

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Dizaina tehnoloģiju institūts

Svetlana VIHODCEVA
Doktora studiju programmas „Apģērbu un tekstila tehnoloģija” doktorante

**NANOLĪMENĪ MODIFICĒTU
TEKSTILIJU SORTIMENTA
PAPLAŠINĀŠANA**

Promocijas darbs

Zinātniskā vadītāja
Dr. habil. sc. ing., profesore
Silvija KUKLE

Zinātniskā konsultante
Dr. sc. ing., docente
Malgožata ZIMNIEVSKA
Inovatīvo tekstiltehnoloģiju katedras vadītāja
Dabisko šķiedru un ārstniecisko augu institūts, Polija

Zinātniskais konsultants
Dipl. ing., docents
Jānis BARLOTI
Elektronikas un telekomunikāciju fakultāte

Rīga 2014

PATEICĪBA

Vēlētos izteikt visdziļāko pateicību savai darba zinātniskajai vadītājai Dr. habil. sc. ing. profesorei Silvijai Kuklei. Paldies par darba procesa konstruktīvo vadīšanu, kritiku un padomu sniegšanu.

Liels paldies promocijas darba konsultantam Dipl. ing. docentam Jānim Barloti par sirsnīgo attieksmi, pieejamību un vēlēšanos dalīties savā pieredzē.

Liela daļa no pētījumu rezultātiem iegūti prakses laikā Polijas Dabisko Šķiedru un Ārstniecisko Augu institūta Tekstilmateriālu laboratorijā, paldies Dr. sc. ing. Malgožatai Zimnievskaī par pieņemšanu savā grupā un iespēju veikt pētījumus.

Paldies LU Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūta vadošai pētniecei Dr. biol. Olgai Muterei par iespēju veikt mikrobioloģiskos pētījumus.

Protams, šo darbu nebūtu iespējams veikt bez vecāku atbalsta, tāpēc esmu bezgala pateicīga savam tētim un mammai par atbalstu studiju procesu uzsākot un pavadot!

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

This work has been supported by the European Social Fund within the project «Support for the implementation of doctoral studies at Riga Technical University».

Эта работа выполнена при содействии Европейского социального фонда в рамках проекта «Поддержка развития докторантуры РТУ».



IZMANTOTIE SAĪSINĀJUMI UN APZĪMĒJUMI

UV – ultravioletais starojums

UPF – ultravioletā starojuma aizsardzības faktors

SEM – skenējoša elektronu mikroskopija

EDS (EDX) – enerģijas dispersīvā rentgenstaru spektroskopija

ASM (AFM) – atomspēku mikroskopija

mm Hg – spiediens vakuumkamerā

K – absorbcijas koeficients

Pa – spiediens (gaisa caurlaidības mērījumos)

DNS (DNA) – dezoksiribonukleīnskābe

P. aeruginosa – *Pseudomonas aeruginosa*

S. epidermidis – *Staphylococcus epidermidis*

S. aureus – *Staphylococcus aureus*

E. coli – *Escherichia coli*

C. albicans – *Candida albicans*

P. fluorescens – *Pseudomonas fluorescens*

S. cerevisiae – *Saccharomyces cerevisiae*

T. viride – *Trichoderma viride*

TEOS – tetraetilortosilikāts

CSH – cinka sulfāta heptahidrāts

CAD – cinka acetāta dihidrāts

Rpm – apgriezieni minūtē

K – kelvins (temperatūras vienība)

KVV – kolonijas veidojošās vienības

H – higroskopiskums

Θ – slapēšanas līdzsvara lēņķis

SATURS

ANOTĀCIJA	7
ANNOTATION	9
IEVADS	11
1. LITERATŪRAS APSKATS	18
1.1. Materiāli	18
1.1.1. Dabisko šķiedru tekstilijas	18
1.1.2. Kokvilna	19
1.2. Tekstilizstrādājumi ar metālu vai metālu oksīdus saturošiem pārklājumiem	20
1.3. Tekstilijas ar antimikrobiālām īpašībām	20
1.4. Tekstilijas ar UV aizsardzības īpašībām.....	24
1.5. Tekstilijas ar ūdens atgrūšanās īpašībām	33
1.6. Tekstiliju modificēšanas tehnoloģijas	34
1.6.1. Pulveru vai nanodaliņu uznešana ar saistvielu	34
1.6.2. Elektrolītiskā nogulsnešana	35
1.6.3. Vakuuma pārklājuma uznešanas tehnoloģijas	36
1.6.4. Magnetrona izputināšanas tehnoloģija	37
1.6.5. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija.....	41
1.6.6. Tekstilijas virsmas modificēšana/attīrīšana ar plazmas joniem	42
1.6.7. Sola-gēla tehnoloģija	44
1.7. Varš un vara īpašības	49
1.8. Kopsavilkums	51
2. METODISKĀ DAĻA	56
2.1. Vakuuma pārklājuma uznešanas tehnoloģijas	56
2.1.1. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija.....	56
2.1.2. Tekstilijas virsmas modifikācija/attīrīšana ar plazmas joniem	57
2.1.3. Magnetrona izputināšanas tehnoloģija	58
2.2. Sola-gēla metode.....	60
2.2.1. Sola sintēze un tekstiliju modificēšanas tehnoloģija	60
2.3. Skenējošā elektronu mikroskopija.....	62
2.3.1. Enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas analīze.....	63
2.4. Furjē transformāciju infrasarkanā spektroskopija.....	63
2.5. Rentgenstaru difrakcijas metode (XRD)	63
2.6. Atomspēku mikroskopija	63

2.7.	Hidrotermiskā apstrāde (mazgāšana-žāvēšana)	64
2.8.	Tekstilijas modificējošo pārklājumu adhēzijas un nodilumizturības novērtēšana	64
2.9.	Antimikrobiālo īpašību analīze	64
2.9.1.	Patogēnie mikroorganismi	64
2.9.2.	Celulozes tekstiliju destrukciju izraisošo mikroorganismu adhēzijas novērtēšana	68
2.9.3.	Mikroorganismu adhēzijas novērtēšana	68
2.10.	UV aizsardzības noteikšana	69
2.11.	Gaisa caurlaidības novērtēšana	70
2.12.	Šķidrumsorbcijas noteikšana	70
2.13.	Paraugu higroskopiskuma noteikšana	71
2.14.	Slapēšanas līdzsvara leņķa novērtēšana	71
2.15.	Bāzes tekstiliju sastāvs un struktūru raksturojošie parametri	73
3.	REZULTĀTI.....	74
3.1.	Ar vara pārklājumu modificētu tekstiliju virsmu mikrostruktūra (SEM)	74
3.1.1.	Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija	74
3.1.2.	Magnetrona izputināšanas tehnoloģija	79
3.2.	Sola-gēla procesā modificētu tekstiliju vizuālais izskats un struktūra	83
3.2.1.	Termiskās pēcapstrādes ietekme	83
3.2.2.	Tekstiliju virsmas mikrostruktūra (SEM)	87
3.2.3.	Tekstiliju paraugu EDS analīzes rezultāti	97
3.2.4.	Modificēto paraugu Furjē transformāciju infrasarkanās spektroskopijas (FTIR) analīze	101
3.2.5.	Modificēto paraugu rentgenstaru difrakcijas (XRD) analīze	104
3.2.6.	Modificēto tekstiliju virsmas topogrāfija (ASM)	106
3.3.	Modificējošā pārklājuma adhēzija ar tekstilijas virsmu un nodilumizturība	108
3.4.	Modificētu kokvilnas tekstiliju antimikrobiālās īpašības	112
3.4.1.	Patogēnie mikroorganismi	112
3.4.2.	Celulozes tekstiliju destrukciju izraisošie mikroorganismi	121
3.4.3.	Mikroorganismu adhēzija	131
3.5.	Modificēto tekstiliju aizsardzība pret ultravioleto starojumu	134
3.6.	Gaisa caurlaidība	147
3.7.	Šķidrumsorbcija	158
3.8.	Paraugu higroskopiskums	160
3.9.	Slapēšanas līdzsvara leņķa noteikšanas rezultāti	163
3.10.	Kopsavilkums	168

