x_1x_3 - 13x_2x_3 - 17,2x_1x_2x_3, \quad (3.3)$$

kur: y_G - modificētu izstrādājumu gaisa caurlaidība pēc HT apstrādes, mm/s;

x₁ – termiskās apstrādes temperatūra, °C;

x₂ – termiskās apstrādes laiks, min.;

x₃ – CAD koncentrācija sola šķīdumā, mas.%.

Vienādojuma izpētei lai analizētu apstrādes laika un temperatūras ietekmi, CAD fiksēts apakšējā (CAD 5 mas.%) un augšējā (CAD 7,5 mas.%) līmenī.

Fiksējot $x_3 = -1$ (CAD 5 mas.%):

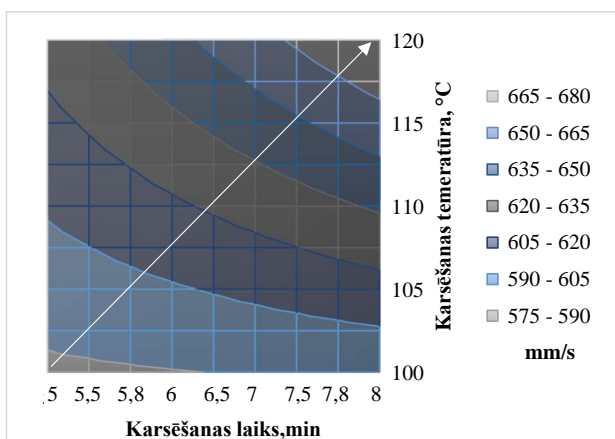
$$y_{G2} = 21,7 - 0,96 x_1 - 0,46 x_2 - 0,37 x_1 * x_2, \quad (3.4.)$$

Fiksējot $x_3 = 1$ (CAD 7,5 mas.%):

$$y_{G3} = 18,90 + 0,50x_1 - 0,50x_2 - 1,33x_1 * x_2. \quad (3.5.)$$

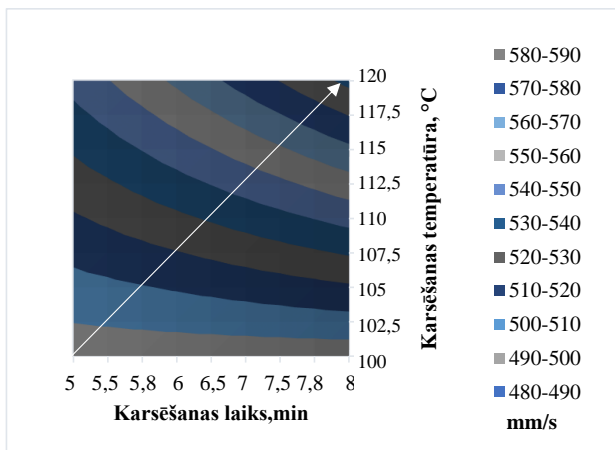
3.4.1. Apstrādes režīms ar 5mas.%CAD koncentrācijas solu

Modificējot ar 5 mas.%CAD solu iegūto zeķu paraugu GC atrodas robežās no 587 līdz 681 mm/s (16 %) un ir samazinājusies salīdzinājumā ar nemodificēto paraugu GC 804 mm/s. Lielāko GC apskatītajās laika-temperatūras robežās (665–680 mm/s.) var sasniegt kombinējot 119–120 °C temperatūru ar karsēšanas laiku robežās no 7,9 līdz 8 min. (3.20. att.), tādējādi modifikācijas procesā poru izmēru samazinājuma rezultātā GC samazinājums vērtējams ~19–20 % robežās.



3.19. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 5 mas.%CAD modificētas zeķes stulmā.

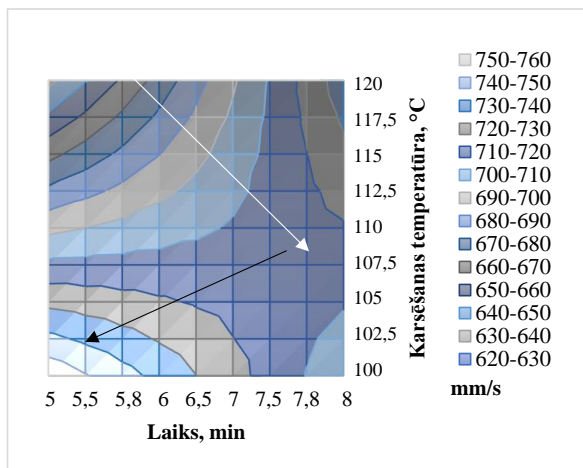
Pēc HT apstrādes eksperimenta konsolidējoties pārklājumam šķiedru poru izmēri turpina samazināties, rezultātā gaisa caurlaidības izmaiņu intervāls no 494 līdz 593 mm/s (20 % robežās) ir pārbīdījies uz mazākām GC vērtībām. Salīdzinājumā ar nemodificēto 804 mm/s GC vidēji samazinājusies par 32 %, kas ir lielāka nekā austu drānu gadījumā [102].



3. 20. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 5 mas.%CAD modificētas zeķes stulmā pēc HT apstrādes.

Labāku modificēto un HT apstrādāto zeķu GC saglabāšanu var sasniegt, karsējot 7,5–8 min. temperatūrā no 116–120 °C (3.20. att.). Nākošie apgabali arī uzrāda pietiekami labu GC, kas dod iespēju izvēlēties gan temperatūru, gan karsēšanas laiku plašākās robežās, vadoties pēc ekonomiskiem vai citiem apsvērumiem.

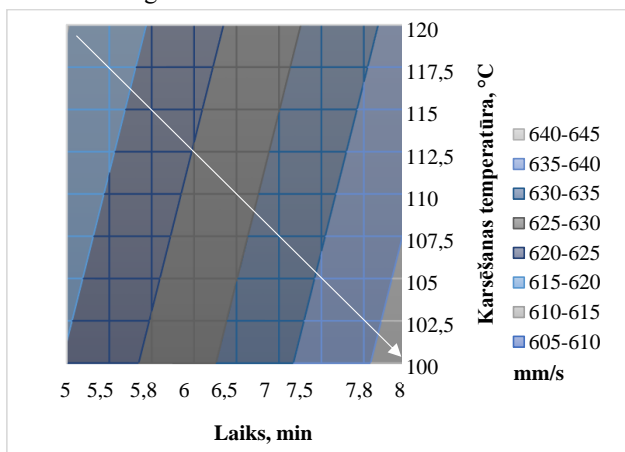
3.4.2. Apstrādes režīms ar 7,5mas.%CAD koncentrāciju



3. 21. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 7,5 mas.%CAD modificētas zeķes stulmā.

GC ar 7,5 mas.%CAD pārklātu zeķu stulmā yG4 sasniedz eksperimenta robežās lielāko vērtību kombinējot pēcapstrādes temperatūru 100–102 °C ar laiku 5–5,5 min., (atbalss virsma sedlu tipa, ar centru eksperimenta apgabalā (3.22. att).

Tā kā nanolīmeņa pārklājums izoderē šķiedru poras, HT apstrādes rezultātā samazinoties poru izmēriem GC yG5 zeķes stulmā samazinās (3.21. att.). Lielākā paliekošā gaisa caurlaidība piemīt zeķēm, kas karsētas 5 min. 120 °C temperatūrā; vienlaicīgi palielinot temperatūru un laiku tiek sasniegts zemākais GC līmenis.



3.22. att. Karsēšanas temperatūras un laika ietekme uz GC ar 7,5 mas%. CAD modificētas zeķes stulmā pēc HT apstrādes.

Ar 7,5 mas.%CAD modificēto un HT apstrādāto zeķu GC izmantojot apskatītos karsēšanas režīmus mainās robežās no 615 līdz 642 mm/s (3–18 %) vidēji par 12 % salīdzinājumā ar nemodificētajiem paraugiem (804 mm/s). 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 nākošajā pētījumu etapā koncentrējoties uz 7,5 mas.%CAD sola lietojumu, tā kā GC samazinājumu var turēt robežās līdz 10% kombinējot karsēšanas temperatūru 100–105 °C ar karsēšanas laiku 7,8–8 min.

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

3.5. CO/PA zeķu izstrādājumu tvaika caurlaidība

Ar acetona priekšapstrādi modificēto zeķu tvaika caurlaidības (TC) izmaiņas atkarībā no modificēšanas procesa parametriem (karsēšanas laika, temperatūras un CAD mas.% koncentrācijas) apraksta vienādojums:

$$Y_{TA} = 5,49 - 0,01 x_1 - 0,08 x_2 - 0,16 x_3 - 0,16 x_1 x_2 - 0,06 x_1 x_3 - 0,1 x_2 x_3 - 0,11 x_1 x_2 x_3 \quad (3.6.)$$

Ar HT priekšapstrādi modificēto zeķu TC izmaiņas atkarībā no modificēšanas procesa parametriem apraksta vienādojums:

(3.7.)

$$Y_{TM} = 5,41 + 0,04 x_1 + 0,07 x_2 + 0,05 x_3 + 0,02 x_1 x_2 + 0,15 x_1 x_3 - 0,08 x_2 x_3 - 0,07 x_1 x_2 x_3$$

Kur: Y_{TA} – modificēto paraugu gaisa caurlaidība ar acetona priekšapstrādi, Pa.m2.W-1;

Y_{TM} – modificēto paraugu gaisa caurlaidība ar HT priekšapstrādi, Pa.m2.W-1;

x_1 – termiskās apstrādes temperatūra, °C;

x_2 – termiskās apstrādes laiks, min;

x_3 – CAD koncentrācija šķīdumā, mas. %.

Sekojošā vienādojumu (3.6.) un (3.7.) matemātiskās transformācijas izpēte un atbilstoša vizualizācija 2D šķēlumu formā, ļauj iegūt detalizētu informāciju par visu trīs faktoru ietekmi uz zeķu izstrādājumu TC un izvēlēties optimālus karsēšanas režīmus CO/PA piemītošās TC saglabāšanai.

Regresijas vienādojumi un atspoguļo karsēšanas laika un temperatūras ietekmi uz adījuma TC atkarībā no veiktās priekšapstrādes zeķu izstrādājumu attīrīšanai attiecīgi ar acetonu (vien. 3.8.) un HT (vien. 3.9.), izmantojot 5 mas. %.

$$Y_{TA1} = 5,36 - 0,11 x_1 + 0,16 x_2 + 0,09 x_1 * x_2 \quad (3.8.)$$

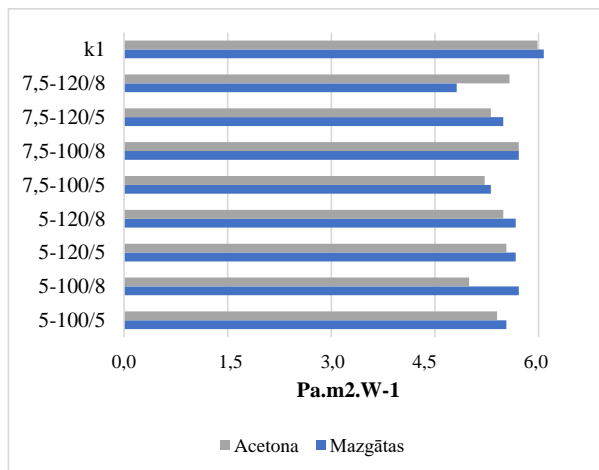
$$Y_{TM1} = 5,65 + 0,04 x_1 + 0,02 x_2 - 0,04 x_1 * x_2 \quad (3.9.)$$

Karsēšanas temperatūrai (x_1) abos CAD koncentrācijas gadījumos, ir lielāka ietekme uz rezultātiem, ja paraugi iepriekš apstrādāti ar acetonu, ko parāda regresijas vienādojumi (3.8.) un (3.10.) Abu faktoru mijiedarbībai (x_1 un x_2) nav ievērojamas ietekmes uz mērījumu rezultātiem.

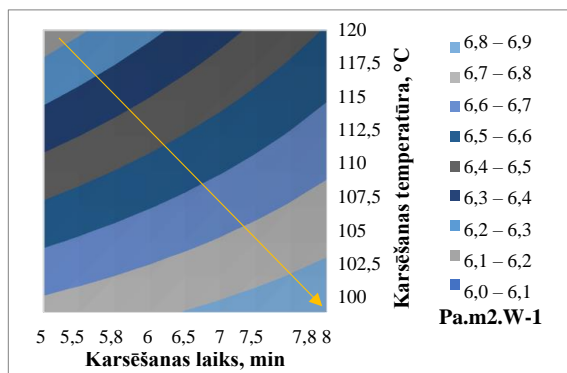
$$Y_{TA2} = 5,46 + 0,19 x_1 - 0,01 x_2 - 0,06 x_1 * x_2 \quad (3.10.)$$

$$Y_{TM2} = 5,33 - 0,07 x_1 - 0,18 x_2 - 0,27 x_1 * x_2 \quad (3.11.)$$

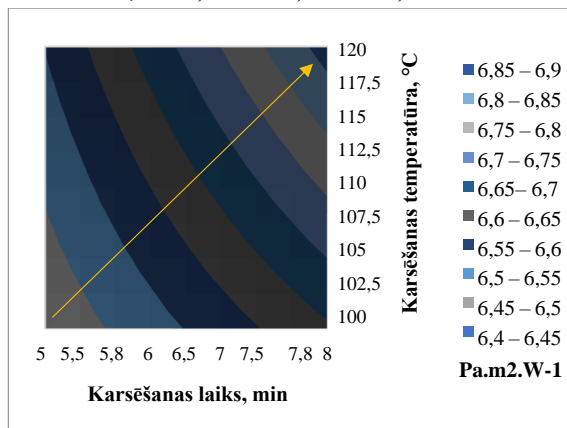
HT priekšapstrādāto TC rezultātus vairāk ietekmēja termiskās pēcapstrādes laiks (x_2). TC mērījumi visos modificēšanas variantos ir mainīga, vidējais samazinājums ar acetona un HT priekšapstrādi (attiecīgi 9,7 % un 9,6 %) praktiski neatšķiras.



3.23. att. Vidējo TC mērījumi visām paraugu grupām pēc gala HT apstrādes.



a) $YTMM1 = 6,56 + 0,13 x_1 - 0,24 x_2 + 0,06 x_1 * x_2$ (3.12.)



b) $YTMM2 = 6,63 + 0,13 x_1 + 0,08 x_2 + 0,03 x_1 * x_2$ (3.13.)

3.24. att. TC mērījumi pēc HT apstrādes paraugiem kas modificēti ar a) 5 mas.%CAD un b) 7,5 mas.%CAD solu.

Salīdzinot vienādojumus (3.6.) un (3.7.) ir acīmredzamas atšķirības trīs neatkarīgo mainīgo mijiedarbībā atkarībā no paraugu priekšapstrādes pirms modifikācijas. Attēla grafikos un pievienotajos vienādojumos atspoguļotie detalizētas matemātisko modeļu izpētes rezultāti 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 modificēto paraugu gadījumā kombinējot 120 °C un 8 min. nodrošina labākus tvaika caurlaidību.

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

3.6. Siltumpretestība

Priekšapstrādes, karsēšanas laika un temperatūras mijiedarbības ietekme uz siltuma pretestību (SP) aprakstīta analītiski ar pirmās pakāpes nepilniem polinomiem un atbalss virsmas šķēlumiem, fiksējot sola modifikatora CAD koncentrāciju, kur: Y_{SA1} un Y_{SA2} - siltuma pretestība, ja paraugi pirms modifikācijas apstrādāti ar acetona šķīdumu un sols modificēts attiecīgi ar 5 mas.% un 7,5 mas.%CAD;

Y_{SM1} un Y_{SM2} - SP, mK.m2.W-1; ja paraugi pirms modifikācijas pakļauti HT apstrādei un sols modificēts attiecīgi ar 5 mas.% un 7,5 mas.%CAD;

x_1 – termiskās apstrādes laiks, min.;

x_2 – termiskās apstrādes temperatūra, °C.

3.6.1. Ar 5 mas.% un 7,5 mas.%CAD solu apstrādātu paraugu siltumu pretestības salīdzinošā analīze

Salīdzinot koeficientus vienādojumos (3.14.) un (3.15.) redzams, ka ar acetona priekšapstrādi modificēto paraugu SP vairāk ietekmē karsēšanas temperatūra – palielinoties temperatūrai SP strauji samazinās, sasniedzot minimālo vērtību temperatūras intervālā 119–120 °C kombinācijā ar karsēšanas laiku intervālā 5–5,8 min.

$$Y_{sA1} = 50,61 + 1,26 x_1 - 9,14 x_2 + 1,58 x_1 * x_2 \quad (3.14.)$$

$$Y_{sM1} = 55,48 + 3,77 x_1 - 6,42 x_2 + 2,93 x_1 * x_2 \quad (3.15.)$$

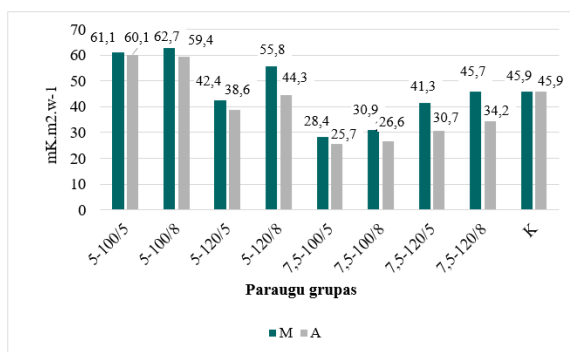
Savukārt lielākās SP vērtības tiek sasniegtas ar HT priekšapstrādi temperatūras intervālā 100–102 °C kombinācijā ar karsēšanas laiku intervālā 7–8 min. Kopumā no SP skata punkta adīto paraugu priekšapstrāde ar acetona šķīdumu nav efektīva, drīzāk efekts ir negatīvs, ja sola modificēšanai lietots 5 mas.%CAD.

$$Y_{sA2} = 29,30 + 1,10 x_1 + 3,17 x_2 + 0,62 x_1 * x_2 \quad (3.16.)$$

$$Y_{sM2} = 36,57 + 1,72 x_1 + 6,92 x_2 + 0,48 x_1 * x_2 \quad (3.17.)$$

(3.16.) un (3.17.) vienādojumi liecina, ka arī veicot modifikāciju ar 7,5 mas.%CAD solu karsēšanas temperatūras (x_1) ietekme ir noteicoša, bet atšķirībā no 5 mas.% sola ir paplašinājušies intervāli uz zemākām SP robežām un lielāka SP atbilst temperatūras intervālam 117–120 °C kombinācijā ar karsēšanas laiku (x_2) intervālā 7–8 min, tikai ar acetona priekšapstrādi SP šajā intervālā ir zemāka nekā ar HT pirmsapstrādi apstrādi.