3. VISPARĪGI SECINĀJUMI	173
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	174
PIELIKUMS.....	193

ANOTĀCIJA

Darbā izskatītie jautājumi par tekstiliju virsmas modifikāciju ar metālu un nemetālu funkcionālas grupas saturošiem nanolīmeņa pārklājumiem liecina par jaunām iespējām tādu materiālu iegūšanai, kuros kombinētas tekstilijas īpašības ar pārklājuma piešķirtajiem īpašībām. Pārklāto tekstiliju īpašību analīze ļauj noteikt šo materiālu iespējamus lietojumus dažādiem mērķiem un ierobežojumus. Darbā iztirzātas izmantoto metožu priekšrocības un trūkumi, balstoties uz publicēto materiālu, praktiskās pieredzes un iegūto rezultātu analīzi novērtēta tehnoloģiskās vides un parametru ietekme uz modificēto dabisko šķiedru tekstiliju funkcionālajām un ekspluatācijas īpašībām.

Darba literatūras apskatā sakopota informācija par tekstiliju modificēšanas tehnoloģijām un procesiem, modificēto tekstiliju lietojuma jomām ikdienā un medicīnā, dabisko šķiedru priekšrocībām salīdzinājumā ar sintētiskajām šķiedrām, papildīpašību apskats, kādas iespējams piešķirt tekstiliju modificēšanas procesos.

Darba metodiskajā daļā aprakstīts pētījumu procesā lietoto metožu, tehnoloģiju un testēšanas metožu spektrs: tekstiliju pārklājumu iegūšanas tehnoloģijas, aprīkojumu, tehnoloģisko procesu norise un režīmi, kā arī lietotās pētīšanas metodes un nosakāmie parametri. Apskatīta skenējoša elektronu mikroskopijas (SEM) pētījumu tehnika virsmas struktūras analīzei, atomspēku mikroskopijas (ASM) pētījumu tehnoloģija virsmas topogrāfijas analīzei, enerģijas dispersīvā rentgenstaru spektroskopijas (EDS), rentgenstaru difrakcijas (XRD) un Furjē transformāciju infrasarkanā spektroskopijas (FTIR) analīze pārklājuma sastāva izpētei, gaisa caurlaidības, higroskopiskuma, slapēšanas līdzsvara leņķa un šķidrumsorbcijas novērtēšanas metodes, ultravioletā starojuma (UV) aizsardzības faktora novērtēšana, antimikrobiālās aktivitātes *in vitro* testēšanas un iegūto datu interpretācijas metodes.

Darba eksperimentālajā daļā aprakstītas izstrādātās dabisko tekstiliju pārklāšanas tehnoloģijas. Pamatoti laika režīmi, temperatūras, šķīdumu koncentrācijas diapazons, noteikti optimālie darba parametri un tehnoloģiskās iekārtas. Novērtēta iegūto paraugu izturība pret berzes deformācijām un hidrotermisko apstrādi. Izvērtēta *in vitro* iegūto paraugu antimikrobiālā iedarbība un mikroorganismu adhēzija uz paraugu virsmas. Pētījumu rezultātā izveidotās modifikācijas tehnoloģijas un izstrādājumu prototipi ļauj vienā modifikācijas procesā integrēt dabisko celulozes šķiedru tekstilmateriālos tādas papildīpašības kā izcilu UV aizsardzību, antimikrobiālās īpašības, ūdens atgrūšanas spējas, saglabājot higiēniskajam

komfortam nepieciešamo gaisa caurlaidību un higroskopiskuma spēju, kas ilgstoši saglabājas ekspluatācijas procesā.

Darbs satur 207 lappuses ar 125 attēliem un 22 tabulām. Tas sastāv no ievada, 4 nodaļām un nobeiguma ar secinājumiem. Literatūras sarakstā ir 217 nosaukumi.

ANNOTATION

The present paper addresses the textile surface modification with the nanolevel coatings containing metals and non-metals functional groups, thus offering new opportunities for the development of materials with combined properties of both textile fabrics and functional groups of the coating. The analysis of the coated textile materials allows defining possible applications for different purposes, as well as outlining their limitations of use. The present study highlights the advantages and drawbacks of the proposed methods. Based on a series of published materials and significant experience in the field, the analysis of the obtained results contributes to the assessment of the impact of technological environment and parameters on the functional and exploitation characteristics of modified natural fibre textile materials.

Literature review includes information on the textile material modification methods and processes, application of modified textile materials in daily life and medicine, advantages of natural fibres in comparison with synthetic fibres, as well as additional properties assigned during the textile material modification processes.

The methodological part of the present paper includes the description of the research methods, as well as technological and testing methods employed, i.e. textile surface coating production methods, equipment, conditions and procedures of technological processes involved, and definable parameters. The author describes scanning electron microscope (SEM) equipment used for the surface structure analysis, atomic force microscopy (AFM) technique adopted for the analysis of surface topography of fabrics, energy dispersive x-ray spectroscopy (EDX), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray diffraction analyses performed for the study of coating composition, air permeability, hygroscopicity, contact angle and liquid sorption assessment methods, ultraviolet (UV) protection factor assessment, microbial activity testing and data interpretation techniques.

The experimental part of the research includes the description of the natural fibre textile material coating technologies. Timing, temperature, solution concentration range, optimal working parameters and technological equipment is specified. Resistance to friction and hydrothermal treatment of the obtained samples is evaluated. The author assesses the antimicrobial activity and adhesion of micro-organisms on the surface of *in vitro* obtained samples. Due to the prototypes of the developed modification technology, natural cellulose textile fibres can be attributed such additional properties as excellent UV protection, antimicrobial properties, and water-repellent abilities, preserving air and water vapour

permeability necessary for the maintenance of hygienic comfort, with long-term persistence in the exploitation process.