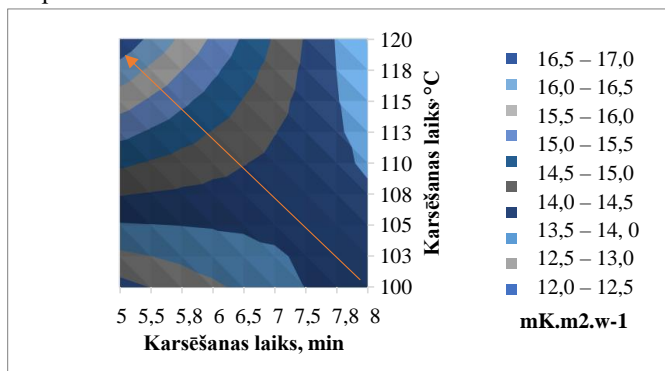
Kopumā salīdzinot visu variantu un arī nemodificētu paraugu SP paraugu grupā, kas modificēta ar 5 mas.%CAD koncentrāciju acetona mērcētām zeķēm ir par 8,7 % mazāka SP nekā pirms modifikācijas mazgājamiem paraugiem. Visaugstākā siltuma pretestība novērota paraugam M7,5-120/8 – 45,7 mK.m2.W-1 . Paraugiem, kas modificēti ar 7,5 mas.% CAD koncentrāciju acetona mērcētās zeķu siltuma pretestība ir par 19 % zemāka.



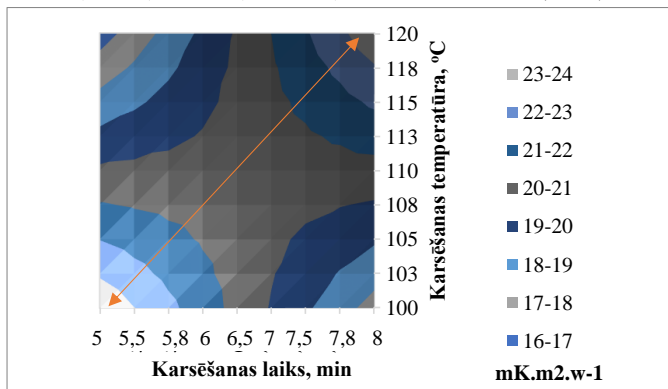
3.25. att. Nemodificētā un modificēto paraugu SP salīdzinošā analīze.

3.6.2. Ar 5mas.% un 7,5mas.%CAD solu apstrādātu paraugu siltumu pretestības salīdzinošā analīze pēc hidrotermiskās apstrādes

3.26. attēla vienādojumi (3.18.), (3.19.) un attiecīgie virsmu šķēļumi ļauj izsekot būtiskām modificēto paraugu SP izmaiņām pēc HT apstrādes: SP izmaiņu diapazoni pārvietojusies uz stipri zemāku vērtību robežām, pie tam ar 7,5 mas.%CAD solu modificēto paraugu SP iekļaujas lielāku vērtību diapazonā.



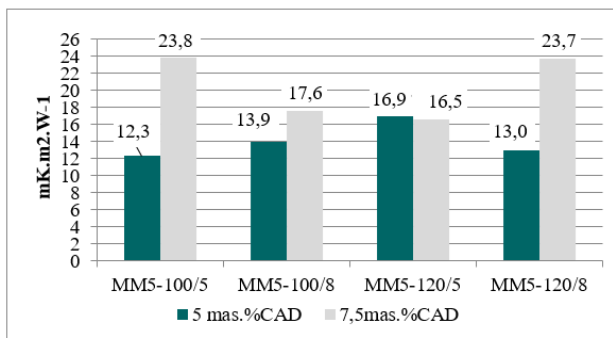
a) $Y_{sMH1} = 14,02 - 0,58 x_1 + 0,91 x_2 - 1,38 x_1 * x_2$ (3.18).



b) $Y_{sMH2} = 20,41 + 0,24 x_1 - 0,30 x_2 + 3,33 x_1 * x_2$ (3.19).

3.26. att. SP mērijumi pēc HT apstrādes paraugiem kas modificēti ar a) 5 mas.%CAD un b) 7,5 mas.%CAD solu.

Eksperimenta robežās MM5 variantā lielākā SP (16-14) mK m2 W-1 atbilst iegūstama karsējot 118–120 °C 5–5,8 min. Tai pat laikā ar 7,5 mas.%CAD solu modificēto paraugu SP robežās (21–24) mK m2 W-1 var iegūt gan karsējot pie 100–107 °C 5–6 min., gan 111–120 °C 7–8 min.



3.27. att. Siltuma pretestība 5 mas.% CAD, 7,5 mas.% CAD solu modificētiem paraugiem pēc hidrotermiskās apstrādes.

Ar 7,5 mas.%CAD solu apstrādātajiem paraugiem ir par 31% lielāka siltuma pretestība nekā ar 5 mas.%CAD koncentrācijas apstrādes šķīdumiem (3.27. att.). Pēc mazgāšanas samazinās siltuma pretestība salīdzinājumā ar attiecīgo rādītāju pirms mazgāšanas. Šīs izmaiņas būtu attiecināms uz izmaiņām pārklājuma struktūrā un virsmas adhēzijas pastiprināšanos HT apstrādes procesā.

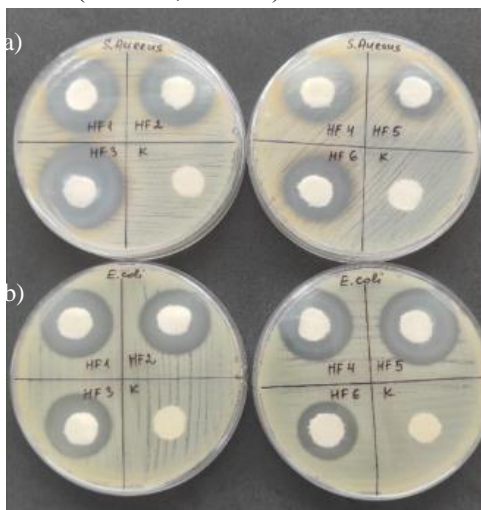
3.7. Antibakteriālās aktivitātes novērtēšana

Pētījumam pakļautas baltas gludpinuma šķērsadītas trikotāžas zeķes ar sekojošu sastāvu: 81 % ekoloģiski audzēta kokvilna un 19 % poliamīds. Paraugiem (HF), kā katalizators sola sintēzē izmantota fluorūdeņražskābe, paraugiem (E) – etiķskābe un abām grupām 7,5 mas.%

CAD koncentrācija. Visi paraugi pirms modificēšanas mazgāti un pakļauti termiskajai pēcapstrādei: 8 min., 120 °C. Kā kontroles paraugs (K), izmantota nemodificēta mazgāta tekstilija.

Lietojot diska difūzijas metodi modificēto tekstiliju antibakteriālā efektivitāte noteikta pret 2 references kultūrām: grampozitīvo *Staphylococcus aureus* ATCC 2913 un gramnegatīvo *Escherichia coli* ATCC 25922. Antibakteriāla efektivitāte noteikta novērtējot inhibīcijas zonas diametru (3.5. tab.).

Paraugiem, kas modificēti ar solu, kura sastāvā fluorūdeņraža skābe HF, novērota laba antibakteriālā iedarbība pret abiem testētajiem mikroorganismiem (3.28. att.). Visiem sešiem HF paralēļajiem paraugiem antibakteriālās aktivitātes zonas diametrs pret *st. aureus* variē robežās no 21 līdz 31 mm (vidēji 27 mm) un robežās no 22 līdz 30 mm pret *e. coli* (vidēji 26 mm) (3.5. tab.), netika novērots arī apaugums zem paraugu diskiem. Kā redzams 3.28. attēlā kontroles paraugi neuzrāda antibakteriālu aktivitāti pret abiem mikroorganismiem. No paraugiem, kas modificēti ar solu, kura sastāvā etiķskābe, antibakteriālā aktivitāte apstiprinājās tikai vienā no 6 paralēļajiem mērījumiem – to aplicina paraugu grupa E4 pret abiem pētījumā iekļautajiem mikroorganismiem (3.29. att., 3.5. tab.).



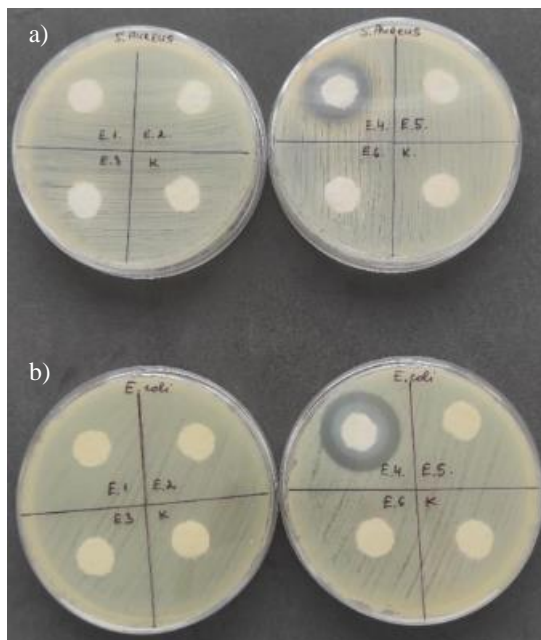
3.28. att. Modificētu (HF) un nemodificētu paraugu antibakteriālā aktivitāte pret: a) *Staphylococcus aureus* ATCC 2913 un b) *Escherichia coli* ATCC 25922.

3.5. tabula

Antibakteriālās iedarbības efektivitātes mērījumi

Parauga marķējums	Antibakteriālās iedarbības zona Ø, mm	
	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 2913	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922
HF1	28 mm	27 mm
HF2	27 mm	26 mm
HF3	31 mm	25 mm
HF4	27 mm	27 mm

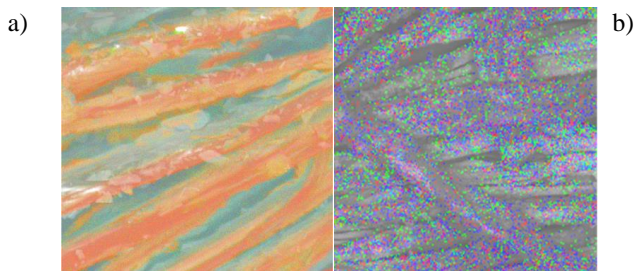
HF5	21 mm	30 mm
HF6	25 mm	22 mm
E 1	0 mm	0 mm
E 2	0 mm	0 mm
E 3	0 mm	0 mm
E 4	23 mm	27 mm
E 5	0 mm	0 mm
E 6	0 mm	0 mm
K	0 mm	0 mm



3.29. att. Modificētu (E) un nemodificētu paraugu antibakteriālā aktivitāte pret: a) *Staphylococcus aureus* ATCC 2913 un b) *Escherichia coli* ATCC 25922.

Tas liek domāt, ka HF sola-gēla procesā kalpo ne tikai kā katalizators un nepieciešamā PH sola līmeņa nodrošināšanai, bet arī piedalās aktīvu fluoru saturošu ķīmisko grupu veidošanā, kas nodrošina pārklājuma daudzfunkcionālas īpašības. To apliecina arī spektru (3.4. att.) un diferenču spektru analīze (3.6. att.), EDX analīzē konstatētās virsmu modificējošo elementu procentuālās masas koncentrācijas pēc pārklāšanas un hidrotermiskās apstrādes (4.1. tab.) un

S. Vihodecevas veiktie apjomīgie pētījumi [102] par elementu proporcijām un izvietojumu uz modificētās kokvilnas drānas virsmas, kas modificēta ar HF saturošu solu (3.30. att.).



3.30. att. Ķīmisko elementu **F**, **Si**, **Zn** sadalījums uz CO tekstilijas šķiedrām (5mas.%CAD sols. Termiskā pēcapstrāde a) 120 °C, 2 min., b) 90 °C 30 min [102].

Saistībā ar HF aizvietošanu ar etiķskābi balstoties uz antimikrobiālo testu rezultātiem jāsecina, ka tas nav mērķtiecīgi, ja funkcionalizācijas rezultātā paredzēts nodrošināt *CO/PVA* platinētas gludpinuma trikotāžas antimikrobiālu efektu pret apskatītajām baktērijām.

Trešās nodaļas kopsavilkums un secinājumi

1. Rūpnieciski šķērsadīti jaukta šķiedru sastāva (81 % CO, 19 % PA) gludpinuma trikotāžas zeķu izstrādājumi modificēti ar TEOS prekursora solu tajā integrējot kā modificējošu prekursoru 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.

2. 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 nano-mēroga pārklājumam ar raupju virsmas struktūru, nodrošinot hidrofobas virsmas īpašības: robežās no 110–130° izmantojot 5 mas.% CAD koncentrāciju.

–salīdzinoša *ATR-FTIR* spektru analīze liecina, ka uznestais modificējošais pārklājums ir gan uz kokvilnas, gan uz PA šķiedrām (smailis 1538 un 1634 cm^{-1}), jo vērojama samazināta absorbcijas intensitāte frekvenču joslās 400–700 cm^{-1} , 950–1150 cm^{-1} , 2850–2952 un 3170–3470 cm^{-1} un ļauj izsekot izmaiņu intensitāti, kā arī identificēt pārklājuma funkcionālās ķīmiskās grupas ņemot vērā, ka ierobežotās karsēšanas temperatūras dēļ sola-gēla procesā iegūtajam pārklājumam ir amorfa struktūra un tajā ķīmiskos savienojumus ir sarežģīti identificēt;

–salīdzinoša diferencu 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 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 salīdzinošas analīzes rezultātā konstatēts:

–hidrotermiskā paraugu priekšapstrāde ir vēlamāka par apstrādi adīto paraugu virsmas attīrīšanai 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 modificētās virsmas ir klasificējamās kā hidrofobas. Savukārt ar acetonu apstrādātie paraugu slapēšanas līdzsvara leņķi nepārsniedz 90° vai ir nestabili –uznestais pārklājums nenodrošināt virsmai 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* ATTC 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 salīdzinoša analīze:

–gaisa caurlaidība pēc modifikācijas ar 5 mas.%CAD solu un pirmās hidrotermiskās apstrādes zeķu izstrādājuma stulmā samazinās par 26–38 % un pēdā no 19–28 %, modificējot ar 7,5 mas.%CAD samazinājums stulmā ir 20–23 % un pēdā no 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 robežās no 7,8 līdz 8 min.

–pēc hidrotermiskās gala apstrādes pārklājumam konsolidējoties gaisa caurlaidības vērtības pārvietojas uz zemāku intervālu robežās no 494–593 mm/s.

–kombinējot karsēšanas temperatūru 100–105 °C ar laiku no 7 līdz 8 min var nodrošināt gaisa caurlaidības samazinājumu pēc hidrotermiskās apstrādes tikai 10 % robežās salīdzinājumā 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.% tendence ir pretējus rezultātus var sasniegt lietojot šādu režīmu – augstāko temperatūru un karsēšanas laiks – 120 °C/ 8 min.

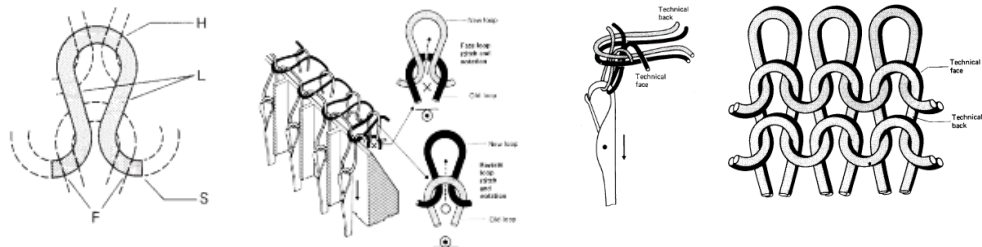
–Kopumā hidrotermiskā priekšapstrāde ir pietiekama, kamēr acetona priekšapstrāde uzrādīja negatīvu ietekmi uz rezultātiem.

–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

Tradicionāli T-kreklu un zeķu izstrādājumu izgatavošanai lieto šķērsadītās [122] 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).

Savienojot adīšanas procesā dažādos pavedienus un regulējot to nostiepuma attiecības iegūts platinēts trikotāžas adījums, kā tas ir svarīgi paredzēto funkcionālo īpašību nodrošināšanai: uz virsmas, kas valkāšanas procesā ir saskarē ar ādu, pārsvarā ir modificētas kokvilnas pavedienu veidotie valdziņu loki H, uz ārējās virsmas pārsvarā poliamīda vai/un poliestera ar elastānu kombinētu pavedienu valdziņu stabiņi L (4.1. att.), nodrošinot nepieciešamo nodilumizturības līmeni.



- a) Adatas cilpas savienošanās punkti. b) Kreisās un labās puses valdziņu veidošanās. c) Platinēta adījuma valdziņu un virsmu veidošana.

4.1. att. Šķērsadītās platinētas trikotāžas izstrāde uz apaļadīšanas automāta [122].

Tehniski to nodrošina ievērojot platinēšanas pamatnoteikumus (4.1. att.): adījuma struktūru veido cilpas, kas sastāv no diviem (vai vairākiem) pavedieniem, parasti ar atšķirīgām fizikālām īpašībām. Katrs no tiem ir padots uz adīšanas zonu atsevišķi caur savu vadotni, lai ietekmētu tā attiecīgo stāvokli attiecībā pret virsmu (adījuma tehnisko virsmu un tehnisko aizmuguri). Dzija, kas novietota vistuvāk adatas galviņai, parādās adatas cilpas pretējā pusē un tāpēc adījumā redzama uz tehniskās aizmugures virsmas [122].

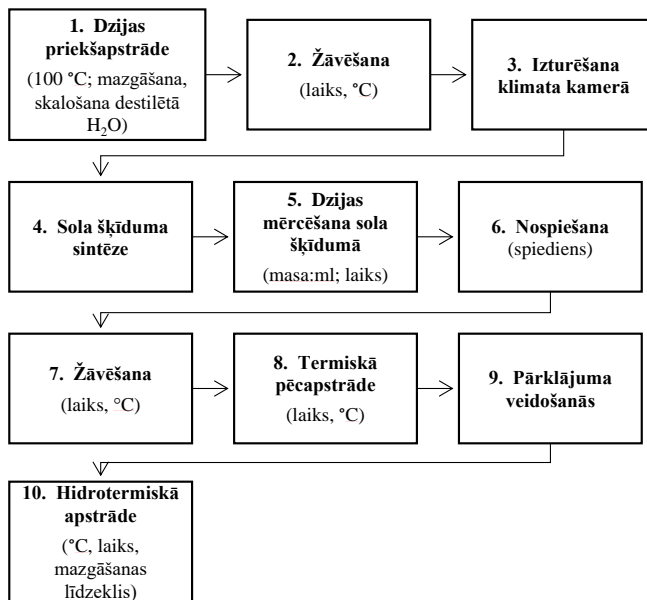
4.1. Kokvilnas dzijas modifikācija

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 modificēto dziju ar nemodificētiem poliamīda/poliestera un elastāna pavedieniem, paredzot adīšanas mašīnas vadības programmā iekļaut apakšprogrammas sensoru un elektrovadošo pavedienu ieadīšanai.

4.1.1. Dzijas sagatavošana un modifikācija

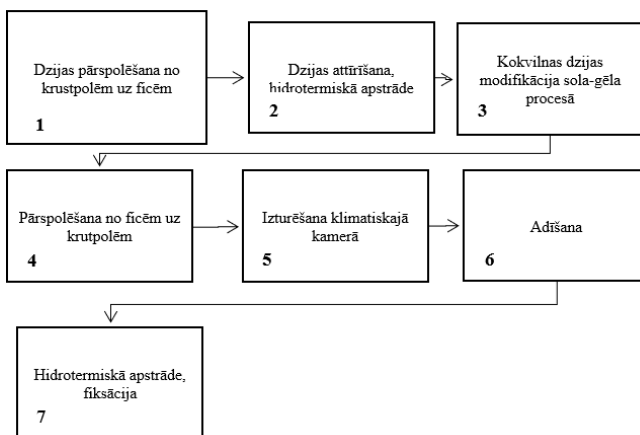
Sagatavojot modificēšanai rūpnieciski ražota melna 100 % kokvilnas ķemmdzija (lineārais blīvums 24 tex) no krustpolēm pārspolēta uz ficēm, lai nodrošinātu brīvu modificējošā šķīduma cirkulāciju apstrādes procesā. Pirms iemērķšanas sola šķīdumā ficēs tītie pavedieni sadalīti šķipsnās, tās regulāros intervālos pārsietas ar vaļīgām saitēm pavedienu pasargāšanai no salipšanas modifikācijas procesā. Sagatavotās dzijas fices pakļautas apstrādei sola-gēla procesā piemērojot sola sastāvu un tehnoloģiju (skatīt metodisko daļu 2.1.), variējot CAD saturu un iemērķšanas laiku solā, kā arī termiskās pēcapstrādes temperatūru un karsēšanas ilgumu. Izmantojot 7,5 mas.%CAD solu un variējot šķīduma proporciju (paraugu svars (g) pret šķīduma daudzumu (ml) un iemērķšanas laiku. Izmantotā termiskā pēc apstrāde 120 °C un 5 min.

Modificētās kokvilnas dzijas iegūšanas process sadalīts 10 soļos (4.2. att.) paredzot rūpnieciski iegūtas dzijas intensīvu attīrīšanu no kokvilnas šķiedrām dabiskā pārklājuma, dzijas iegūšanas tehnoloģiskajā procesā uznestām apritēm (1. un 2. solis), izturēšanu klimatiskajā kamerā kontrolējama mitruma satura nodrošināšanai (3. solis), sola šķīduma sintēze paredzamo funkcionālo īpašību nodrošināšanai (4. solis), dzijas modifikācija (5. līdz 9. operācijai) kā pēdējo paredzot obligātu HT apstrādi (10. solis) kā pārklājuma konsolidācija procesa noslēgumu.



4.2. att. Kokvilnas dzijas modifikācijas tehnoloģiskā secība [123].

4.1.2. Trikotāžas ar integrētu modificētas dzijas komponenti izstrāde



4.3. att. Trikotāžas izstrādājumu ar integrētu modificētas dzijas komponenti izgatavošanas blokshēma [123].

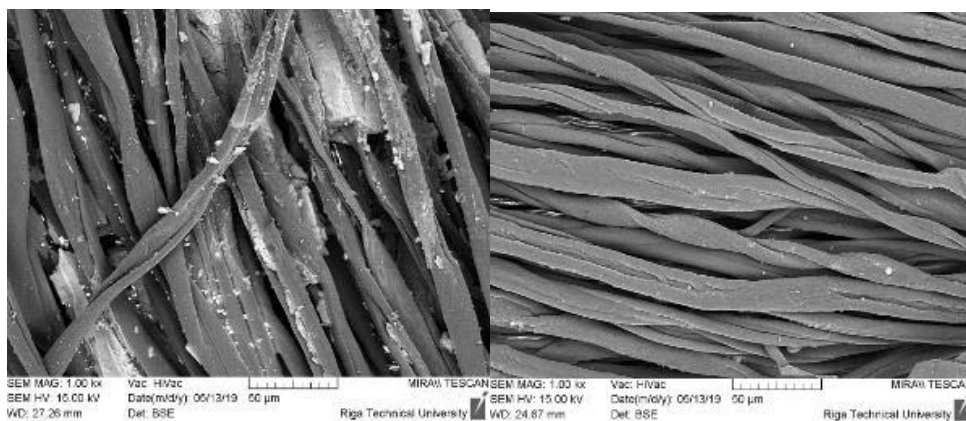
4.3. attēla blokshēmā iekļautas tādas papildoperācijas kā kokvilnas dzijas sagatavošana modifikēšanai pārpolējot no krustpolēm uz ficēm (1. operācija) ar sekojošu attīrīšanu (2. operācija) un modifikāciju (3. operācija) kā parādīts 4.2. attēla shēmā, pārpolēšana no ficēm uz krustpolēm nodrošinot adīšanai atbilstošu uztinumu un izturēšana klimatiskajā kamerā (4. un 5. operācija), 6. operācijā visas paredzētās pavedienu komponentes, t. sk.

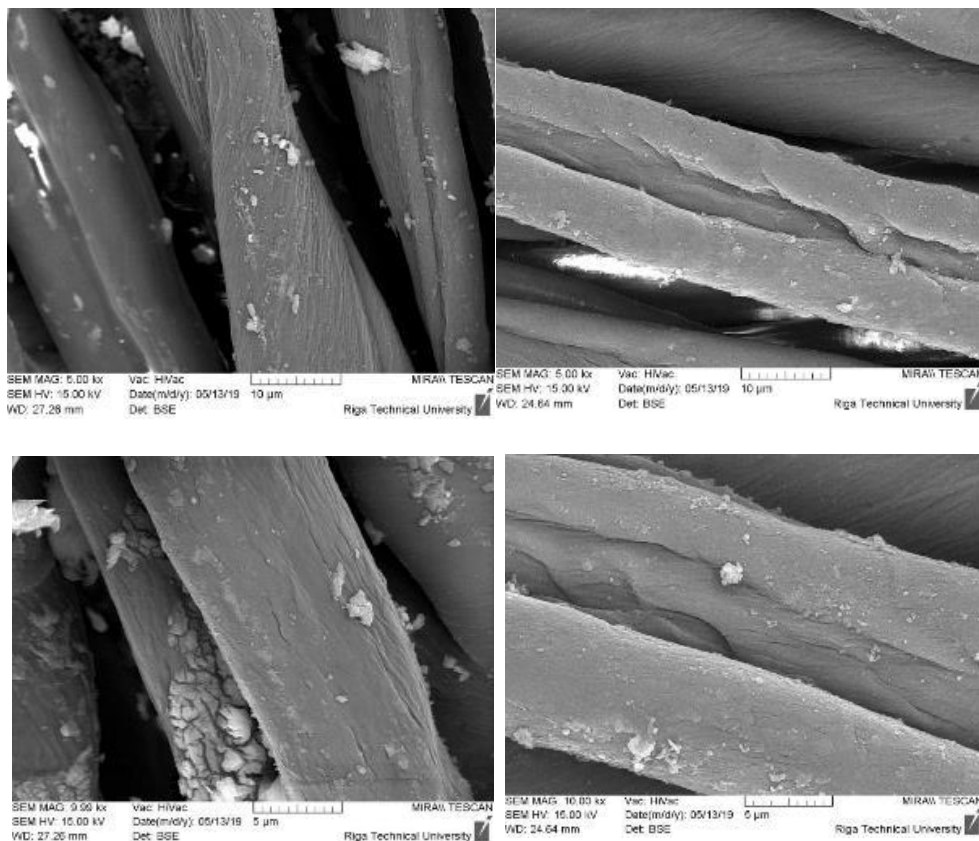
modificētā kokvilnas dzija nonāk uz adīšanas mašīnas spoļu turētājiem un caur saviem pavedienu vadītājiem ar nepieciešamo nostiepumu atbilstoši izgatavošanas vadības programmas komandām tiek padotas uz adīšanas zonām.

Ņemot vērā, ka līdz šim izstrādātā tehnoloģija [102] attīstīta kokvilnas audumu modificēšanai, tehnoloģijas piemērošana dzijai, kas apstrādes procesā nav nopriegota 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 stabilitātes, uzņestā sastāva apjomu un īpašību izmaiņas, kas ietekmē adīšanas tehnoloģiskā procesa norisi.

4.1.3. Uzņestā modificējošā dzijas pārklājuma izpēte

Salīdzinot 4.4. attēla SEM mikrogrāfijas nav grūti redzēt, ka laboratorijas apstākļos ir grūti uzklāt vienmērīgi uz kokvilnas dzijas modificējošo pārklājumu, rezultātā veidojas aglomerāti – apgabali ar sabiezējumiem (4.4. att., pa kreisi), kas pirmās HT apstrādes procesā daļēji vai pilnībā konsolidējas ar virsmu. Ja sabiezējumi ir masīvi, pārklājuma sasaiste ar virsmu nav pietiekosa, tie var daļēji pāriet mazgāšanas šķīdumā. SEM mikrogrāfijās (4.4. att., pa labi) redzams, ka uz virsmas pie 1–10 tūkstoškārtīga palielinājuma atlikuši neliela izmēra, reti izvietoti aglomerāti uz vienmērīga šķiedru virsmas pārklājuma fona.





a) M/1:10/10

b) M/W/1:10/10

4.4. att. Salīdzinošas pavedienu šķiedru mikrogrāfijas a) pēc modificēšanas un b) pēc modificēto paraugu HT apstrādes pie dažādiem palielinājumiem.

4.1. tabulā sakopotais 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.

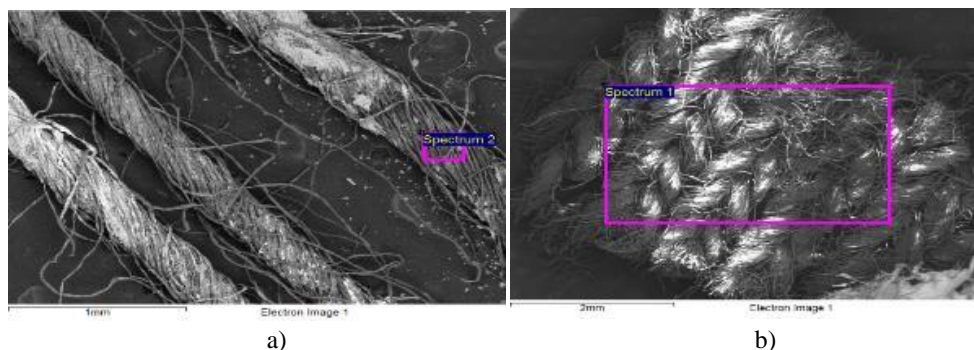
HT apstrādes procesā no lietotā ūdens pārklājumā konstatēts Ca, savukārt Al vai Cu parādās, ja paraugu žāvēšanas procesā tie saskaras ar foliju vai ar attiecīgā metāla paraugu turētāju.

EDS analizē uz virsmas konstatēto ķīmisko elementu relatīvās mas.% (variants 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				

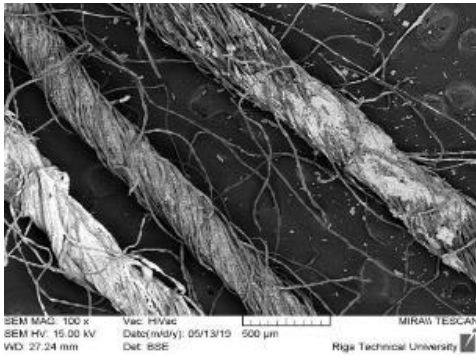
EDS analizē ļoti svarīga ir mērīšanas vietu un laukuma izvēle, kas ir atkarīga gan no operatora pieredzes, gan pētījuma mērķiem. Bieži interesi rada aglomerāti, kas izceļas uz virsmas, ar mērķi identificēt to sastāvu. Mēģinot tos izpētīt, izvēlētais laukums ir ļoti neliels (4.5. att., a)), līdz ar to rodas liela izkliede nosakot patieso elementu izplatību uz virsmas. Lai to novērtētu, jāizvēlas lielāks laukums (4.5. att., b)). Savukārt, atkārtoti punktveida mērījumi rāda, 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.%.

Kopumā iegūtie dati liecina, ka modifikācijai sekojošajā HT apstrādes procesā turpinās kondensācijas process, modifikācijas procesā uz šķiedru virsmas izveidojušās ažiņas 3D struktūras konsolidējas ar pamatpārklājumu, masīvākie aglomerāti, ko veido cinka bāzes struktūras, pāriet mazgāšanas šķīdumā.

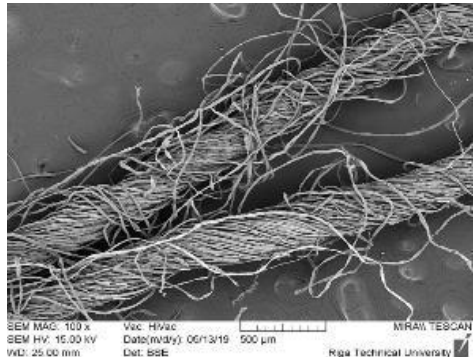


4.5. att. Testēšanas laukumu lokācijas un izmēra izvēle. Modificēti pavedieni (a) un no modificētas un HT apstrādātas dzijas adīts paraugs (b).

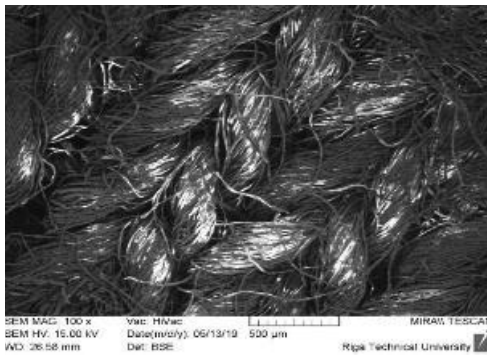
Rezultātā pēc modifikācijai sekojošās HT apstrādes pārklājums ir stabilizējies, veidojot ciešu sasaisti ar šķiedru virsmu un turpmākajās tehnoloģiskajās operācijās funkcionālās īpašības nodrošinošo elementu – fluora, silīcija un cinka – relatīvais saturs ir salīdzinoši stabils kā to rāda 4.1. tabulas 2 pēdējās rindīņas.



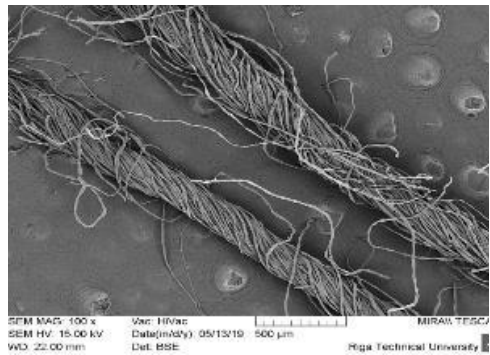
a) Modificēta dzijas (M/W/1:10/10).



b) Modificēta dzija (M/W/1:10/10) pēc HT apstrādes.



c) Adīts fragments ar modificētu dziju sastāvā (M/W/1:10/10).



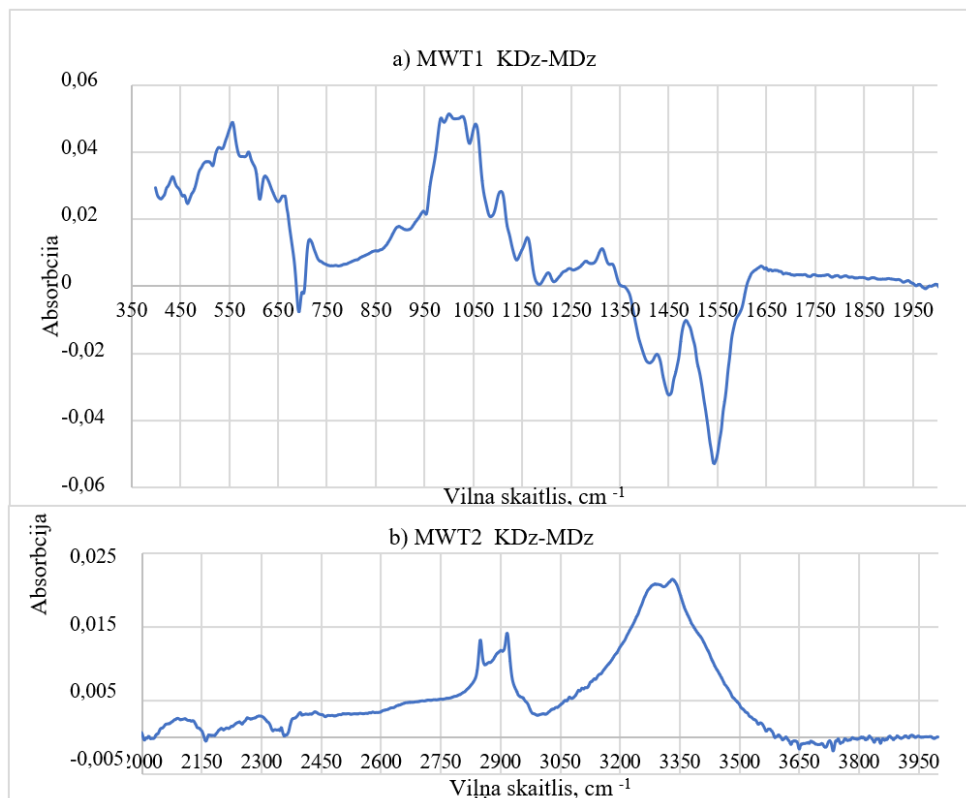
d) Kokvilnas dzija pirms modifikācijas.