The work consists of 207 pages with 125 figures and 22 tables. It includes an introduction, 4 chapters and a summary with conclusions. Bibliography consist from 217 titles.

IEVADS

Papildfunkciju pievienošana tradicionāliem materiāliem ļauj piešķirt ekspluatācijā noderīgas īpašības, atrast to jaunus lietojumu apgabalus, risināt ekoloģiska rakstura problēmas, uzlabot lietotāju dzīves kvalitāti un rezultātā palielināt materiāla pievienoto vērtību un konkurētspēju. Tradicionāli lietotu tekstiliju virsmas pārklājot ar nanolīmeņa pārklājumiem līdztekus tādām tiem raksturīgām īpašībām, kā elastība, vieglums, stingrība, mīksts un c., var piešķirt virkni jauniegūtu īpašību. Pie modifikācijas procesa piešķirtajām jaunajām īpašībām pieskaitāmas tādas, kā aizsardzība pret UV, antimikrobiālā iedarbība, uzlabota ķīmiskā un mehāniskā izturība, virsmas pašattīršanās spēja, uzlabota vai, taisni otrādi, samazināta spēja saistīt ūdens tvaikus u. c. Nākotnes tendence tekstiliju nozarē ir vairākfunkciju materiāli no dabiskām šķiedrām ar tādām integrētam papildfunkcijām kā UV aizsardzība, antimikrobiālā iedarbība, ūdens atgrūšana, fotokatalītiskas īpašības u. c. un šo funkciju apvienojums vienā tekstilmateriālā.

Darba ietvaros jauno papildfunkciju integrēšanai modificētas dabisko šķiedru tekstilijas, izveidojot uz to virsmas varu (Cu) saturošus pārklājumus, jo Cu gadsimtu gaitā uzskatīts par cilvēka organismam nekaitīgu ķīmisko elementu ar izteiktām antimikrobiālām īpašībām. Ar sola-gēla tehnoloģiju iegūti amorfi Si un Zn saturoši pārklājumi piešķir modificētām tekstilijām tādas jaunas īpašības kā antimikrobiāla iedarbība, aizsardzība pret UV starojumu un hidrofobitāte. Modificētu tekstiliju ar integrētam antimikrobiālām īpašībām iespējamās lietojumu jomas ir ļoti daudzveidīgas. No tam var izgatavot pārsējus, tās var iestrādāt plāksteros kā aktīvās komponentes, izgatavot no modificētajiem audekliem gultas un interjera tekstilijas, apģērbus pacientiem un personālam lietošanai slimnīcās, pansionātos, rehabilitācijas centros, kā arī apģērbus un/vai funkcionālus tekstilizstrādājumus speciālām vajadzībām u. c. Antimikrobiālie pārklājumi uz tekstilmateriālu virsmas ļauj izvairīties no savstarpējas inficēšanās ar patogēniem mikroorganismiem, kontrolē mikroorganismu invāziju, apstādina mikroorganismu biotransformāciju, lai samazinātu smaku veidošanos, aizsargā tekstilizstrādājumus no krāsas izmaiņām un destrukcijas, ko izsauc mikroorganismi.

Ņemot vērā, ka amorfi Si un Zn saturoši tekstiliju virsmu pārklājumi ievērojami uzlabo to UV starojuma aizsardzības spēju, modificētām tekstilijām paveras plašs lietojumu spektrs gan ikdienas, gan speciālos apģērbos, kā arī daudzveidīgos ārvides tekstilizstrādājumos. Ozona slāņa sarukums un līdz ar to UV daļas palielinājums rada augošu nepieciešamību pēc apģērbiem un aksesuāriem, kas nodrošina aizsardzību pret UV. Vairums aprītē lietotu vasaras apģērbu un cepuru tipa izstrādājumu nenodrošina pietiekošu UV

aizsardzību. Epidemioloģiskie un eksperimentālie pētījumi liecina, ka UV var dažādos veidos ietekmēt ļaundabīgu ādas veidojumu attīstību: tas var kalpot kā pilnvērtīgs kancerogēns, kā ierosinātājs daudzpakāpju kancerogēnēzē un kā kancerogēnēzes veicinātājs; pēdējā desmitgadē saslimšanas gadījumu skaits ar ādas ļaundabīgiem veidojumiem uzrāda strauji augošu tendenci. UVA/UVB staru iedarbības ietekmē notiek ne tikai ļaundabīgo veidojumu attīstība, bet arī ādas fotonovecošana. Tekstilizstrādājumi, cepures, apģērbi no tekstilmateriāliem ar UV filtriem ļaus pasargāt cilvēku no UV kaitīgas iedarbības, kā arī aizsargājošais pārklājums dos iespēju pagarināt dabisko šķiedru tekstiliju kalpošanas laiku.

Tehniskajām un speciālā lietojuma tekstilijām bieži nepieciešama beigu apdare, kas nodrošina ūdens atgrūšanas īpašības - hidrofobizāciju. Dabiskās – gan celulozes, gan olbaltumvielu šķiedras, kas satur ievērojamu daudzumu aktīvo hidroksilgrupu (-OH) mitrumu saista visvairāk. Ūdens atgrūšana ir svarīga papildfunkcija gan apģērbos, gan apavos un tā līdztekus antimikrobiālām īpašībām ir nepieciešama dažāda lietojuma ārvides tekstilijām .

Darba mērķis.

Tehnoloģiju pielāgošana/izstrāde un optimizācija dabisko šķiedru tekstiliju virsmas nanolīmeņa modifikācijai integrētu funkcionālu papildīpašību piešķiršanai.

Darba uzdevumi.

1. Publicēto informācijas avotu atlase, sistematizācija un analītiska apskata izveide par iespējām piešķirt papildfunkcijas modificējot tekstiliju virsmas.
2. Dabisko šķiedru tekstiliju virsmas modifikācijai piemērotu iespējamo tehnoloģiju salīdzinoša analīze.
3. Funkcionālo elementu/grupu atlase kokvilnas šķiedru tekstiliju virsmas modifikācijai mērķa efektu nodrošināšanai.
4. Apstrādes sastāvu, tehnoloģisko procesu un parametru izvēle, to optimizācija.
5. Modificēto kokvilnas audumu paraugu izgatavošana, tehnoloģiju pilnveidošana.
6. Metodikas izveide metalizēto tekstiliju virsmas pārklājumu analīzei.
7. Sasaistes, funkcionālo un ekspluatācijas īpašību testēšana atbilstoši standartiem un/vai darba ietvaros izstrādātajām metodikām.
8. Modificēto kokvilnas tekstiliju funkcionālo īpašību un to ilgtspējas analīze, iespējamo lietojumu definējums.

Darba zinātniskās novitātes.