4.6. att. Nemodificētas un modificētas kokvilnas dzijas un adījuma fragmenta ar modificētu dziju – SEM mikrogrāfijas.

Modifikācijas procesā nevienmērīgi izgulsnējoties sola šķīdumam un dzijas pavedienu virsmas var rasties uznestā pārklājuma sabiezējumi, kas nepietiekoša pieejamā ūdens daudzuma dēļ karsēšanas procesā nepāriet pilnībā kserogela formā (4.6. att., a) veidojoties salīpušu šķiedru klasteriem. Pēc HT apstrādes uz modificētās dzijas šķiedrām izveidojies vienmērīgs ~ 60 nm biezs modificējošais pārklājums (4.6. att., b), kas 100 – kārtīgā palielinājumā vizuāli adījumā maz atšķiras no nemodificētas dzijas (4.6. att., c) un d)).

Detalizētai analīzei zemāk apskatīti diferencu spektri, ļaujot izsekot uznestā pārklājuma absorbcijas intensitātes izmaiņu raksturu modifikācijas rezultātā. 4.7. attēla A un B diferencu spektros redzams, ka atsevišķu viļņa skaitļu joslās absorbcijas intensitāte modifikācijas rezultātā samazinās ievērojami ($400\text{--}680\text{ cm}^{-1}$; $950\text{--}1124\text{ cm}^{-1}$; $2750\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$) ar dubult smailēm 2850 un 2917 cm^{-1} , citās palielinās ($1390\text{--}1576\text{ cm}^{-1}$) ar izteiktām smailēm 1545 un 1454 cm^{-1} . Tas saistāms ar uznestā pārklājuma ķīmisko grupu saišu izraisīto svārstību

pārklāšanos ar kokvilnai raksturīgo saišu svārstību joslām (att. 3.4.un 3.5. nodaļā) un ir apliecinājums, ka modificējošais pārklājums uz dzijas ir sekmīgi uzneests [124].



4.7. att. Nemodificētas (KDz) un modificētas (MDz) kokvilnas dzijas diferencu spektri viļņu skaitļu joslā 400–1950 cm⁻¹ (a) 2000–4000 cm⁻¹ (b).

4.2. Modificētās dzijas tehnoloģiskās īpašības

Šķiedru veids, šķiedru īpašības, vēršanas tehnoloģija un uznešanās apretes tieši ietekmē dzijas fizikālās, mehāniskās un veiktspējas īpašības, kā arī drānas un tās virsmas īpašības. Šī pētījuma ietvaros analizēta sola-gēla procesā veiktās dzijas modifikācijas un sola-gēla tehnoloģisko parametru ietekme uz kokvilnas ķemmdzijas lineārā blīvuma, pārraušanas sprieguma un pagarinājuma izmaiņām.

4.2.1. Modificētās un nemodificētās kokvilnas dzijas īpašību salīdzinoša analīze

4.2. tabulā sakopotas dzijas variantu īpašības, kas ietekmē gan sekojošos tehnoloģiskos procesus, gan gala produkta veiktspēju, kurā dzija tiks integrēta. Tā kā katrs no tabulā

ievietotajiem novērtējumiem iegūts no 100 mērījumiem, mērīšanas kļūda no nepietiekoša atlasē apjoma ir niecīga un ļauj novērtēt testējamā materiāla īpašības ar augstu ticamību.

4.2. tabula

Dzijas pārraušanas spēka, pagarinājuma, lineāro blīvumu statistiskie raksturlielumi pirms un pēc modifikācijas un modificētas dzijas HT apstrādes

Varianti	Pārraušanas spēks, N			Spriegums, cN/tex	Pagarinājums, mm (%)	Lineārais blīvums, tex
	Vid.arit m.	Moda	Mediana			
K	1,64	1,6	1,6	7,03	14,72 (7,4)	23,6
MWT/1	1,91	2,5	2,1	6,85	11,70 (5,9)	27,8
MWT/2	1,87	2	1,9	7,38	12,92 (6,5)	25,4
MWT/3	2,04	2	2,1	7,18	14,75(7,4)	28,5
MWT/4	2,1	2,2	2,2	7,46	14,66 (7,3)	28,1
Vid_{MWT}	1,98	2,2	2,1	7,22	13,51 (6,8)	27,47
-/+	0,13				1,73	1,65

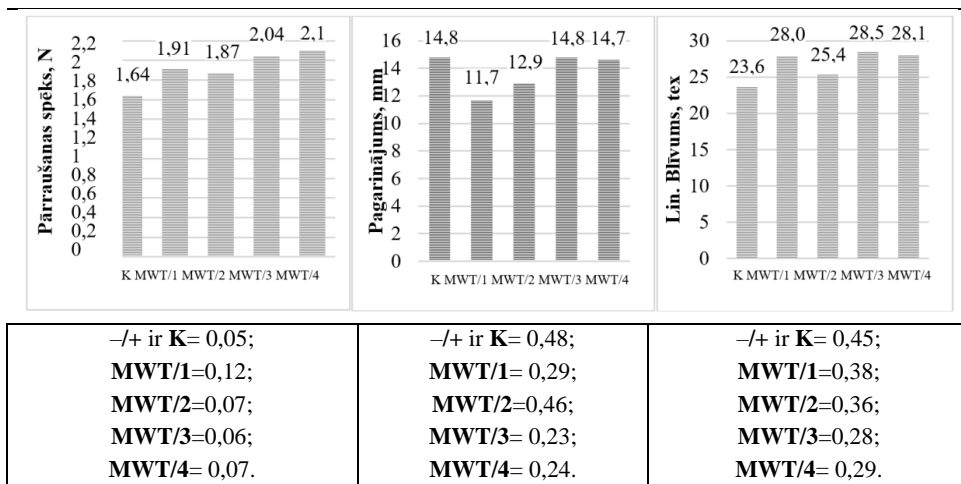
Sakarības analīzei starp dzijas īpašības raksturojošiem parametriem veikta korelācijas analīze izsekojot korelācijas izmaiņas dzijas modifikācijas rezultātā, atbilstošie korelācijas koeficienti pirms un pēc modifikācijas redzami 4.3.tabulā.

Cieša korelācija nemodificētai dzijai starp pārraušanas spēku un stiepes spriegumu ($R=0,83$), kļūst vēl ciešāka pēc modifikācijas ($R= 0,95$) tuvojoties funkcionālai lineārai sakarībai (determinācijas koeficients $R^2= 0,9$). Nemodificētas dzijas pārraušanas spēka vāja korelācija ar pagarinājumu ($R= 0,26$) kļūst vēl vājāka pēc modifikācijas ($R= 0,21$). Savukārt vidēji cieša korelācija ($R= -0,5$) starp nemodificētas dzijas lineāro blīvumu un stiepes spriegumu nav konstatēta pēc dzijas modifikācijas ($R=-0,03$).

4.3. tabula

Korelācijas matrica

	Nemodificēta dzija				Modificēta dzija			
	Lin. blīv. tex	Pagarin. mm	Pārrauš. spēks., N	Spriegums, cN/tex	Lin.,blīv, tex	Pagarin mm	Pārrauš. spēks., N	Spriegums . cN/tex
Lin.blīv., tex	1				1,00			
Pagarin., mm	-0,08	1,00			0,15	1,00		
Pārauš. spēks.N	0,05	0,26	1,00		0,29	0,21	1,00	
Spriegums, cN/tex	-0,50	0,29	0,83	1,00	-0,03	0,17	0,95	1,00
$N = 100$					$N = 200$	$Y_s = 0,53 + 3,25 x_N$		$R^2 = 0,9$



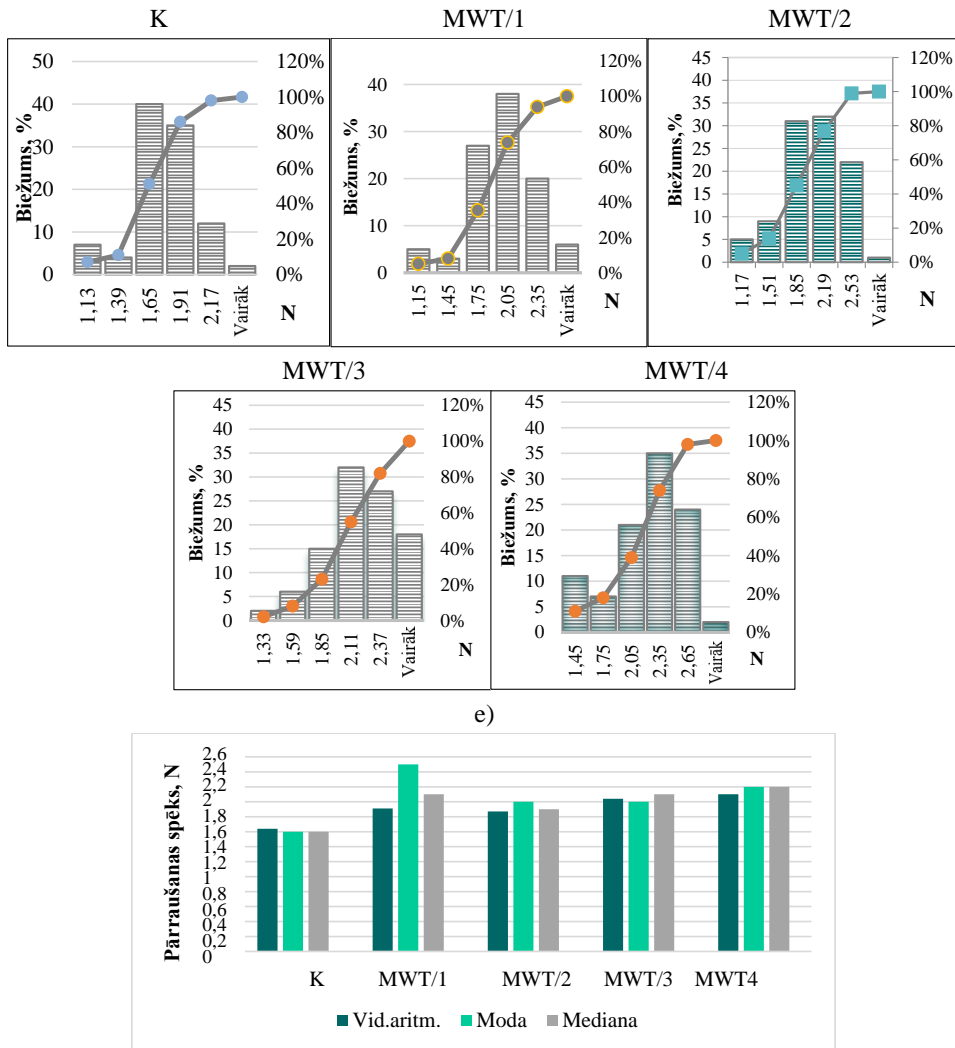
4.8. att. Paralēlo variantu dzijas īpašību salīdzinošā analīze. Nemodificēta K, modificētie MWT/1-4 varianti.

Dzijas spēja izturēt lielāku slodzi pēc modifikācijas ir palielinājusies vidēji par 21 %, palielinoties pavediena lineārajam bļivumam par 17 %, līdz ar to rezultējošais spriegums (stiepes izturība) palielinājies par 3%. MWT/3 un MWT/4 paraugu kopām pārraušanas spēka palielinājums attiecīgi ir nedaudz lielāks 24 % un 27 % (4.8. att.), tomēr visu četru variantu kopējā relatīvā kļūda šim parametram nepārsniedz 6,6 %. Tā patiesībā nav liela, tomēr lai to samazinātu izstrādājot rūpnieciskas tehnoloģijas jāvērs uzmanība uz ļoti precīzu tehnoloģisko parametru fiksēšanu sola sintēzes un dzijas modificēšanas procesā.

Attiecībā uz pagarinājumu šajā testu grupā nav viennozīmīga secinājuma. Paraugi MWT/1 un MWT/2 rāda būtisku paraugu pagarinājuma samazinājumu par 21 un 12 % toties paraugu grupai MWT/3 un MWT/4, kur modificēšanas un testēšanas laikā stingri tika ievēroti visi nosacījumi pagarinājuma zudums ir 1 % robežās.

Rezultāti liecina, ka sola sastāva un tehnoloģiskā procesa minimālas atšķirības (pH, temperatūras izmaiņas, karsēšanas ilgums) būtiski ietekmē iegūtos rādītājus. Paraugu grupas MWT/1 un MWT/2 pārraušanas spēks ir mazāks nekā MWT/3 un MWT/4 grupas paraugiem.

Tā kā pietiekoša dzijas stiepes izturība ir ļoti svarīgs dzijas parametrs, kas nosaka tās sekmīgu apstrādājamību uz adīšanas automāta, ir svarīgi ne tikai sadalījuma centru raksturojošie (4.2. tab.) bet arī visu datu sadalījuma raksturs, ko atspoguļo histogrammas (4.9. att.). Salīdzinot dzijas variantu histogrammas nav grūti ievērot, ka visu modificētās dzijas variantu sadalījumi kopumā pārbīdīti uz lielāka pārraušanas spēka diapazoniem. Salīdzinot savstarpēji modificētās dzijas variantus, MWT/3 un MWT/4 variantu histogrammas ir vienmērīgāks biežumu sadalījums veidojot vairāk izteiktu sadalījuma centru ap modālo vērtību tuvojoties normālajam sadalījumam. Atšķirībā MWT/1 varianta sadalījumā ir izteikta moda, tā un arī mediāna atšķiras no vidējās vērtības, tādējādi sadalījumam ir kaut neliela, tomēr asimetrija ar samērā ietekmīgu mazākas stiprības zonu (4.9. att., MWT/1 un e)).



4.9. att. Pārtraukšanas slodži raksturojošo sadalījumu raksturojošas histogrammas un e) sadalījumu centru raksturojošo parametru salīdzinājums.

Savukārt MWT/1 varianta modālā vērtība liecina par sadalījuma centra nobīdi. Tā kā histogrammas (4.9. att.) aptver visus mērījumus, tās ataino pilnu ieskatu par salīdzināmo variantu dzijas stiprības raksturu ļaujot secināt:

- kontroles dzijas kopai vidējā aritmētiskā intervālā ietilpst gan mediāna, gan moda un sadalījums ir raksturojams kā praktiski simetrisks. 75 % mērījumu rezultātu atbilst diviem centrālajiem intervāliem 1,65–1,91 N (4.9. att.). Šāds sadalījums liecina par vienmērīgu dzijas struktūru ar mazu zemo slodžu īpatsvaru;

- Kā tika minēts iepriekš, MWT/1 un MWT/2 kopa uzrādīja zemākos rādījumus starp modificētajiem paraugiem. MWT/1 varianta modālās un mediānas vērtību atšķirība no vidējās aritmētiskās, kā arī sadalījuma grafiks kopumā liecina, ka varianta mediānas un modālās vērtības pārsniedz vidējo aritmētisko (4.3. tab). Paraugu kopai MWT/2 novērota zemākā pārraušanas spēka vērtība – 1,87 N, kas skaidrojama ar zemāku lineāro blīvumu salīdzinājumā ar MWT/1, MWT/3 un MWT/4 variantiem.

- Modificētās dzijas paraugu kopu MWT/3 un MWT/4 modālais intervāls pārvietojas uz lielāku pārraušanas spēku zonu. Vidēji abām kopām modālajā intervālā ietilpst 50 % mērījumi. Tā kā MWT/4 paraugu grupas vidējais aritmētiskais neatrodas modālajā intervālā (2,01 N), sadalījumam ir asimetrisks raksturs, kur vērojama centra pārbīde uz augstāko vērtību pusi (4.9. att.). Mazākas izturības paraugu īpatsvars ir zemāks, kas liecina par vienmērīgu pārklājuma efektu.

4.2.1. Mērcēšanas parametru ietekme uz modificētās dzijas īpašībām

Kokvilnas dzija (24 tex) modificēta ar 7,5 mas.% CAD solu, piemērojot 120 T °C karsēšanas pēcapstrādi.

Sola gēla procesa norisē ir svarīgi novērtēt tādu apstrādes parametru kā apstrādājamās dzijas masas attiecību pret sola šķīdumu (x_1 , turpmāk *attiecība*) un mērcēšanas laika ietekmi (x_2). Ietekmes novērtēšanai veikts aktīvais daudzfaktoru eksperiments atbilstoši I pakāpes pilna faktoru eksperimenta plānam 2^2 . Pētāmo parametru vērtības izvēloties ņemti vērā iepriekšējā eksperimentā veiktie secinājumi. Faktoru variēšanas intervāli un līmeņi parādīti 4.4. tabulā.

4.4. tabula

Eksperimenta 2^2 plāns

Faktoru apzīmējums	Faktori	Kodēti faktoru līmeņi			Variēšanas intervāls
		- 1	0	1	
x_1	Masas-šķīduma attiecība	1:8	1:10	1:12	2
x_2	Iemērkšanas laiks, min	5	10	15	5

Modificētās dzijas testēšanai izmantota modernāka testēšanas iekārta, kas vienlaicīgi ļāva ierakstīt tādas dzijas īpašības raksturojošus parametrus kā pārraušanas slodzi, pagarinājumu, stiepes spriegumu pie maksimālās slodzes, kā arī atbilstošā parauga masu. Sola sastāvs fiksēts izmantojot sola modifikatora CAD koncentrāciju 7,5 mas.%. Kā liecina 4.5. tabulā sakopotie datu apstrādes rezultāti, aritmētisko vidējo novērtēšanas kļūda nepārsniedz 2 % apliecinot augstu ticamību, kā arī stabili attiecīgās īpašības izpaušmi dzijā.

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.	-/+	
Kontrole	25,7	0,3		6,95	0,14		9,58	0,19	
M/W/1:12/15	26,07	0,22	1,44 %	5,76	0,12	17 %	13,47	0,19	41
M/W/1:12/5	26,59	0,24	3,46 %	6,92	0,12	1 %	12,83	0,19	34
M/W/1:10/10	27,01	0,23	5,10 %	6,50	0,12	7 %	14,08	0,20	47
M/W/1:8/5	26,73	0,23	4,01 %	6,43	0,11	7 %	13,46	0,19	41
M/W/1:8/15	26,05	0,26	1,36 %	5,21	0,15	25 %	11,76	0,27	23

4.2.2. Modificētās dzijas lineārā blīvuma palielinājums atkarībā no attiecības un karsēšanas laika

Modificētās dzijas lineārā blīvuma (Y_{LB}) izmaiņas atkarībā no parauga masas-sola tilpuma attiecības (x_1) un iemērkšanas laika sola šķīdumā (x_2) apraksta vienādojums (4.1.) un tam atbilstošas virsmas šķēlumi (4.10. att.).

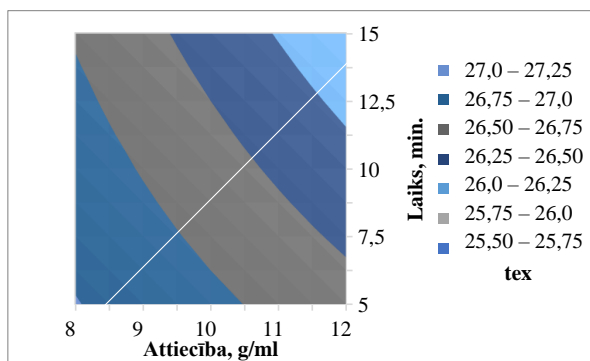
$$Y_{LB} = 26,60 - 0,27 x_1 - 0,20 x_2 - 0,06 x_1 x_2 \quad (4.1.)$$

Kur: Y_{LB} – dzijas lineārais blīvums, tex;

x_1 – sola tilpuma attiecība, g/ml;

x_2 – iemērkšanas laiks, min.

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 4.10. att.). Virzoties pa bultiņu uz augšu, pieaugums pakāpeniski samazinās, sasniedzot minimālo vērtību atbilstošu kombinācijai – attiecība 1:12 un iemērkšanas laiks 15 min.



4.10. att. Modificētās dzijas lineārā blīvuma izmaiņas atkarībā no attiecības un iemērkšanas laika.

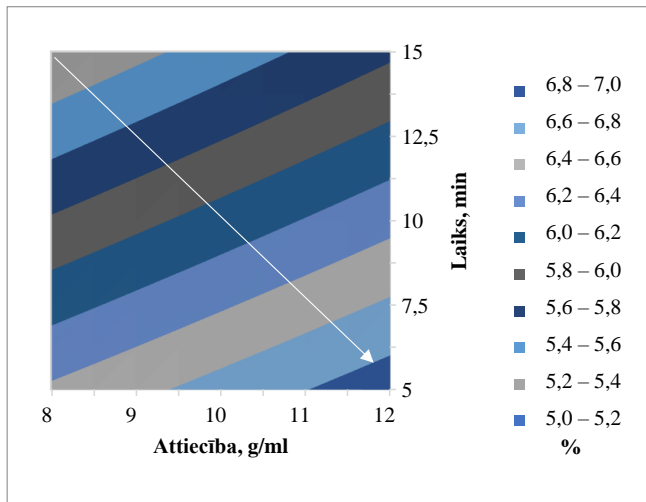
4.2.3. Modificētās dzijas stiepes sprieguma un pagarinājuma izmaiņas atkarībā no attiecības un iemērkšanas laika

Modificētās dzijas pagarinājuma (Y_p) izmaiņas stiepē atkarībā no parauga masas-sola tilpuma attiecības un iemērkšanas laika sola šķīdumā apraksta vienādojums (4.2.) un tam atbilstošas virsmas šķēlumi (4.11. att.).

$$Y_p = 6,08 + 0,26 x_1 - 0,59 x_2 + 0,02 x_1 x_2 \quad (4.2.)$$

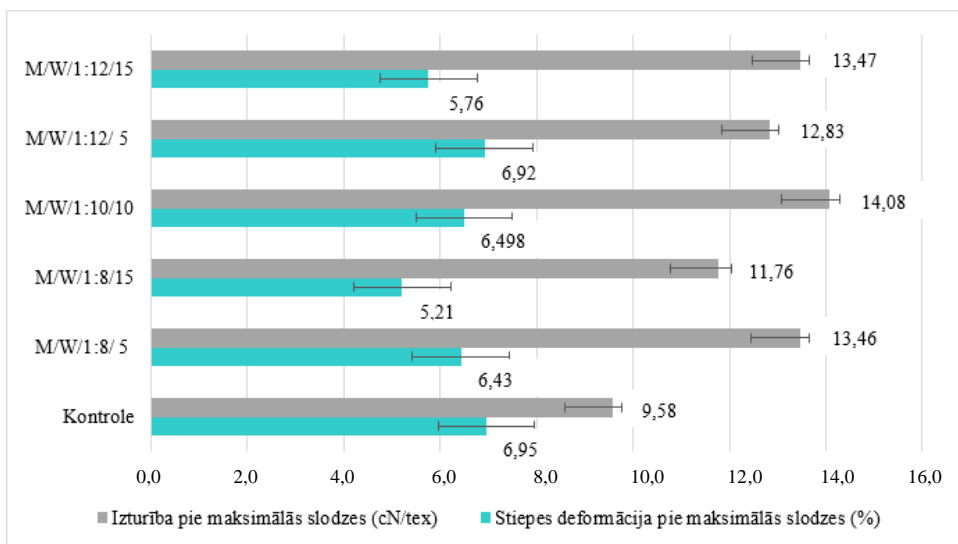
Kur: Y_p – dzijas pagarinājums, %;
 x_1 – sola tilpuma attiecība, g/ml;
 x_2 – iemērkšanas laiks, min.

Gan x_2 koeficients vienādojumā (4.2.), gan 4.11. attēlā redzami divu dimensiju šķēlumi liecina, ka modificētās pagarinājumu vairāk ietekmē iemērkšanas laiks x_2 – laikam samazinoties pagarinājums palielinās sasniedzot eksperimenta robežās maksimālo pagarinājumu 6,92 % (attiecība 1: 11– 12, iemērkšanas laiks ir 5 min).



4. 11. att. Modificētās dzijas pagarinājuma (%) izmaiņas atkarībā no attiecības un iemērkšanas laika.

Kokvilnas dzijas stiepes stiprība ievērojami palielinājās pēc modifikācijas iepriekšējā eksperimentā (~21 %). 4.12.att. grafikos redzams, ka visu modificētās dzijas variantu stiepes izturība pārsniedz nemodificētās dzijas attiecīgo rādītāju robežās no 23 līdz 47 %, apakšējā robeža atbilst variantam M/W/1:8/15, augšējā variantam M/W/1:10/10, kas ir optimāla kombinācija kokvilnas audumam [102].



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

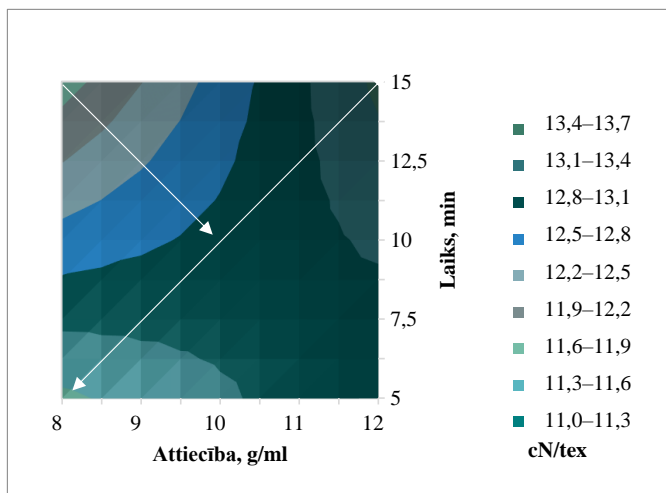
Aprēķinātais matemātiskais modelis nepilna otrās pakāpes polinoma formā liecina par nelineāru modificētās dzijas pārraušanas slodzes atkarību no abiem neatkarīgajiem mainīgajiem - vienādojums (4.3.) un (4.5. tab.). Bez tam mainīgo mijiedarbības ietekme ir lielāka nekā katra atsevišķi, par ko liecina mijiedarbības locekļa koeficients (0,58), kas stipri pārsniedz lineāro locekļu koeficientu absolūtās vērtības.

$$Y_s = 12,88 + 0,27 x_1 - 0,27 x_2 + 0,58 x_1 x_2 \dots\dots\dots(4.3.)$$

kur: Y_s - stiepes spriegums, cN/tex;
 x_1 - attiecība;
 x_2 - iemērkšanas ilgums, min.

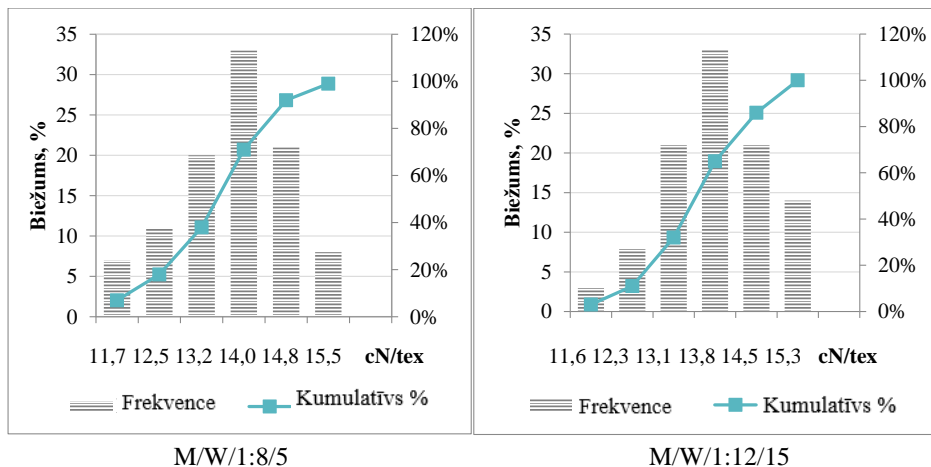
Savukārt aprēķinātā vienādojuma koeficients pie x_2 norāda, ka iemērkšanas ilgumam ir pretēja ietekme uz stiepes spriegumu nekā attiecībai (lineāro koeficientu zīmes pretējas, absolūtās vērtības sakrīt), bet visvairāk modificētās dzijas stiprību ietekmē abu mainīgo mijiedarbība, faktoriem atrodoties +1 vai - 1 līmeņos. Precīzāku informācijas apjomu par abu mainīgo parametru ietekmi ļauj iegūt vienādojuma ģeometriskā interpretācija.

Vienādojuma (4.3.) aprakstītās sedlu tipa virsmas centrā ir "mini-maksa" punkts, centrs atrodas eksperimenta apgabalā. Virsmas šķēlumā iegūto vienādu līmeņu laukumu izvietojums (4.13. att.) ļauj secināt, ka modificētās kokvilnas dzijas pārraušanas spēks samazinās, ja apstrāde notiek kombinējot mazāku sola šķīduma attiecību ar ilgstošāku mērcēšanu solā, palielinās kombinējot mazāku attiecību ar mazāku mērcēšanas laiku ($x_1 = 1:8$; $x_2 = 5$ min) kā arī lielāku attiecību ar lielāku mērcēšanas laiku ($x_1 = 1:12$; $x_2 = 15$).



4. 13. att. Modificētās dzijas stiprības atkarība no sola šķīduma attiecības un iemērķšanas ilguma. *Palielinājuma virzienus šķēluma attēlā norāda bultas*

Salīdzinot M/W/1:8/5 un M/W/1:12/15 variantu stiepes sprieguma sadalījuma histogrammas (4.14. att.), jāsecina, ka modālās stiepes spriegumu vērtības praktiski sakrīt (attiecīgi 1,38 un 14 cN/tex), savukārt M/W/1:12/15 varianta stiepes sprieguma sadalījums kopumā ir kompaktāks, tajā intervālā 11,7–14 cN/tex iekļaujas 71 % vērtību, atšķirībā no varianta M/W/1:8/5, kuram atbilstošās dzijas stiprības intervālā 11,6–13,8 iekļaujas tikai 65 % mērījumu.



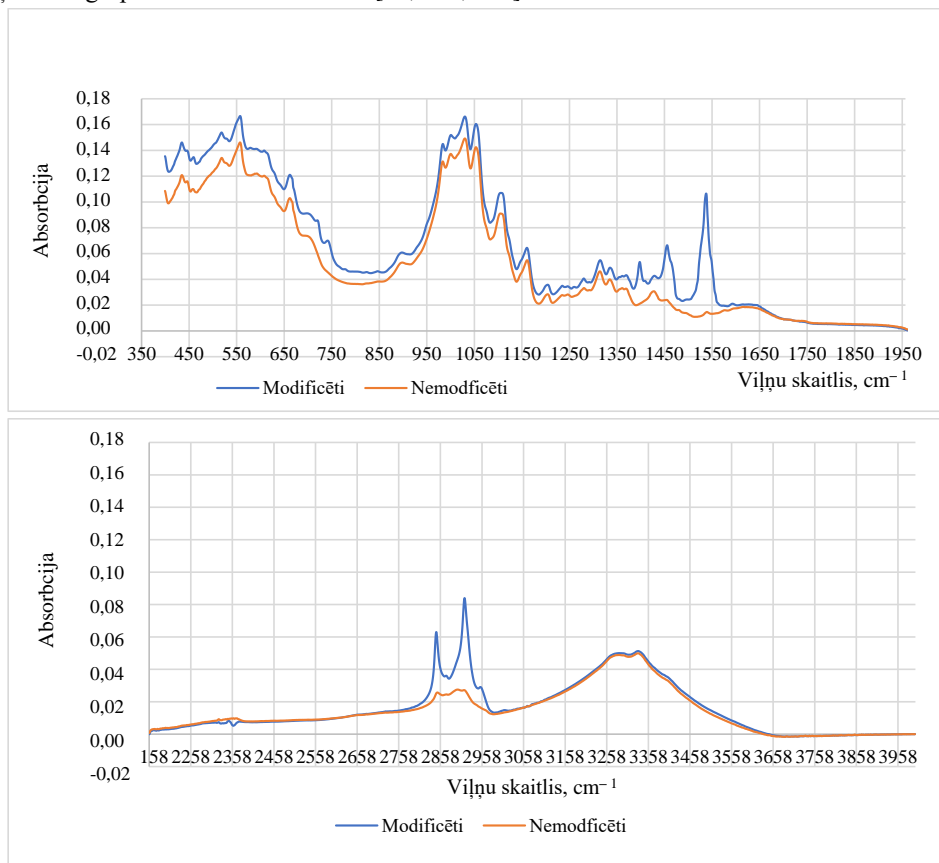
4.14. att. Stiepes sprieguma relatīvo sastopamības biežumu sadalījums attiecīgi M/W1:8/5 un M/W/1:12/15 paraugiem.

4.3. Poliamīda un modificētās kokvilnas dzijas trikotāžas variantu salīdzinošā analīze

4.3.1. FTIR-ATR Spektru salīdzinošā analīze

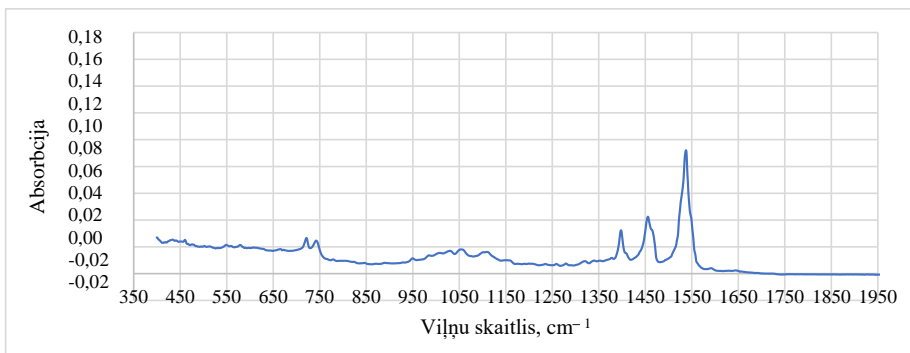
Ar 7,5 mas.%CAD modifikatora solu iemērcot piesūcinātā kokvilnas dzija, kas karsēta 5 min. pie 120 °C, kopā ar tekstūrētiem poliamīda/elastāna pavedieniem ieadīta zeķu struktūrā. 4.15.attēlā parādīti nemodificētu un modificētu kokvilnas dziju saturošu adījumu spektri.

Modificēto paraugu frekvenču joslas ar virsotnēm 1454,72 (CH₂ bend) un 1538 cm⁻¹ (NH bend, C-N stretch), kā arī 2917,28 un 2848,11 cm⁻¹ (CH stretch) attiecināmas uz PA raksturīgo ķīmisko grupu svārstību frekvencēm[88, 120, 121].



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

Diferenču spektrs (4.16. att.) liecina par absorbēcijas intensitātes palielinājumu šajās frekvencēs PA pavedieniem krustojoties ar modificētajiem kokvilnas pavedieniem. Īpaši krass absorbēcijas intensitātes palielinājums viļņu skaitlim 1538 cm⁻¹ atbilstošajā virsotnē varētu būt skaidrojams ar Zn-O saturošas ķīmiskas grupas absorbēcijas pienesumu šai virsotnei atbilstošā frekvenču joslā [124].



4.16. att. Modificētu un nekodificētu kokvilnas dziju saturošu adītu paraugu diferencu spektrs.

4.3.2. Kokvilnas/PA/elastāna trikotāžas drānu struktūru sastāvu raksturojošie parametri

No modificētas un nemodificētas kokvilnas dzijas izgatavoti šķērsadītas trikotāžas platinēta gludpinuma drānu paraugi no MWT/1-4 variantu dzijas adīšanas procesā līdztekus kokvilnas dzijai iestrādājot nemodificētus kombinētus poliamīda-elastāna pavedienus attiecībā: 75 % kokvilna/21 % poliamīds/4 % elastāns.

4.6. 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, cm^{-1}	9,5	9,8	9,8	10	9,8
Valdziņu blīvums vertikālā virzienā, cm^{-1}	15	15,5	15,2	14,5	15,2
Kopējais blīvums, cm^{-2}	144	151	148	145	148

4.6. tabulā sakopotie trikotāžas drānu raksturojošie lielumi liecina, ka modificēto paraugu kopējais valdziņu blīvums ir palielinājies par 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 uzstādījumiem ir veidojies blīvāks.

4.3.3. Kokvilnas/PA/elastāna trikotāžas drānu gaisa un tvaiku caurlaidības salīdzinoša analīze

Kā redzams no 4.7. tabulā sakopotajiem testu rezultātiem un 4.15. attēla grafikiem, adīto paraugu gaisa caurlaidība ar modificēto kokvilnas dziju samazinās vidēji par 21 % (robežās no 17 % – 24 %) salīdzinājumā ar nemodificētas dzijas paraugu gaisa caurlaidību. Tas ir nedaudz

mazāks samazinājums salīdzinot ar austu drānu paraugu gaisa caurlaidības samazinājumu (vidēji par 20 %) [116].