1. Izpētīti kokvilnas šķiedru tekstiliju priekšapstrādes efekti zema spiediena gaisa plazmas vidē atkarībā no apstrādes laika un to ietekme uz tekstiliju sasaisti ar metālpārklājumiem termiskās vakuuma iztvaicēšanas procesā.
2. Veiktā salīdzinošā termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas tehnoloģiju ietekmes izpēte uz vara pārklājuma antimikrobiālām īpašībām pie dažādiem mikroorganismu koncentrācijas līmeņiem un tipiem ir radījusi pamatojumu mērķtiecīgai modifikācijas metodes izvēlei un priekšstatu par sagaidāmo nomākuma selektivitāti.
3. Izstrādātā „Bezkontakta metode uzņestās metāla kārtiņas un metālpārklātu tekstiliju virsmas izmaiņu pētīšanai”, balstoties uz atstarotās un caurejošās gaismas intensitātes mērījumiem, ļauj iegūt detalizētu ieskatu par tekstilijas virsmas izmaiņām pēc metāla pārklājumu uznešanas, pētīt tehnoloģiju un tehnoloģisko parametru salīdzinošu ietekmi uz pārklājuma viendabību, kā arī novērtēt ekspluatācijas radīto pārklājuma bojājumu līmeni.
4. Kokvilnas tekstiliju apstrādei adaptētā sola-gēla metode, sola sastāvs un optimizētā sola sintēzes metode, kā arī pētījuma gaitā noteiktā apstrādes un pēcapstrādes režīmu kombinācija ļauj modificēt tekstiliju šķiedras piešķirot ar vienu apstrādi antimikrobiālas un ūdens atgrūšanas īpašības, aizsardzību pret pilnu UV spektru (UVB un UVA), tai pat laikā saglabājot komforta nodrošināšanai nepieciešamo tekstiliju gaisa caurlaidību un higroskopiskumu.
5. Veiktie daudzpusīgie modificēto tekstiliju funkcionālo īpašību testi un īpašību izsekošana secīgas hidrotermiskās apstrādes ciklos, kā arī mehānisko iedarbību rezultātā ļauj izsekot modificētās kokvilnas virsmas un pievienoto īpašību pakāpeniskās izmaiņas, to ietekmi uz tekstilijai raksturīgajām īpašībām, ievērojami papildinot zināšanu apjomu par sola-gēla tehnoloģijas piemērošanu materiālu modifikācijai ar zemu karstumizturību.

Aizstāvamās tēzes.

1. Pētījumu rezultātā pierādīts, ka vara pārklājumus var uzņest uz tekstiliju virsmas gan ar termiskās vakuuma iztvaicēšanas, gan ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju, pieskaņojot tehnoloģiskos parametrus dabīgo šķiedru tekstiliju specifikai; pārklāto tekstiliju antimikrobiālās īpašības ietekmē vara pārklājuma uznešanas tehnoloģija.

2. Ar varu termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesā modificētās tekstilijas no izstrādātās tehnoloģijas viedokļa ir sekmīgi integrējamas vienreizējas lietošanas medicīnas izstrādājumos un lietojamas kā tekstilijas, kas ekspluatācijas procesā netiek pakļautas hidrotermiskai apstrādei.
3. Ar sintezēto sastāvu, piemērojot paredzamajam lietojumam atbilstošas eksperimentāli izsekotas CAD koncentrācijas un tehnoloģiskos parametrus, sola-gēla procesā modificētām tekstilijām ir nodrošināta ļoti laba/laba pārklājuma adhēzija ar šķiedrām, kas saglabājas pat pēc piecdesmit hidrotermiskās apstrādes cikliem.
4. Piedāvātajā sola-gēla procesā modificētās kokvilnas tekstilijas sekmīgi integrējamas daudzveidīgos lietojumos, kur nepieciešama aizsardzība pret patogēniem mikroorganismiem, UV aizsardzība, ūdens atgrūšana (hidrofobitāte).

Darba praktiskā vērtība.

Darba praktisko vērtību nosaka tā izpildes gaitā iegūtā informācija, kā arī iegūtais Latvijas patents „Biocīds iekaisumu pārsējs”. Pētījumu rezultātā izstrādātais sola sastāvs, tehnoloģija un tehnoloģiskie parametri ļauj piešķirt daudzpusīgiem lietojumiem nepieciešamās papildīpašības, kas saglabājas izstrādājuma ekspluatācijas laikā, ko apstiprina darba ietvaros veiktā analīze. Piedāvātās izstrādnes ir pabeigtas daudzpusīgu pētījumu sērijas rezultāts, tās ir gatavas lietošanai un var tikt izmantotas kā prototipi rūpniecisku tehnoloģiju izstrādei, kas samērā vienkārši integrējamas kā papildinājumi esošās rūpnieciskās tekstiliju apdares tehnoloģijās vai arī attīstāmas kā neatkarīgi tehnoloģiskie procesi.

Darba aprobācija.

Raksti zinātniskos žurnālos {R}:

1. Vihodceva S., Kukle S., Barloti J. Nanolevel functionalization of natural fiber textiles// Journal IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2011. - Volume 23. – p. 012037. ISSN 1757-8981. *
2. Vihodceva S., Kukle S. Cotton fabric surface modification by sol-gel deposition of ZnO thin films// Journal IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2012. - Volume 38. – p. 012022. ISSN 1757-8981. *
3. Vihodceva S., Kukle S. Cotton textile surface investigation before and after deposition of the ZnO coating by sol-gel method// Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2013. – Volume 5. – pp. 01006-1 – 01006-5. ISSN 2077-6772. *

4. Vihodceva S., Kukle S., Barloti J. Improvement of UV protection properties of the textile from natural fibres by the sol-gel method// Journal IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2013. - Volume 49. – p. 012022. ISSN 1757-8981. *
1. Vihodceva S., Kukle S. Tekstilparaugu sagatavošanas metālpārklājumu uznešanai// Žurnāls RTU Zinātniskie raksti Materiālzinatne. – 2010. - Sējums 5. – lpp. 123-128. ISSN 1691-3132.
2. Vihodceva S., Kukle S., Blums J., Zommere G. The effect of the amount of deposited copper on textile surface light reflection intensity// Scientific Journal of Riga Technical University Material Science and Clothing Technology. – 2011. - Volume 9. – pp. 24-29. ISSN 1691-3132.
3. Vihodceva S., Kukle S. Natural textile surface modification using sol-gel technique// Scientific Journal of Riga Technical University Material Science and Clothing Technology. – 2011. - Volume 9. – pp. 19-23. ISSN 1691-3132.
4. Vihodceva S., Kukle S. Thin-coatings on the raw cotton textile deposited by sol-gel method// Scientific Journal of Riga Technical University Material Science and Clothing Technology. – 2012. – Volume 7. – pp. 69-73. ISSN 1691-3132.
5. Vihodceva S., Kukle S. Comparison of surface functionalization technologies for natural textile// Journal of Materials Science and Engineering B. – 2012. – Volume 1. – pp. 796-801. ISSN 2161-6221.
6. Vihodceva S., Kukle S. Modification of the cotton textile surface by the depositing of thin coatings using the sol-gel method// Scientific Journal Proceedings of International Conference Nanomaterials: Applications and Properties. – 2012. – Volume 1. – pp. 02NFC30-1 – 02NFC30-4. ISSN 2304-1862.
7. Vihodceva S., Kukle S., Blums J. Light reflection of Cu-sputtering-coated cotton fabrics and effect of sputtering time, acetone pre-treatment and fabric structure// Journal of Textiles and Light Industrial Science and Technology. – 2012. – Volume 1. – pp. 13-19. ISSN 2304-9421.
8. Vihodceva S., Kukle S. Low-pressure air plasma influence on cotton textile surface morphology and evaporated copper coating adhesion// American Journal of Materials Science and Technology. – 2012. – Volume 2. – pp. 1-9. ISSN 2163-1239.
9. Vihodceva S., Kukle S. Dipping time influence on the UV properties of natural textiles treated via sol-gel method// Scientific Journal Proceedings of International Conference