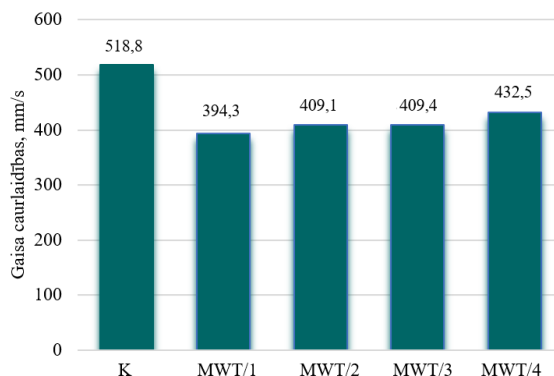
4.7. tabula

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

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

To var izskaidrot ar adītai struktūrai raksturīgo porainību un tekstūrētu nemodificētu poliamīda pavedienu klātbūtni, kas saglabā drānas ārējo porainību kompensējot modificētās dzijas virsmas poru samazināšanās efekta ietekmi.

Vēl pārsteidzošāks ir salīdzinoši niecīgais relatīvās tvaiku caurlaidības samazinājums, kas nepārsniedz 5 % (vidēji 0,8 %). Ņemot vērā, 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.



4.17. att. Adīto kokvilnas/PA drānu gaisa caurlaidības salīdzinājums.

4.3.4. Nodilumizturība un virsmas efekti berzē

Valkāšanai svarīgs parametrs – drānu nodilumizturība – ir atkarīga no tās struktūras raksturlielumiem un īpašībām:

- šķiedru ķīmiskā sastāva, to garuma, struktūras un lineārā blīvuma;
- dzijas groduma;
- no adījuma struktūras un virsmas blīvuma;
- apdares procesa lietotajiem sastāviem un tehnoloģijām.

Šķiedrām ar lielāku pagarināšanas spēju, elastību un stiprību, piemēram, sintētiskajām šķiedrām (poliamīds, poliesteris, elastāns), ir augstāka nodilumizturība. Tādēļ tekstilizstrādājumos, kas valkāšanas procesā regulāri pakļauti berzei un to pamatsastāvs ir kokvilna ar vidēju nodilumizturību, pievieno sintētiskās šķiedras, parasti poliamīda vai poliestera pavedienus ar lielu nodilumizturību.

Testējot eksperimentālo trikotāžas paraugu nodilumizturību berzē konstatēts, ka nemodificētu kokvilnas dziju saturošu paraugu berzējošā abrazīvā materiāla nokrāsošanās fiksēta jau pēc 100 berzes cikliem un tādi vizuāli defekti, kā drānas plūksnošanās novērota jau pēc 1000 berzes cikliem. Savukārt modificētajiem paraugiem abrazīvais materiāls iekrāsojas tikai pēc 1000 cikliem, liecinot par ievērojami labāku krāsnoturību.

Trikotāžai, īpaši jauktu šķiedru trikotāžai ir raksturīgi pēc salīdzinoši neliela valkāšanas ciklu skaita veidot pilingu, kas bieži vien samazina izstrādājuma valkāšanas laiku. Drānu pilingas rodas pārtrūkstot berzē šķiedrām uz parauga virsmas. Satrūkušie šķiedru gali savstarpēji sapinas, veidojot bumbulīšus; savukārt šķiedrām atdaloties no pavedieniem veidojas plūksnas.

4.18. 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 A un B variantu virsmā pēc 5000 cikliem vērojams tikai neliels plūksnojums (4.18.att., MWT/1 un MWT/2 attēls), bet pilinga efekts nav novērots pēc 15 000 cikliem (4.18. 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.

Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka modificējot kokvilnas dziju un iestrādājot to tekstila izstrādājumā, var sasniegt augstāku nodilumizturību, kā arī būtiski samazināt pilinga efektu, kas nodrošina ilgāku izstrādājuma estētiku, kā arī palielina kalpošanas laiku. Tas ir būtiski tieši zeķu izstrādājumiem, kas ikdienā tiek pakļauti lielai slodzei un nodilumam un nav mazsvarīgi citos intensīvam lietojumam pakļautos adījumos.



Drānu nodilumizturības fotofiksācijas pēc 5000 berzes cikliem

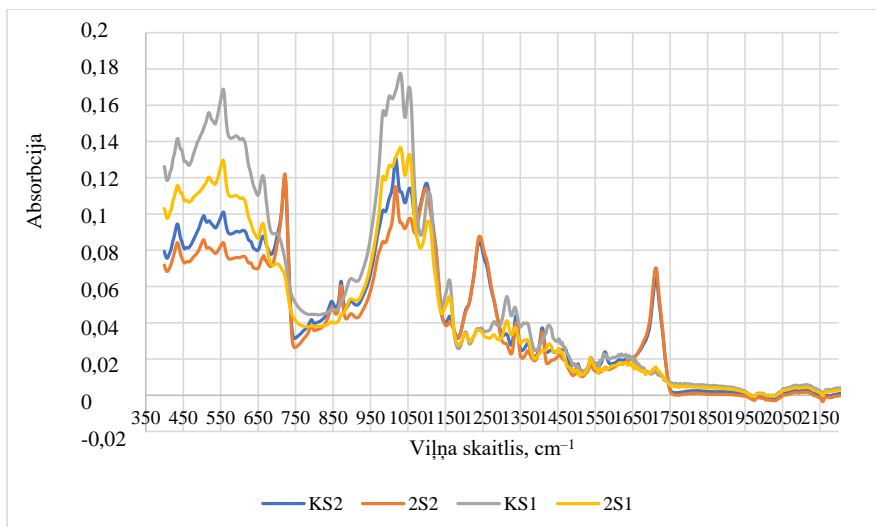


Drānu nodilumizturības fotofiksācijas pēc 15 000 berzes cikliem

4.18. att. Kokvilnas/PA drānu virsmas foto fiksācijas pēc 5000 un 15 000 berzes cikliem.

4.4. Modificētas kokvilnas un poliestera trikotāžas drānu raksturojošie parametri

4.4.1. FTIR-ATR spektru salīdzinošā analīze

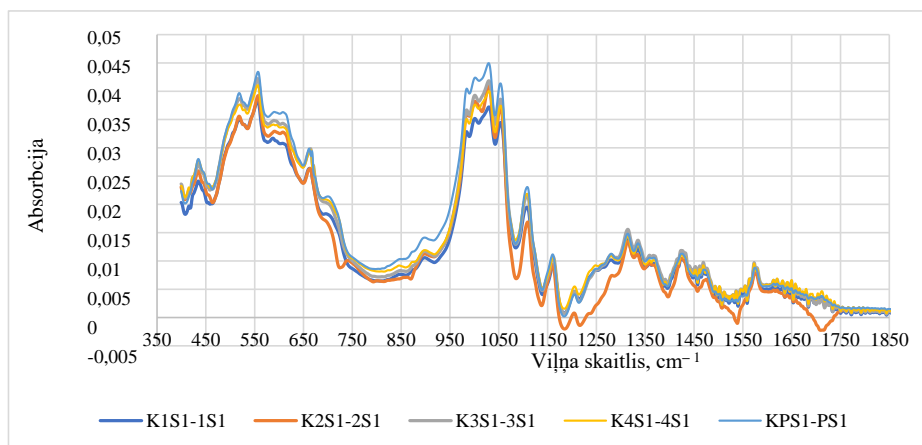


4.19. att. MW/1:8/15 (attiecība 1:8; laiks 15 min) kreisās (kokvilnas) puses un labās (PES) salīdzinoši ATR-FTIR spektri.

Salīdzinot 4.19. un 4.20. att. redzamos varianta 2 spektrus redzams, ka abos kreisās puses spektros (KS1 un 2S1) dominē pastiprinātas absorbcijas zonas kokvilnai raksturīgajām ķīmiskajām grupām atbilstošās frekvenču joslās. Absorbncijas intensitātes samazinājums adījuma ar modificētu kokvilnas dziļu spektrā (2S1), skaidrojams ar modificējošā pārklājuma ķīmisko grupu absorbciju, kuru vibrācijas pārklājas ar kokvilnas celulozei raksturīgajām joslām [124]. Savukārt virsmas spektros, kur dominē PES pavedieni (KS2 un 2S2), skaidri iezīmējās absorbcijas smailes poliestera funkcionālajām ķīmiskajām grupām atbilstošās šaurās

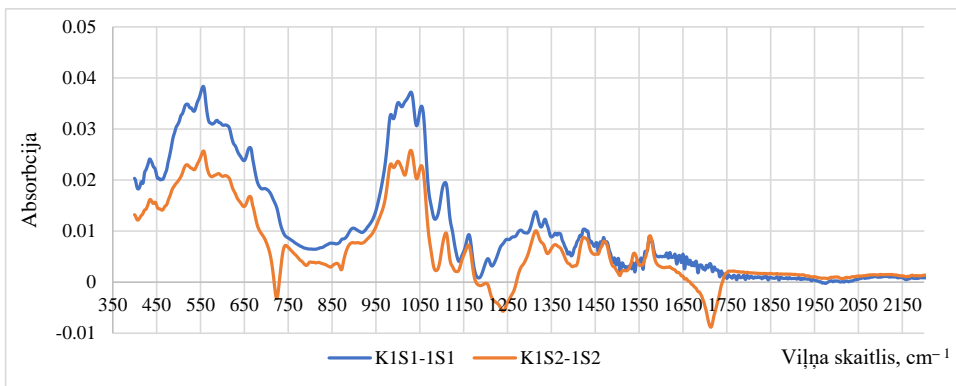
viļņu skaitļu joslās ar virsotnēm attiecīgi 721cm^{-1} (*Aromatic CH out-of-plane bend*), 1242 un 1092 cm^{-1} (*C-O stretch*), 1713 cm^{-1} (*C=O stretch*)[88, 90, 125], kurās absorbcijas intensitāte nav atkarīga no tā, vai adījums satur vai nesatur modificētu kokvilnas dziju. Salīdzinoša 4.19. un 4.20. attēlu spektru analīze liecina, ka frekvenču joslā $400\text{--}680\text{ cm}^{-1}$ un $950\text{--}1124\text{ cm}^{-1}$ modificējošā pārklājuma absorbcijas intensitātes samazinājums ir ievērojami lielāks virsmā, kur dominē kokvilnas pavedieni, kas ir modificēti. Otrajā virsmas pusē samazinājums ir salīdzinoši neliels un atkarīgs no tā, cik lielā mērā platinēšanas efekts ir nodrošināts adīšanas procesā. Tādējādi spektru salīdzinoša analīze ļauj novērtēt gan pārklājuma noseģumu, gan arī var kalpot tehnoloģisko iestatījumu kontrolei kā tas saskatāms sekojošā attēla spektros

4.21. attēlā parādītie visu 5 variantu kokvilnas puses diferencu spektri liek vērst uzmanību, ka absorbcijas intensitātes izmaiņu raksturs starp eksperimentālajiem variantiem dažādās frekvenču joslās ir atšķirīgs, īpaši atšķiras varianta 2 spektrs, kas rosina mēģināt atrast specifisko atšķirību cēloņus. Ir acīmredzama pārliecinoši lielāka poliesteru pavedienu valdziņu daļa uz adījuma virsmas salīdzinājumā ar pārējiem 4 variantiem. Tas var būt rezultāts gan novirzēm dzijas modificēšanas tehnoloģijā, gan adīšanas procesā.

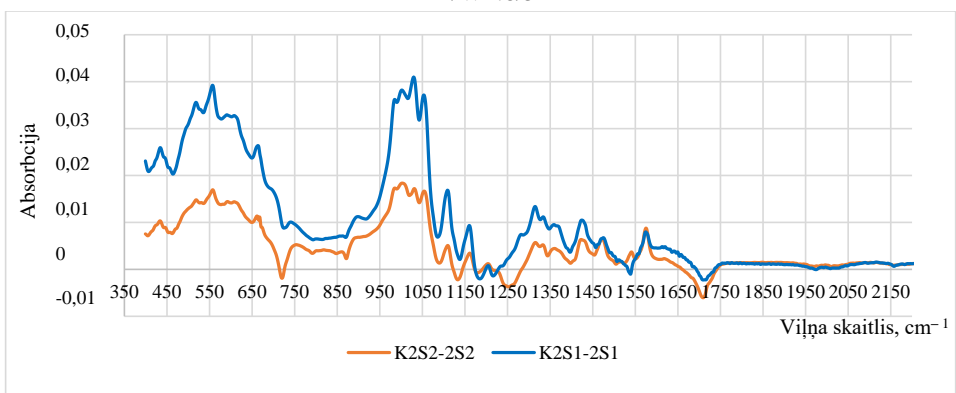


4.20. att. Salīdzinoši variantu kokvilnas virsmas diferencu spektri.

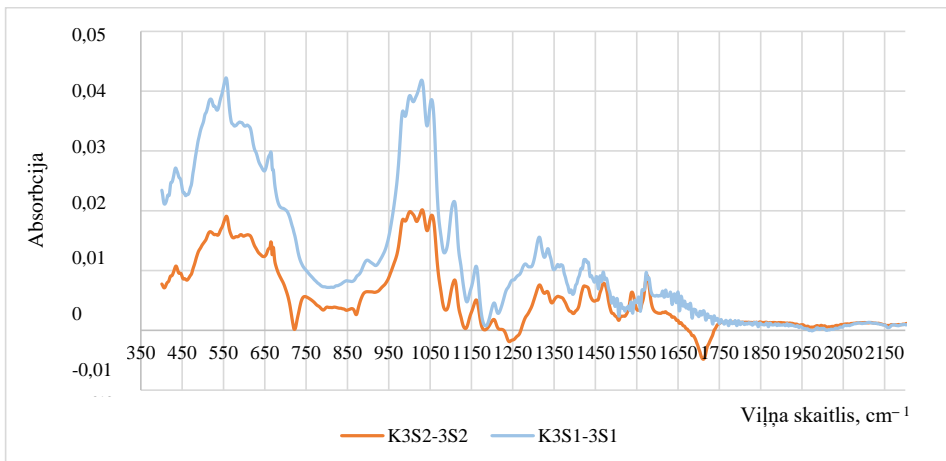
Vairāk detalizētu informāciju par absorbcijas izmaiņām sniedz analīzei pakļauto variantu diferencu spektri (4.21. att.).



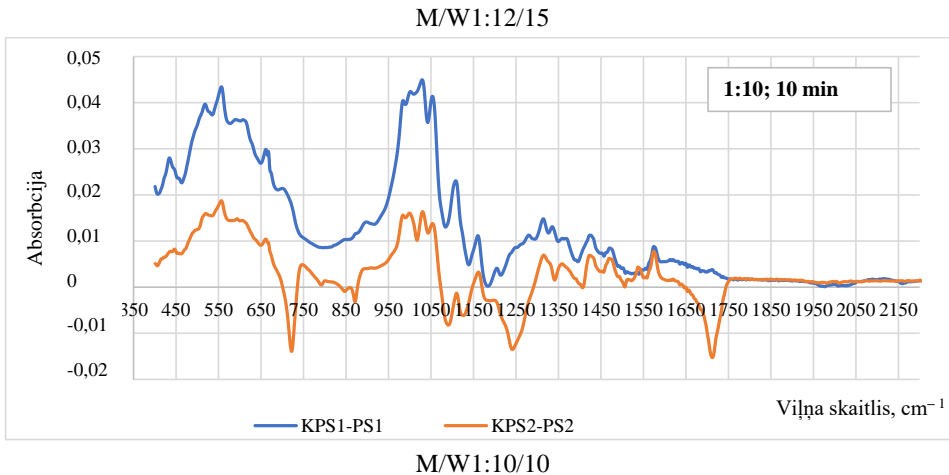
M/W1:8/5



M/W1:8/15.



M/W1:12/5



4.21. att. Modificēto paraugu absorbcijas spektru salīdzinošā analīze *Positīva diference – absorbcija samazinās, negatīvā – palielinās.*

Apskatot 4.21. attēla grafikus kopumā jāsecina, ka labās puses diferencu spektros dominē absorbcijas izmaiņas frekvenču intervālos ar PES raksturīgām smailēm: 1713 (*C=O stretch*), 1241 un 1094 (*C-O stretch*) un 720 cm^{-1} (*aromatic CH out of plane bend*); bez tam salīdzinot spektros redzams, absorbcijas izmaiņas ietekmē gan masas-tilpuma attiecība, gan mērcēšanas laiks, kā arī adījuma kreisās puses (kokvilnas) pavedienu manifestācija labajā adījuma virsmā. Perfektu platinēšanas efektu tā, lai apakšējā dzija neparādītos vai “nemirgotu” uz virsmas, ir grūti panākt ar dzijām, kurām ir apaļš šķērsriezums un atšķirīgas fizikālās īpašības [122]. Lai nodrošinātu nepieciešamo vienas un otras sistēmas pēc fizikālām īpašībām un šķērsriezuma formas atšķirīgo pavedienu izpausmes uz virsmas ir svarīgi kontrolēt dzijas nostiepumus, padeves leņķi un jau izveidotās cilpas visā adīšanas ciklā [122]. Šajā sakarā FTIR diferencu spektru analīze var sniegt operatīvu informāciju par platinētā adījuma pavedienu parādīšanās intensitāti uz vienas vai otras virsmas, norādot uz nepieciešamām tehnoloģisko parametru korekcijām paredzēto virsmu struktūru sasniegšanai.

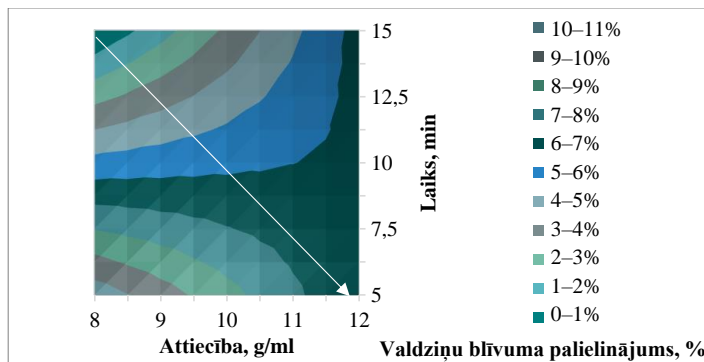
4.4.2. Adītās drānas struktūru raksturojošo parametru salīdzinošā analīze

Atšķirībā no iepriekš apskatītās kokvilnas/PA trikotāžas, adījumā ar PES/elastānu sastāvā valdziņu blīvums vertikālajā virzienā starp variantiem mainās robežās no 2,7 līdz 10,2 % (4.8. tab.), kas arī galvenokārt ietekmē kopējā valdziņu blīvuma izmaiņas.

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

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

Zemākais valdziņu blīvuma pieaugums vērojams M/W/1:8/15 paraugu kopai. Šai paraugu grupai tika novērots arī zemākais pārraušanas slodzes pieaugums un pavedienu lineāra blīvuma pieaugums, ko varētu skaidrot ar nestabilāku adīšanas procesu biežāka uznestā pārklājuma dēļ.



4.22. att. No kombinētiem kokvilnas dzijas/poliestera-elastāna pavedieniem adītu paraugu valdziņu blīvuma atbalss virsmas šķēlumi. Bultiņas norāda palielinājumu salīdzinājumā ar paraugu, kas satur nemodificētu kokvilnas dziju.

4.4.3. Antibakteriālo īpašību novērtējums

Staphylococcus aureus ir cilvēka patogēns, sastopams arī uz ādas. Pateicoties tā virulences faktoriem tas spēj nokļūt organisma sterilajās vidēs un izsaukt smagas hospitālas un sabiedriskās vidēs iegūtas infekcijas [126], kā arī ir biežāk sastopams aerobs mikroorganisms pacientiem ar brūču infekcijām, sastruotajumiem un iekaisumiem [127], sakarā ar to ir lietota kā testa baktērija.

Sviedri ir bez smaržas, bet mikrobi, kas dzīvo uz kājām un padusēs, aug, pateicoties mitrumam, ko nodrošina sviedri. Mikrobi metabolizē atmirušās ādas šūnas smakojošās

molekulās. Smakas izraisa ogļhidrātu, taukskābju un peptīdu sadalīšanās mazākās skābēs, visbiežāk etiķskābē, propānskābē, izobutīlskābē un izobaldriānskābē [128, 129].

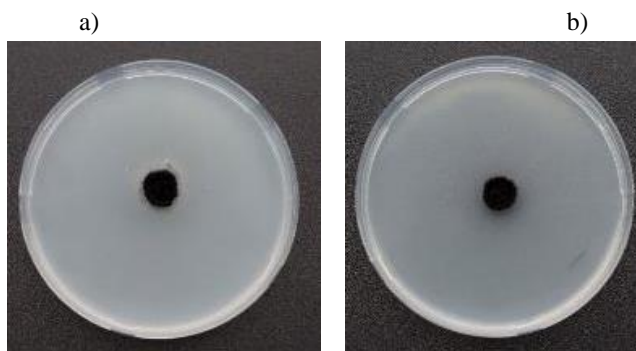
Bacillus subtilis (4.23. att.) rada smakas, kas saistītas ar sviedriem, ražojot izosviestskābi (2-metilpropānskābe) un izobaldriānskābi (3-metilbutānskābe) no aminoskābes leicīna, izmantojot leicīna dehidrogenāzi [130] un tiek uzskatīts kā visvairāk atbildīgais par kāju pēdu smaku. Tas ir ļoti dzīvotspējīgs, var ātri iegūt aizsardzību pret daudzām stresa situācijām, piemēram, skābiem, sārmainiem, osmotiskiem vai oksidatīviem apstākļiem, kā arī karstumu vai etanolu.

Tāpēc tas līdztekus *Staphylococcus aureus* izvēlēts par testa baktēriju zeķu izstrādājumu modifikācijas veiktspējas novērtēšanai.



4.23. att. *Bacillus subtilis* elektronmikrogrāfija.

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).

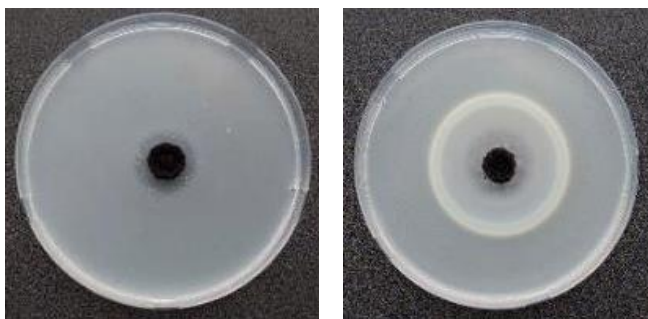


4.24. att. Nemodificētas trikotāžas drānas paraugu aktivitāte pret a) *Bacillus subtilis mscL 1141* un b) *Staphylococcus aureus mscL 334*.

Nemodificēta trikotāžas paraugi neuzrādīja antibakteriālu aktivitāti pret abām kultūrām un paraugam ar *b. subtilis* baktēriju tika novērots apaugums zem un ap paraugu (4.24. att., a) un b)).

a)

b)



4. 25. att. Modificētu/ nemazgātu trikotāžas drānas paraugu aktivitāte pret a) *Bacillus subtilis mscL 1141* un b) *Staphylococcus aureus mscL 334*.

Modificētās trikotāžas drānas antibakteriālo iedarbību nodrošina ne tikai saskarē ar paraugu, bet arī veidojot inhibīcijas zonu, īpaša aktivitāte vērojama pret baktēriju *Staphylococcus aureus*, (4.25. att., a) un b)).

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

4.4.4. Trikotāžas drānu(kokvilna/poliestera/elastāna) gaisa caurlaidības salīdzinoša analīze

Pēc modifikācijas un HT pēcapstrādes visu paraugu grupā vērojams neliels gaisa caurlaidības samazinājums robežās no 2,4 % līdz 6,3 %. Tas nozīmē, ka modificējot tikai daļu no adītās drānas pavedieniem, gaisa caurlaidības samazinājums praktiski neietekmē valkāšanas komfortu.

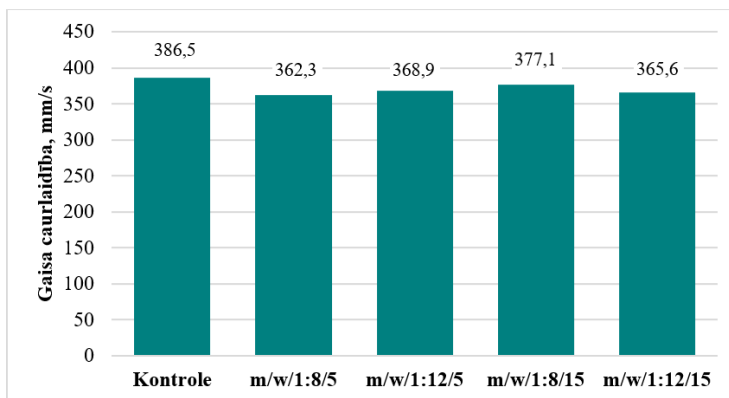
4.9. tabula

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 %
Relat., 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

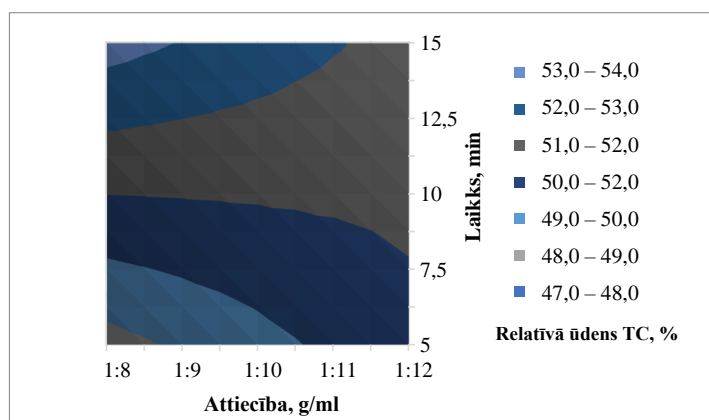
Adīto drānu ar modificētu kokvilnas dziju pēc HT apstrādes GC samazinājums variantos robežās no 2 līdz 6 % (4.9. tab.; 4.26. att.) ir salīdzinoši neliels un praktiski uzskatāms par valkāšanas komfortu neietekmējošu.



4.26. att. Salīdzinoša CO/PES trikotāžas variantu GC.

Relatīvā TC izmaiņas eksperimentālajos variantos variē robežās no 48,6 % līdz 53,4 %, sasniedzot 52–53 %, ja attiecība ir robežās no 1:8 līdz 1:11 un laiks no 12,5 līdz 15 min. (4.27. att.). Savukārt relatīvā TC samazinās un ir intervālā no 48 līdz 49 %, ja attiecība ir robežās no 1:8 līdz 1:8,5 un laiks no 5–5,2 min. Salīdzinot vienādojuma (4.4.) koeficientus redzams, ka noteicošais ir iemērķšanas laiks (atbilstošais regresijas koeficients 1,42 par kārtu pārsniedz koeficienta x_{at} vērtību), savukārt abu faktoru mijiedarbību ($x_{at} \cdot x_L$) raksturojošais koeficients (-0,96) norāda, ja faktori x_{at} un x_L abi ir vienlaicīgi (-1) vai (+1) līmeņos negatīvā koeficienta zīme saglabājas, reizinājums ($1,42 \cdot x_L$) kļūst negatīvs, TC eksperimentālajās robežās zemākā.

$$Y_{tv} = 51,10 + 0,09 x_{at} + 1,42 x_L - 0,96 x_{at} * x_L \quad (4.4.)$$



4.27. att. Relatīvā ūdens TC izmaiņas atkarībā no attiecības un mērķēšanas laika.

Pārtulkojot fizikālā procesa parametros – attiecība 1:8 nenodrošina nepieciešamo ūdens daudzumu, lai kondensācijas process notiktu 5 min. Tādējādi apskatot procesa norises vairāku

mainīgo telpā iespējams efektīvi novērtēt gan katra ieguldījumu, gan arī šo faktoru atrašanās līmeņu kombināciju ietekmes un atrast optimālus variantus.

Salīdzinot no nemodificētiem kokvilnas/PES/elastāna pavedieniem adītas drānas GC ir par 25 % mazāka nekā nemodificētas kokvilnas/PA/elastāna drānas GC vidējie rādītāji (4.7. tab.), kas varētu būt skaidrojams ar atšķirīgu kokvilnas PA/elastāns un PES/elastāns lineāro blīvumu, kā arī pavedienu procentuālajām attiecībām.

Modificētās kokvilnas dzijas/PES variantos GC ir samazinājusies tikai par 8 līdz 12 % salīdzinājumā ar PA/elastānu saturošās drānas variantiem 17 līdz 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 varianta ar nemodificētu kokvilnas dziju sastāvā (49,4 %).

Ceturtais 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 sagatavošanas 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. Modificētās 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. Adīšanai sagatavojot modificētajai dzijai pārspolēšanas procesā tiek uzņemts 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 šķiedru virsmas. Rūpnieciskā procesā ir iespējama labāka sola caurplūšanas kontrole nodrošinot vienmērīgu modificējošā sastāva piekļuvi un stabilizējot pārējos procesa parametrus, līdz ar to uzņemtā 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 %, salīdzinājumā 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 gram pozitīvajām *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 valkātajā 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, nopietni virsmas defekti konstatēti pēc 15 000 berzes cikliem, ytai 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 efektus, gan arī platinētās gludpinuma adīšanas tehnoloģiskā procesa parametru ietekmi 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 anti mikrobiālas aizsardzības nodrošināšanai, mehānisko īpašību, t.sk. nodilumizturības palielināšanai un 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. Bez tam novērojumi liecina, ka fluorūdeņražskābe solā pilda ne tikai katalizatora funkcijas, bet, kā liecina EDS un spektrālanalīze, sola-gēla procesa norisē pārklājuma sastāvā veidojas modificējošo efektu nodrošināšanai uz tekstilijām nozīmīgas C-F_n 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.



4.28. att. Zeķu izstrādājumu noslēdzošā hidrotermiskā apstrāde [131].

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 saglabātu zeķu izstrādājumos to funkcionālo veikspēju.

6. Salīdzinoša 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, pie tam 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. Darbā pētniecības procesā iegūtie regresijas vienādojumi un atbilstošie atbalss virsmu šķēlumi var kalpot sola sastāvu un procesa tehnoloģisko parametru izvēles un saskaņošanas procesā atbilstoši paredzamajam lietojumam.

9. Darbā izstrādātā Furjē 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. Iestrādājot adīšanas procesā platinētajā gludpinuma struktūrā modificētās kokvilnas dzijas komponenti robežās no 70 līdz 80%, (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 vērpšanas 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.

LITERATŪRAS AVOTU SARAKSTS

1. A. Oks, A. Katashev, E. Bernans, and V. Abolins, "Smart socks system as an equipment to analyze temporal parameters of human gait and running," in *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, 2017, vol. 3, pp. 238–241. doi: 10.17770/etr2017vol3.2622.
2. 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>
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., "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. "Antimicrobial Textiles Market Size and Share | Statistics - 2027." <https://www.gminsights.com/industry-analysis/antimicrobial-textiles-market> (accessed May 24, 2022).
16. "Functional Apparel Market Size and Demand | Industry Forecast, 2026."

<https://www.alliedmarketresearch.com/functional-apparel-market-A06084> (accessed Mar. 07, 2022).

17. “Global Functional Textiles Market Analysis by Top Players, Product Segments, Market Size and Leading Key Players 2022- 2027 - MarketWatch.” <https://www.marketwatch.com/press-release/global-functional-textiles-market-analysis-by-top-players-product-segments-market-size-and-leading-key-players-2022--2027-2022-01-25> (accessed Mar. 07, 2022).

18. “Antimicrobial Textile Market by Active Agents (Synthetic Organic Compounds, Metal & Metallic Salts, Bio-based), Application (Medical Textiles, Apparels, Home Textiles), Fabric (Cotton, Polyester, and Polyamide), and Region - Global Forecast to 2026.” <https://www.researchandmarkets.com/reports/4825467/antimicrobial-textile-market-by-active-agents> (accessed Jan. 13, 2022).

19. 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.

20. A. Bras *et al.*, “Vpliv nanotehnoškega postopka kemijske modifikacije na protimikrobno aktivnost in biorazgradljivost tekstilnih vlaken,” *Tekstilec*, vol. 60, no. 1, pp. 14–24, 2017, doi: 10.14502/Tekstilec2017.60.14-24.

21. S. Vihodceva and S. Kukle, “Cotton Fabric surface modification by sol-gel deposition of ZnO thin films,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2012, vol. 38, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/38/1/012022.

22. N. O. Camlibel and B. Arik, “Sol-Gel Applications in Textile Finishing Processes,” in *Recent Applications in Sol-Gel Synthesis*, InTech, 2017. doi: 10.5772/67686.

23. Z. Zelca, S. Kukle, and I. Bake, “Modification of natural fibers with sol-gel technology, durability of coatings and study of structure,” in *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2019, vol. 19, no. 6.1, pp. 281–288. doi: 10.5593/sgem2019/6.1/S24.037.

24. I. Bake, S. Kukle, and D. Belakova, “Surface characteristics of sol-gel treated single jersey plated socks,” *J. Eng. Fiber. Fabr.*, vol. 16, 2021, doi: 10.1177/1558925021996711.

25. N. H. A. Bakar, H. M. Yusop, W. N. W. Ismail, and N. F. Zulkifli, “Sol-Gel Finishing for Protective Fabrics,” *Biointerface Res. Appl. Chem.*, vol. 13, no. 3, pp. 1–17, 2023, doi: 10.33263/BRIAC133.283.

26. T. M. Abou Elmaaty, H. Elsis, G. Elsayad, H. Elhadad, and M. R. Plutino, “Recent Advances in Functionalization of Cotton Fabrics with Nanotechnology,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 20, pp. 1–17, 2022, doi: 10.3390/polym14204273.

27. M. Fernandes *et al.*, “Polysaccharides and Metal Nanoparticles for Functional Textiles: A Review,” *Nanomaterials*, vol. 12, no. 6, 2022, doi: 10.3390/nano12061006.

28. M. E. El-Naggar, S. Shaarawy, and A. A. Hebeish, “Multifunctional properties of cotton fabrics coated with in situ synthesis of zinc oxide nanoparticles capped with date seed extract,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 181, pp. 307–316, 2018. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.10.074.

29. I. G. Klepp, M. Buck, K. Laitala, and M. Kjeldsberg, “What’s the Problem? Odor-control and the Smell of Sweat in Sportswear,” <https://doi.org/10.1080/17569370.2016.1215117>, vol. 8, no. 2, pp. 296–317, Jul. 2016, doi: 10.1080/17569370.2016.1215117.

30. D. Sanders, A. Grunden, and R. R. Dunn, “A review of clothing microbiology: the history of clothing and the role of microbes in textiles,” *Biol. Lett.*, vol. 17, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.1098/rsbl.2020.0700.

31. P. M. Elias, “The how, why and clinical importance of stratum corneum acidification,” *Exp. Dermatol.*, vol. 26, no. 11, pp. 999–1003, 2017, doi: 10.1111/exd.13329.