Nanomaterials: Applications and Properties. – 2013. – Volume 2. – pp. 02NFC30-1 – 02NFC30-4. ISSN 2304-1862.

Raksti zinātnisko rakstu krājumos {R}:

1. Kukle S., Vihodceva S., Zommere G. Traditional fibrous products from basic to functionality// Proceedings of 7th International Conference on Management of Technological Changes. Book 2. – 2011. – pp. 641-644. ISBN 978-960-99486-2-3. **
2. Kukle S., Barloti J., Blums J., Vihodceva S. Functionalization of cotton textiles with metals// Proceedings of 5th International textile, Clothing & Design Conference, Magic World of Textiles. – 2010. – pp. 335-339. ISSN 1847-7275.
3. Vihodceva S., Barloti J., Kukle S., Zommere G. Natural fiber textile nano-level surface modification// Proceedings of 8th International Scientific and Practical Conference „Environment. Technology. Resources.” – 2011. – pp. 113-117. ISBN 9789984440712.
4. Vihodceva S., Kukle S. Sol-gel method for protective textile processing// Proceedings of 12th World Textile Conference AUTEX. – 2012 – Volume 1. – pp. 687-692. ISBN 9789537105471.
5. Vihodceva S., Kukle S., Barloti J., Blums J. Metal deposition on textile fabrics from natural fibers by magnetron sputtering// Proceedings of 6th International Textile Clothing and Design Conference „Magic World of Textiles.” – 2012. – pp. 128-133. ISSN 1847-7275.

Patents:

1. S. Kukle, J. Barloti, S. Vihodceva. Biocīds iekaisumu pārsējs. LV 14372 (20.09.2011.)

Konferenču tēzes:

1. Vihodceva S., Kukle S., Barloti J. Nanolevel functionalization problems of natural fiber textiles// Book of abstracts of the International Conference on Functional Materials and Nanotechnologies. – 2011. – p. 255. ISBN 9789984453347.
2. Vihodceva S., Kukle S. Cotton fabric surface modification by sol-gel deposition of ZnO thin films// Book of Abstracts International Conference Functional Materials and Nanotechnologies. – 2012. – p. 166. ISBN 9789984454962.

3. Vihodceva S., Kukle S. Thin-Coatings on the raw cotton textile deposited by the sol-gel Method// Riga Technical University 53rd International scientific conference. – 2012. – p. 7.
4. Vihodceva S., Kukle S. Improvement of UV protection properties of the textile from natural fibres by the sol-gel method// Book of Abstracts International Conference Functional Materials and Nanotechnologies. – 2013. – lp. 122. ISBN 9789985407448.
5. Vihodceva S., Kukle S., Muter O. Evaluation of antibacterial and fungicide activity of cotton textile treated via sol-gel method// Book of Abstracts 18th International Scientific Conference „Ecobalts 2013”. – 2013. – p. 121.

* Zinātniski raksti, kas indeksēti Web of Science un/vai SCOPUS datu bāzēs

** Raksti rakstu krājumos ar ISBN kodu, kas indeksēti Web of Science Conference Proceedings Citation Index un/vai SCOPUS

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Materiāli

Tekstilmateriāliem piemīt vairākas priekšrocības, kas padara tos par būtiskiem apģērbu, mājas tekstiliju, kā arī tehnisko tekstilizstrādājumu ražošanā: tos var drapēt dažādos veidos un formās, ja nepieciešams, izgatavot elastīgus vai neelastīgus, tiem piemīt laba gaisa un tvaika caurlaidība, kā arī liela formas stabilitāte (it sevišķi stiepes izturība) ar relatīvi mazu blīvumu [1]. Tekstilšķiedru izvēlei tekstilizstrādājumos ir liela nozīme gan no produkta funkciju nodrošināšanas, gan izmaksu skata punkta.

1.1.1. Dabisko šķiedru tekstilijas

Dabisko šķiedru tekstilijas iegūst no augu un dzīvnieku izcelsmes šķiedrām [2]. Augu izcelsmes šķiedras ir mūsdienās plaši lietotas, pateicoties to izcilajām īpašībām, salīdzinoši zemām cenām, iespējām tās pakļaut otrreizējai pārstrādei vai biodegradācijai [2]. Tādas dabisko šķiedru īpašības kā higroskopiskums, zemā tendence uzkrāt elektriskos lādiņus, gaisa un tvaiku caurlaidība nodrošina apģērbu komfortu, tekstilijas ir patīkamas pēc taustes, labi padodas pārstrādei ar dažādām tehnoloģijām [3]. Eksperimentāli pierādīts, ka apģērbs, kas izgatavots no dabisko celulozes šķiedru tekstilmateriāliem, pozitīvi ietekmē cilvēka fizioloģiju un ķermeni, nodrošinot labu pašsajūtu un neizsaucot muskuļu darbības desinhronizāciju, līdz ar to neizraisot noguruma uzkrāšanos [4]. Turklāt, apģērbi no dabisko šķiedru tekstilmateriāliem pozitīvi ietekmē ādas tauku dziedzeru aktivitāti, uzlabojot pretestību pret ādas slimībām un kavējot brīvo skābekļa radikāļu¹ veidošanos, līdz ar to, atšķirībā no sintētisko šķiedru tekstilijām, novērš oksidācijas stresu [3, 4].

Pie zemas vai mērenas cilvēka fiziskā aktivitātes dabisko šķiedru apģērbs nodrošina ķermeņa temperatūras regulāciju ļaujot ādai „elpot”, kā arī attīra ādas virsmas no oglekļa dioksīda un uzsūc mitrumu, neizsauc alerģiju un uzrāda sava veida sinerģiju (kopdarbību) ar cilvēka ādu [3, 4].