32. A. L. Byrd, Y. Belkaid, and J. A. Segre, "The human skin microbiome," *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 16, no. 3, pp. 143–155, 2018, doi: 10.1038/nrmicro.2017.157.
33. R. R. Mather and R. H. Wardman, "Chemistry of Textile Fibres," *R. Soc. Chem.*, vol. 2nd ed, p. 388, 2015.
34. R. Rajendran, "Biotechnological application in textile Industry—Antimicrobial textiles," *Ind. Exploit. Microorg.*, p. 129, 2010.
35. P. Judith Perez Espitia, N. de Fátima Ferreira Soares, J. Sélia dos Reis Coimbra, N. José de Andrade, R. Souza Cruz, and E. Antonio Alves Medeiros, "Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Antimicrobial Activity and Food Packaging Applications", doi: 10.1007/s11947-012-0797-6.
36. S. Brzeziński, D. Kowalczyk, B. Borak, M. Jasiorski, and A. Tracz, "Nanocoat finishing of polyester/cotton fabrics by the sol-gel method to improve their wear resistance," *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, vol. 89, no. 6. pp. 83–88, 2011.
37. C. Amberg, S. Gallen, and C. Amberg, "Odour formation on textiles – Why do textiles accumulate Malodour?," no. February, pp. 1–27, 2014.
38. R. Gulati, S. Sharma, and R. K. Sharma, "Antimicrobial textile: recent developments and functional perspective," *Polymer Bulletin*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. doi: 10.1007/s00289-021-03826-3.
39. "Epstein L (2014) Fifty years since silent spring. *Annu Rev Phytopathol* 52:377–402. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto.102313.04590>".
40. J. Sjollem et al., "In vitro methods for the evaluation of antimicrobial surface designs.," *Acta Biomater.*, vol. 70, pp. 12–24, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.actbio.2018.02.001.
41. X. Song, J. Padrão, A. I. Ribeiro, and A. Zille, "Testing, characterization and regulations of antimicrobial textiles."
42. "US20170127740A1 - Antimicrobial Arm Sleeve - Google Patents." <https://patents.google.com/patent/US20170127740A1/en> (accessed Jan. 13, 2022).
43. K. Jagadeesan, "Antimicrobial Textiles for Long Duration Space Flight." [Online]. Available: https://digitalcommons.uri.edu/tmd_major_papers/6https://digitalcommons.uri.edu/tmd_major_papers/6
44. M. Arduoso, A. D. Forero-López, N. S. Buzzi, C. V. Spetter, and M. D. Fernández-Severini, "COVID-19 pandemic repercussions on plastic and antiviral polymeric textile causing pollution on beaches and coasts of South America," *Sci. Total Environ.*, vol. 763, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144365.
45. P. Limpiteprakan and S. Babel, "Leaching potential of silver from nanosilver-treated textile products," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 188, no. 3, pp. 1–12, Mar. 2016, doi: 10.1007/S10661-016-5158-X.
46. P. S. Sadalage, M. S. Nimbalkar, K. K. K. Sharma, P. S. Patil, and K. D. Pawar, "Sustainable approach to almond skin mediated synthesis of tunable selenium microstructures for coating cotton fabric to impart specific antibacterial activity," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 569, pp. 346–357, 2020, doi: 10.1016/j.jcis.2020.02.094.
47. R. Javed, M. Zia, S. Naz, S. O. Aisida, N. ul Ain, and Q. Ao, "Role of capping agents in the application of nanoparticles in biomedicine and environmental remediation: recent trends and future prospects," *J. Nanobiotechnology*, vol. 18, no. 1, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1186/s12951-020-00704-4.
48. M. I. H. Mondal, F. Ahmed, M. Roknuzzaman, M. N. Huda, and M. A. Habib, "Antimicrobial activity of chitosan and its derivatives exhausted cotton fabrics as ecofriendly antimicrobial agents," *J. Text. Eng. Fash. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 77–80, 2020, doi: 10.15406/jteft.2020.06.00233.
49. M. Bhushan, Y. Kumar, L. Periyasamy, and A. K. Viswanath, "Antibacterial

applications of α -Fe₂O₃/Co₃O₄ nanocomposites and study of their structural, optical, magnetic and cytotoxic characteristics,” *Appl. Nanosci.*, vol. 8, no. 1–2, pp. 137–153, 2018, doi: 10.1007/s13204-018-0656-5.

50. R. Pandimurugan and S. Thambidurai, “UV protection and antibacterial properties of seaweed capped ZnO nanoparticles coated cotton fabrics,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 105, pp. 788–795, 2017. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.097.

51. A. Kolodziejczak-Radzimska and T. Jesionowski, “Zinc oxide-from synthesis to application: A review,” *Materials*, vol. 7, no. 4. MDPI AG, pp. 2833–2881, 2014. doi: 10.3390/ma7042833.

52. M. Salat, P. Petkova, J. Hoyo, I. Perelshtein, A. Gedanken, and T. Tzanov, “Durable antimicrobial cotton textiles coated sonochemically with ZnO nanoparticles embedded in an in-situ enzymatically generated bioadhesive,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 189, pp. 198–203, 2018. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.02.033.

53. Y. Kumar and F. V Varghese, “REVOLUTION OF NOVEL AND ECO OF TEXTILES; FUTURE PERSPECTIVES IN TECHNICAL TEXTILES OF”, doi: 10.24327/ijcar.2020.

54. Z. A. Botelho CM, Fernandes MM, Souza JM, Dias N, Teixeira JA, Fangueiro R, “Mint: New textile for personal protective equipment–plasma chitosan/silver nanoparticles nylon fabric. *Fibres.*,” *Fibres.*, vol. 9, no. 3, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.13390/fib9010003>

55. S. Puttaswamy, S. K. Gupta, H. Regunath, L. P. Smith, and S. Sengupta, “A Comprehensive Review of the Present and Future Antibiotic Susceptibility Testing (AST) Systems,” *Arch. Clin. Microbiol.*, vol. 09, no. 03, 2018, doi: 10.4172/1989-8436.100083.

56. I. Katerine *et al.*, “Antifungal activity of cotton fabrics finished modified silica-silver-carbon-based hybrid nanoparticles,” *Text. Res. J.*, vol. 89, no. 5, pp. 825–833, 2019, doi: 10.1177/0040517518755792.

57. J. Sunthornvarabhas *et al.*, “Utilization of Lignin Extracts from Sugarcane Bagasse as Bio-based Antimicrobial Fabrics,” *Sugar Tech*, vol. 21, no. 2, pp. 355–363, 2019, doi: 10.1007/s12355-018-0683-2.

58. M. El Kashouty, H. El Syaed, S. Twaffiek, T. Salem, and S. S. M. Elhadad, “An overview: Textile surface modification by using sol-gel technology,” *Egypt. J. Chem.*, vol. 63, no. 9, pp. 3301–3311, Sep. 2020, doi: 10.21608/ejchem.2020.24441.2464.

59. F. Ferrero and M. Periolatto, “Application of fluorinated compounds to cotton fabrics via sol-gel,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 275, pp. 201–207, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.apsusc.2013.01.001.

60. A. B. D. Cassie and S. Baxter, “Wettability of porous surfaces,” *Trans. Faraday Soc.*, vol. 40, pp. 546–551, Jan. 1944, doi: 10.1039/TF9444000546.

61. C. Schramm, S. B. Vukušić, and D. Katovic, “Non-formaldehyde durable press finishing of dyed fabrics: Evaluation of cotton-bound polycarboxylic acids,” *Color. Technol.*, vol. 118, no. 5, pp. 244–249, 2002, doi: 10.1111/J.1478-4408.2002.TB00107.X.

62. Q. Zhao, L. Y. L. Wu, H. Huang, and Y. Liu, “Ambient-curable superhydrophobic fabric coating prepared by water-based non-fluorinated formulation,” *Mater. Des.*, vol. C, no. 92, pp. 541–545, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.MATDES.2015.12.054.

63. L. Hao, T. Gao, W. Xu, X. Wang, S. Yang, and X. Liu, “Preparation of crosslinked polysiloxane/SiO₂ nanocomposite via in-situ condensation and its surface modification on cotton fabrics,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 371, pp. 281–288, 2016, doi: 10.1016/j.apsusc.2016.02.204.

64. M. G. Onar N, “Development of water repellent cotton fabric with application of ZnO, Al₂O₃, TiO₂ and ZrO₂ nanoparticles modified with ormosils,” *Tekst. ve Konfeksiyon.*, vol. 26, no. 3, pp. 295–302, 2016.

65. J. Vasiljević *et al.*, “Influence of oxygen plasma pre-treatment on the water repellency of cotton fibers coated with perfluoroalkyl-functionalized polysilsesquioxane,” *Fibers Polym.*, vol. 17, no. 5, pp. 695–704, 2016, doi: 10.1007/s12221-016-5652-3.
66. C. Colleoni, E. Guido, V. Migani, and G. Rosace, “Hydrophobic behaviour of non-fluorinated sol-gel based cotton and polyester fabric coatings;,” <http://dx.doi.org/10.1177/1528083713516664>, vol. 44, no. 6, pp. 815–834, Dec. 2013, doi: 10.1177/1528083713516664.
67. Š. I. (2014). A. integrētas elektroniskas termoregulācijas sistēmas izstrāde. P. Darba, “No Title”.
68. M. Krifa, “Electrically Conductive Textile Materials—Application in Flexible Sensors and Antennas,” *Textiles*, vol. 1, no. 2, pp. 239–257, 2021, doi: 10.3390/textiles1020012.
69. “Smart Textiles: Classification, Application and Importance - Textile Learner.” <https://textilelearner.net/an-overview-of-smart-textiles/> (accessed Apr. 25, 2022).
70. M. G. Tadesse, C. Loghin, I. Dulgheriu, and E. Loghin, “Comfort evaluation of wearable functional textiles,” *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 21, 2021, doi: 10.3390/ma14216466.
71. “Smart Textile Market Size Worth \$5.55 Billion By 2025 | CAGR: 30.4%.” <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-smart-textiles-industry> (accessed Jan. 11, 2022).
72. T. Malik and T. K. Sinha, “Clothing comfort: A key parameter in clothing,” *Pakistan Text. J.*, vol. 61, no. 1, pp. 55–57, 2012.
73. I. Indriksone and I. Ziemele, “Komforts apģērbā,” 2011.
74. “Low Body Temperature Symptoms and Causes - And How to Treat It.” <https://drsircus.com/light-heat/low-body-temperature-symptoms-causes-treat/> (accessed Jun. 03, 2022).
75. “Microbial Origins of Body Odor.” <https://asm.org/Articles/2021/December/Microbial-Origins-of-Body-Odor> (accessed Jun. 03, 2022).
76. C. Callewaert, J. Lambert, and T. Van de Wiele, “Towards a bacterial treatment for armpit malodour,” *Exp. Dermatol.*, vol. 26, no. 5, pp. 388–391, May 2017, doi: 10.1111/EXD.13259.
77. Y. Teyeme, B. Malengier, T. Tesfaye, S. Vasile, and L. Van Langenhove, “Comfort evaluation of cyclists jerseys using wear trial test,” *Tekstilec*, vol. 63, no. 4, pp. 263–275, 2020, doi: 10.14502/Tekstilec2020.64.263-275.
78. Y. Jhanji, D. Gupta, and V. K. Kothari, “Thermo-physiological properties of polyester-cotton plated fabrics in relation to fibre linear density and yarn type,” *Fash. Text.*, vol. 2, no. 1, 2015, doi: 10.1186/s40691-015-0041-x.
79. P. Roshan, *Functional finishes for textiles: Improving Comfort, Performance and Protection*. 2015. Accessed: Aug. 01, 2022. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1533/9780857098450.2.579>
80. W. E. Morton and J. W. S. Hearle, Eds., “Woodhead Publishing in Textiles,” in *Physical Properties of Textile Fibres (Fourth Edition)*, Fourth Edi., Woodhead Publishing, 2008, pp. xv–xix. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-220-9.50030-5>.
81. D. C. Prevorsek, Y. don Kwon, and R. K. Sharma, “Structure and properties of Nylon 6 and PET fibres: the effects of crystallite dimensions,” *J. Mater. Sci.*, vol. 12, pp. 2310–2328, 1977.
82. B. L. Deopura and N. V Padaki, “Chapter 5 - Synthetic Textile Fibres: Polyamide, Polyester and Aramid Fibres,” in *Textiles and Fashion*, R. Sinclair, Ed. Woodhead Publishing, 2015, pp. 97–114. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00005-2>.
83. Z. Zakaria, Z. Izzah, M. Jawaid, and A. Hassan, “Effect of degree of deacetylation of

chitosan on thermal stability and compatibility of chitosan-polyamide blend,” *BioResources*, vol. 7, no. 4, pp. 5568–5580, 2012, doi: 10.15376/biores.7.4.5568-5580.

84. “Chemical resistance Polyamide resistance to chemicals ”. <https://www.celanese.com/en/sitesearch?q=Polyamide%20resistance%20to%20chemicals%20CELANYL%C2%AE%20FRIRANYL%C2%AE>

85. R. Sinclair, *Textiles and Fashion. Materials, Design and Technology. A volume in Woodhead Publishing Series in Textiles*. 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845699314090024>

86. G. Socrates, “Infrared and Raman characteristic group frequencies : tables and charts,” 2001.

87. B. Zinn, “Bruker Tensor 27 FT-IR & OPUS Data Collection Program,” *Stanley Gr. Catal. Stud.*, pp. 1–47, 2004.

88. 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.

89. G. Rotter and H. Ishida, “FTIR separation of nylon-6 chain conformations: Clarification of the mesomorphous and γ -crystalline phases,” *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 30, no. 5, pp. 489–495, 1992, doi: 10.1002/polb.1992.090300508.

90. G. a. L. Verleye, N. P. G. Roeges, and M. O. De Moor, “Easy Identification of Plastics and Rubbers,” *Rapra Technol. Limited, Shropshire*, pp. 174., p. 174, 2001.

91. 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.

92. “Textile Adviser: PROPERTIES OF POLYESTER FIBRE.” <https://www.textileadvisor.com/2019/12/properties-of-polyester-fibre.html> (accessed Jun. 14, 2023).

93. “Synthetic Fibres: Name, List, Examples, Types & Advantages - Embibe.” <https://www.embibe.com/exams/synthetic-fibres/> (accessed Jun. 21, 2023).

94. L. P. Singh *et al.*, “Sol-Gel processing of silica nanoparticles and their applications,” *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 214, pp. 17–37, 2014, doi: 10.1016/j.cis.2014.10.007.

95. Q. Wei, *Surface modification of textiles*. 2009. doi: 10.1533/9781845696689.

96. P. Karasiński, “Influence of technological parameters on the properties of sol-gel silica films,” 2005.

97. W. N. W. Ismail, “Sol-gel technology for innovative fabric finishing—A Review,” *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, vol. 78, no. 3. Springer New York LLC, pp. 698–707, Jun. 01, 2016. doi: 10.1007/s10971-016-4027-y.

98. R. Bacani, F. Trindade, M. J. Politi, and E. R. Triboni, *Nano design for smart gels*. Elsevier;, 2019. doi: 10.1016/C2017-0-02169-9.

99. D. Ficaí and A. Grumezescu, *Nanostructures for Novel Therapy: Synthesis, Characterization and Applications*. 2017.

100. A. E. Danks, S. R. Hall, and Z. Schnepf, “The evolution of ‘sol-gel’ chemistry as a technique for materials synthesis,” *Mater. Horizons*, vol. 3, no. 2, pp. 91–112, Mar. 2016, doi: 10.1039/c5mh00260e.

101. C. Jeffrey Brinker and George W. Scherer, *Sol-Gel Science The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press, 2013.

102. S. Vihodceva, “Nanolīmenī modificētu tekstiliju sortimenta paplašināšana. Promocijas darbs. Rīga: RTU, 2014, 207 lpp.”

103. “ISO - ISO 6330:2021 - Textiles — Domestic washing and drying procedures for textile testing”.

104. "EN 12127:1997 - Textiles - Fabrics - Determination of mass per unit area using small samples".
105. "EN 14971:2006 - Textiles - Knitted fabrics - Determination of number of stitches per unit length and".
106. D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments, 8th edition*, vol. 32, no. 1. John Wiley & Sons, Incorporated, 2013. doi: 10.1002/ep.11743.
107. *ISO 139:2005 Textiles — Standard atmospheres for conditioning and testing*. Accessed: Mar. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/35179.html>
108. "ISO - 2062:2009 - Textiles — Yarns from packages — Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester.".
109. B. S. E. N. Iso, "Textiles — Yarns from packages — Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE)," *Management*, 2009.
110. Baltiņa I. (2001). Rīga: RTU Izdevniecība. 95, "Metodiskie norādījumi laboratorijas darbiem tekstilmateriālzinībās.".
111. "LVS EN ISO 12947-1:2001. Tekstilizstrādājumi - Izstrādājumu nodulumizturības noteikšana ar Martindeila metodi - 2.daļa: Martindeila abraziīvās nodilšanas pārbaudes ierīce. – 2001 – 12 p.".
112. "ISO - ISO 9237:1995 - Textiles — Determination of the permeability of fabrics to air".
113. "Hydrophilic to hydrophobic surfaces - Morphotonics." <https://www.morphotonics.com/research-and-development/contact-angles/> (accessed Jun. 15, 2022).
114. "ISO - ISO 11092:2014 - Textiles — Physiological effects — Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)." <https://www.iso.org/standard/65962.html> (accessed Mar. 15, 2023).
115. S. Vihodceva, J. Barloti, S. Kukle, and G. Zommere, "Natural fibre textile nano-level surface modification," in *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, 2011, vol. 2, pp. 113–117. doi: 10.17770/etr2011vol2.1007.
116. S. Kukle, S. Vihodceva, D. Belakova, 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.
117. P. Innocenzi., "Infrared spectroscopy of sol–gel derived silica--based films: a spectra--- microstructure overview," *J Non-Crystalline Solids* 309-319, vol. 316, pp. 309–319.
118. N. A. Rangel-Vázquez and T. Leal-García, "Spectroscopy analysis of chemical modification of cellulose fibers," *J. Mex. Chem. Soc.*, vol. 54, no. 4, pp. 192–197, 2010.
119. Laura Viķele, *Bionoārdošu dabas polimēru izmantošana iepakojamā papīra īpašību uzlabošanai. Promocijas darbs. Latvijas Universitāte, Rīga, 2016.*
120. G. Rotter and H. Ishida, "FTIR separation of nylon-6 chain conformations: Clarification of the mesomorphous and γ -crystalline phases," *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 30, no. 5, pp. 489–495, Apr. 1992, doi: 10.1002/POLB.1992.090300508.
121. 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.
122. David J Spencer, *Knitting technology - a comprehensive handbook and practical guide*. Elsevier. ISBN 1 85573, 2006.
123. 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.
124. Z. Kukle, S., Baķe, I., Vihodceva, S., Zelča, "Evaluation of Deposited Nano-Scale

Coating Structures and Their Interaction with Cotton/Polyamide Substrats.,” in *In: 27th Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE-27): Conference Proceedings, Spain, Granada, 14-20 July, 2019. Granada: University of Granada, 2019, p. pp.1-3.*

125. S. Bhattacharya, S. B. Chaudhari, S. Bhattacharya, and S. Chaudhari, “Study on Structural, Mechanical and Functional Properties of Polyester Silica Nanocomposite Fabric,” *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol.*, vol. 21, no. 1, pp. 43–52, 2014, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/277650273>

126. “Bakterioloģija – NMS laboratorija.” http://www.nms-laboratorija.lv/lv/book_page/bakteriologija/ (accessed Mar. 22, 2023).

127. T. A. Taylor and C. G. Unakal, “Staphylococcus Aureus.,” Treasure Island (FL), 2023.

128. A. G. James, J. Casey, D. Hyliands, and G. Mycock, “Fatty acid metabolism by cutaneous bacteria and its role in axillary malodour,” *World J. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 20, no. 8, pp. 787–793, 2004, doi: 10.1007/s11274-004-5843-8.

129. H. Carmichael., “Foot odor microbes.,” 2017. https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Foot_Odor_Microbes

130. H. Takemura, N. Ando, and Y. Tsukamoto, “Breeding of branched short-chain fatty acids non-producing natto bacteria and its application to production of natto with light smells,” *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, vol. 47, no. 10, pp. 773–779, 2000, doi: 10.3136/nskkk.47.773.

131. “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.