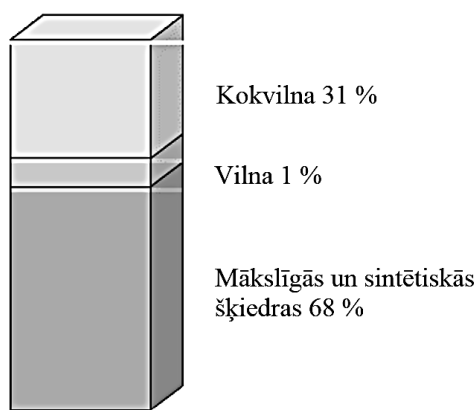
Funkcionālo tekstiliju izstrāde tikai no dabiskām šķiedrām rada virkni grūtību, jo katram dabisko šķiedru veidam piemīt tādi nemainīgi raksturlielumi, kā ķīmiskā uzbūve, šķiedru forma, lineārais blīvums, virsmas struktūra, un virkne atšķirīgu fizikālo un mehānisko īpašību. Tomēr modernās tehnoloģijas ļauj tās pārstrādāt funkcionālos apģērbos un citos

¹ Skābekļa brīvie radikāļi veic savus oksidatīvos bojājumus nepiesātināto taukskābju dubultsaišu vietās un izraisa ķēdes reakciju, veidojot arvien jaunus radikāļus. Šo procesu sauc par lipīdu peroksidāciju. Tas izraisa šūnu caurlaidības palielināšanos, orgānu nekrozi, rada novecošanos un vēzi. Brīvie radikāļi iedarbojas arī uz daudzus fermentus un DNS struktūru, to izjaucot un veicinot vēža attīstību.

patēriņa/speciāla lietojuma tekstilizstrādājumos, kas ir droši un veselībai nekaitīgi, videi un cilvēkam draudzīgi, orientēti uz daudzveidīgu patērētāju vajadzību un prasību apmierināšanu, tādu kā UV aizsardzība, komforts, veselība, laba pašsajūta un drošība [4].

1.1.2. Kokvilna

Kokvilna pieder pie augu izcelsmes šķiedrām, ko iegūst no kokvilnas auga pogaļām (*Gossypium*) [2]. Mūsdienās aptuveni 40 - 50 % no visiem tekstilmateriāliem ir izgatavoti no kokvilnas [1, 3]. 2012.gada statistika liecina, ka 31 % no pasaulē ražotiem tekstilmateriāliem ir no kokvilnas (1.1. att) [5].

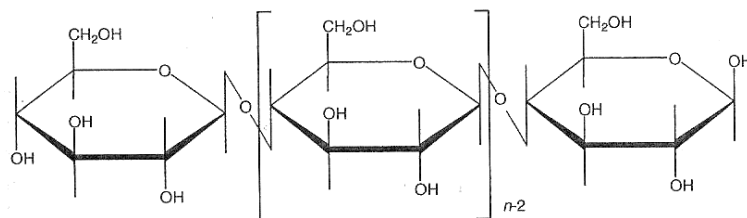


1.1. att. 2012. gadā pasaulē saražoto tekstiliju procentuāls sadalījums pēc galvenajiem šķiedru veidiem [5]

Kokvilnas elementāršķiedra ir viēnsūnas šķiedra ar raksturīgu savijumu [2, 3, 6]. Šķiedru veido pirmējās sieniņas, kutikula un centrālais kanāls (lumens), kas pildīts ar protoplazmu [2, 3, 6]. Kutikula, kas satur pektīnus, olbaltum- un vaskveidīgas, vielas ļoti plānā slānītī pārklāj pirmējo sieniņu [2, 3]. Sieniņas veidojas no celulozes mikrofibrilu saišķiem, kas izvietoti labās un kreisās spirāles formā $\sim 70^\circ$ leņķī pret šķiedras asi [2, 3]. Šķiedrām nogatavojoties uz to sieniņas veidojas celulozes slāņi – formējas sekundārā sieniņa, kas sastāv no vairākiem slāņiem ar atšķirīgu celulozes fibrillu orientāciju, kanāla diametrs samazinās, pēc šķiedru atdalīšanas no sēklām protoplazma izzūst, un kanālā paliek tikai sausais atlikums [2, 3].

Kokvilnas šķiedrās ~ 95 % ir celuloze [3, 6, 7]. ~ 2 μm garas celulozes makromolekulas veido $\sim 10\,000$ β – D – glikozes $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ elementārvienības, kas satur trīs hidroksilgrupas (-OH), kas veido ūdeņraža saites starp celulozes makromolekulu pavedieniem, kā arī ar gaisa mitrumu (1.2. att.) [3, 6, 7]. Tāpēc visas augu šķiedras ir hidrofilas. Celulozes makromolekulu elementārvienības savā starpā ir saistītas ar ēteru tipa 1-

4 glikozīdo saiti, novietotas vienā plaknē un pagrieztas viena pret otru par 180 ° [3, 7]. Gala grupas satur nelielu daudzumu aldehīda (- CH = O) un karboksilgrupu (-COOH), kuras maz ietekmē šķiedru īpašības [3, 7]. Celulozes makromolekulas savā starpā ir saistītas ar ūdeņraža saitēm un v-d-V spēkiem [3, 7].



1.2. att. Celulozes makromolekula [7]

Kokvilnas hidroksilgrupas ļauj veidot saites ar uznestiem pārklājumiem, tomēr, kā visiem celulozes materiāliem, kokvilnas šķiedru funkcionalitāte ir limitēta ar šīm hidroksilgrupām (1.3. att.) [1, 2].



1.3. att. Kokvilnas virsma ar funkcionālām grupām

1.2. Tekstilizstrādājumi ar metālu vai metālu oksīdus saturošiem pārklājumiem

Mūsdienās tekstiliju izstrādājumus ar metālu un metāla oksīdus saturošiem pārklājumiem ir pieejami tirgū, to, pielietojums ir plašs, kā piemēru var minēt elektrovadošos pavedienus [8], elektrovadošās tekstilijas [9], tekstilijas elektromagnētisko viļņu ekranizēšanai [10, 11] antimikrobiālos pārsienamos tekstilmateriālus brūču ārstēšanai [12], UV aizsargājošās tekstilijas [13], termoizturīgos pavedienus un tekstilijas [14], antimikrobiālas zeķes [15,16], antibakteriālos plāksterus [17], apakšveļu ādas slimību ārstēšanai [18] un gultasveļu [19].

1.3. Tekstilijas ar antimikrobiālām īpašībām

Antimikrobiālo tekstiliju lietojumam medicīnā un citās nozarēs ir ļoti sena vēsture. Atimikrobiālā tekstiliju apstrāde ir nepieciešama ne tikai augošam medicīnas un veselības aprūpes tirgum, bet arī objektiem, kas cieš no biopiesārņošanas [2, 20]. Mūsdienās antimikrobiālo tekstiliju lietojumu jomas paplašinās (1.1. tab.).

Antimikrobiālo tekstiliju lietojums [21]

Medicīna	Sports un atpūta	Ārpustelpu	Tehnoloģija	Māja
Atbalstzeķubikses	Apavi	Žaketes	Portjeras	Aizkari
Pretizgulējumu matračī	Zeķes	Telts	Jumta segums	Pārvalki/palagi
Nesaturēšanas ieliktnī	T-krekli	Uniforma	Fasādes apšuvums	Apģērbi
Iepakojumi	Velosipēdistu apģērbs	Personiskā aizsardzība	Gaisa filtri	Paklāji
Gultu pildījumi	Komandu formas	Saulessargi	Automašīnas komplektējošās daļas	Apakšveļa
Spilveni	Skriešanas apģērbi	Markīzes	Ģeotekstilijas	Sega
Implanti				Kopšanas piederumi
Pārsienamie materiāli				

Tekstilmateriāliem antimikrobiālie pārklājumi ir vajadzīgi, lai [22]:

1. izvairītos no savstarpējas inficēšanās ar patogēniem mikroorganismiem,
2. kontrolētu mikroorganismu invāziju²,
3. apstādinātu mikroorganismu biotransformāciju, lai samazinātu smaku veidošanās,
4. aizsargātu tekstilizstrādājumu no krāsas izmaiņām un kvalitātes pasliktināšanās, kā arī šķiedru tekstilmateriālu destrukcijas.

A) Tekstiliju biodestrukcija

Par biodestrukciju uzskata jebkuru nevēlamu īpašību izmaiņu ekonomiski nozīmīgos materiālos, ko izraisa vitālu dzīvu organismu aktivitātes. Biodestrukcija ietver materiālu apaugšanu, trūdēšanu, sagrūšanu un stiprības zudumus [23]. Tekstiliju destrukcija ir komplicēts fenomens, mikroorganismu, UV, ķīmikāliju vai to kombināciju iedarbības rezultāts [23].

Uz tekstiliju virsmas pastāvīgi atrodas daudzveidīgas baktērijas, raugi, mikroskopiskas sēnes, u. c. [24]. Mikroorganismi uz tekstilmateriāliem nokļūst no apkārtējās vides, t.i., gaisa un ūdens, turklāt uz augu šķiedrām mikroorganismi pāriet arī no šķiedru audiem un augsnes [24].

² Mikroorganismu invāzija – svešu vielu iekļūšana organisma iekšējās vides šķidrums.

Tādas dabiskās šķiedras kā kokvilna, lini, džuta, kas galvenokārt sastāv no celulozes, pakļautas mikrobiālai destrukcijai to organiskā sastāva dēļ [25]. Mikrobu augšanu veicina arī pēdējā tekstilmateriālu apdarē lietotas organiskās vielas (ciete, proteīnu atvasinājumi, tauki un eļļas). Dabisko šķiedru tekstilmateriāli kopumā ir jutīgāki pret biodestrukciju nekā sintētiskās šķiedras [25]. Kokvilna kā celulozes šķiedra ir ļoti jutīga pret mikroorganismu darbību [24], daudzveidīgu mikroorganismu - baktēriju, raugu un mikroskopisko sēņu iedarbības rezultātā notiek tās destrukcija [23, 26, 27]. Mikroorganismu augšana uz tekstilmateriāliem var izraisīt estētiskus un strukturālus bojājumus. Estētiskie bojājumi ietver sevī krāsu maiņu, neregulāru pelēku, melnu un sarkanu traipu rašanos uz virsmas un bioplēves veidošanos. 1.4. attēlā redzami tekstiliju destrukcijas piemēri, kuros mikroskopiskās sēnītes augot uz tekstilmateriālu virsmas izraisījušas krāsas izmaiņas.



1.4. att. Mikroskopisko sēnīšu radītie traipi
a) uz kokvilnas tekstilijas; b) uz sintētiskās tekstilijas (poliesters) [23]

Tekstiliju destrukcijas pirmās pazīmes ir pelējums, specifiska smaka, krāsu zudums un traipi [23]. Šķiedru stiprības zudumi depolimerizācijas rezultātā pieskaitāmi strukturāliem bojājumiem.

B) Tekstilijas ar antimikrobiālām īpašībām veselības aprūpē un medicīnā

Apģērbiem attiecībā uz mikroorganismiem ir divējāda loma - no vienas puses tie aizsargā valkātāju no infekcijām aizturot uz virsmas mikroorganismus, bet tajā pat laikā šie mikroorganismi var izsaukt jaunas infekcijas [3, 20, 21]. Kokvilnas tekstilijas, pateicoties šķiedru uzbūvei, var ideāli aizturēt mazas daļiņas un mikroorganismus [3, 20]. Turklāt kokvilnas tekstilijas nodrošina lielisku vidi mikroorganismu augšanai, pateicoties to spējai saglabāt mitrumu [25, 28, 29]. Tekstiliju fizikālas un ķīmiskās īpašības, mikroorganismu formas, virsmas īpašības, kā arī mikroorganisma nesēja raksturs sekmē mikroorganismu kustību caur tekstiliju [20]. Tā kā mikroorganismi nevar patstāvīgi mainīt atrašanās vietu, tās transportē tādi objekti kā putekļi, šarpijas, ādas daļiņas vai šķīdumi [20]. Visvairāk brūču infekciju izraisa baktērijas, kas radušās no darbiniekiem vai pacientiem [20]. Mikroorganismi,

kā *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus A* grupa un citi, var iekļūt brūcē no cilvēka dabiskās mikrofloras [30]. Antimikrobiāli tekstilmateriāli var samazināt šo nelabvēlīgo efektu [3].

Kā iepriekš minēts, tekstilijas viegli uzkrāj mikroorganismus un kalpo kā rezervuārs infekciju pārvešanai [21, 31]. Tāpēc, tekstilmateriāli ar antimikrobiālu apdari var būt ļoti noderīgi atveseļošanās procesā pacientiem pēc transplantācijas, pie imūndeficīta slimībām, pacientiem ar vāju imunitāti, pacientiem ar ādas bojājumiem [31]. Viena no svarīgākajām materiālu pielietojuma formām ir plašs pārsienamo materiālu klāsts, kuru vidū starp plēvjveidu, hidrocoloīdu, gēlu, dažāda veida kompozītu pārsējiem u. c. redzamu vietu ieņem tekstilmateriālu pārsēji (marle, elastīgā saite u. c.), Antimikrobiālus tekstilmateriālus lieto medicīnā, slimnīcās, pansionātos utt. personāla personiskajos aizsargājošos apģērbos un brūču pārsienamos materiālos [32]. Sepsis joprojām uzskatāma par nopietnu slimību, un tā ir viens no galvenajiem mirstības cēloņiem kritiski slimiem pacientiem [33]. Mirstību sepses gadījumā reģistrē vidēji 40 % gadījumu, un incidencei ir tendence pieaugt. Bakteriēmija un endotoksēmija provocē endogēno mediatoru kaskādi, kas izraisa sistēmiskā iekaisuma atbildes sindromu (SIRS) [33]. Šo kaskādi var iniciēt gan gramnegatīvas, gan grampozitīvas baktērijas, kā arī mikroskopisko sēnīšu infekcijas un eksogēni mikroorganismu komponenti [33].

C) Antimikrobiālās tekstiliju apstrādēs

Ideāliem antimikrobiāliem aģentiem, kas izmantoti tekstiliju apstrādei, jānodrošina [34]:

1. plašs iedarbības spektrs gan pret baktērijām, gan mikroskopiskām sēnītēm,
2. izturība visa produkta dzīvības ciklā,
3. lai nebūtu toksiski cilvēkiem izmantotajās koncentrācijās,
4. lai būtu bezkrāsaini un bez smaržas,
5. efektivitāte mazā koncentrācijā par saprātīgu cenu,
6. izturība pret izskalošanu un saules gaismu,
7. lai tie neietekmētu tekstiliju fizikālās un mehāniskās īpašības,
8. lai būtu saderīgi ar citām tekstiliju apstrādēm, piem. krāsošanu,
9. neveicinātu citus deģeneratīvus procesus,
10. iespēja tos uznest izmantojot tradicionālās tekstiliju apstrādes iekārtas,
11. spēja izturēt apstrādes apstākļus un temperatūras,
12. lai tie būtu videi draudzīgi.

No literatūras apskata kopumā jāsecina, ka mūsdienās antimikrobiālās iedarbības nodrošināšanai tekstilmateriālos plaši integrē dažādus metālu un metāla oksīdu saturošus pārklājumus. Visplašāk tekstiliju modificēšanai lieto sudrabu (Ag) [28, 35 - 38], titāna dioksīdu (TiO_2) [39], ZnO [31, 40 - 42], vara oksīdu ($\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$) [43 - 45]. Šobrīd ir komercializēta virkne ar Ag modificētu tekstiliju un tās pieejamas tirgū, pārējo metālu un metālu oksīdu lietojums antimikrobiālajos tekstiliju pārklājumos lielākoties ir izpētes procesā, un tie ir maz vai vispār nav pārstāvēti tirgū. Viens no iemesliem, kāpēc neorganiskiem materiāliem (metāliem un metālu oksīdiem) ir pievērsta tik liela uzmanība, ir to spēja izturēt intensīvas apstrādes [31] un selektīva toksitāte pret mikroorganismiem [46], piemēram ZnO, TiO_2 [47, 48] un Cu ir klasificēti kā cilvēkam netoksiski [49, 50].

Tomēr jāatzīmē, ka TiO_2 antimikrobiālā iedarbība ir limitēta, jo TiO_2 nodrošina antimikrobiālu iedarbību lielākoties UV iedarbībā, kas provocē TiO_2 fotokatalitiskās īpašības un līdz ar to antimikrobiālās spējas [51].

Apstrādājot tekstilmateriālus ar Cu, Cu_2O un CuO, kā arī Ag saturošiem savienojumiem, bieži ir novērotas tekstilmateriālu krāsu izmaiņas neatkarīgi no apstrādes metodes [52, 53].

Modificējot tekstilmateriālus ar metālu un metālu oksīdus saturošiem pārklājumiem jānodrošina labu pārklājuma adhēziju ar tekstilmateriāla virsmu. Daudzos pētījumos minēta slikta adhēzija neatkarīgi no apstrādes metodes un metāla vai metāla oksīda, vai arī nav informācijas par iegūtā pārklājuma noturību [54, 55]. Atsevišķos darbos minēts, ka apstrāde nodrošina antimikrobiālu iedarbību pēc 20 hidrotermiskās apstrādes reizēm [56, 57].

Gary Danman un citi [58] patentā apraksta cinka acetāta un ūdeņraža peroksīda saturošu pārklājumu uznesanu uz celulozes un poliestera audumiem antibakteriālās iedarbības nodrošināšanai.

Līdztekus metāla un metāla oksīdu saturošiem pārklājumiem antimikrobiālās iedarbības nodrošināšanai pētījumos lielā uzmanība veltīta triklozānu un čitozānu saturošiem pārklājumiem [32].

1.4. Tekstilijas ar UV aizsardzības īpašībām

A) UV

UV ir Saules starojuma daļa, kā arī starojums no citiem mākslīgi radītiem izstarojuma avotiem [59]. Apmēram 5 % no saules starojuma, kas nonāk līdz zemei, ir UV, kas aptver elektromagnētiskā starojuma viļņus ar garumu no 100 līdz 400 nm un iedalās 3 joslās: UVA,

UVB un UVC [20, 59, 60]. Stratosfēras ozona slānis gandrīz pilnībā absorbē visu saules UVC (100-280 nm) starojumu, un Zemes virsmu sasniedz tikai lielākā daļa (apmēram 90 %) UVA (UVA 1: 315 – 340 un UVA 2: 340-400 nm) un apmēram 10 % UVB (280-315 nm) starojuma [59-62]. Līdz ar stratosfēras ozona slāņa samazināšanos palielinās UV, kas sasniedz atmosfēras zemākos slāņus [20], un ir iespējams UVB starojuma proporcijas pieaugums Saules gaismā [46, 59]. Kaut gan UV intensitāte ir daudz mazāka nekā redzamās gaismas starojuma intensitāte, UVA un UVB fotonu enerģija sasniedzot zemes virsmu pārsniedz 335 kJ mol⁻¹, tāpēc UV var izraisīt ķīmiskās reakcijas [63].

B) UV ietekme uz cilvēku

Noteikta UV deva ir nepieciešama dzīvei uz zemes: ierobežotā daudzumā UV pozitīvi ietekmē cilvēka veselību uzlabojot pašsajūtu, intensificējot D vitamīna sintēzi, veicinot asinsriti, uzlabojot vielmaiņu un pretestību dažādām patogēnām baktērijām [3, 59]. Taču vairumā gadījumu īsa un neregulāra saules iedarbība kopā ar normālu uzturu nodrošina pietiekamu D vitamīna krājumu organismā [59]. Optimālas UV normas cilvēkam nav noteiktas, turklāt tās ir ļoti individuālas, saistītas ar daudziem faktoriem – ādas tipu, krāsu, diētu u. c.; ir cilvēki, kuru āda vispār nav piemērota sauļošanās procedūrām [59].

UV iedarbības nelabvēlīgas sekas ir priekšlaicīga ādas fotonovecošana un ādas vēzis [2, 3, 59, 61, 62, 64].

Terminu *fotonovecošana* 1989.gadā ieviesa A. M. Kligmans, apzīmējot saules starojuma izraisītu paātrinātu ādas novecošanu kā vienu no kaitīgiem vides faktoriem [60]. Fotonovecošanas procesā āda dzeltē, kļūst neregulāri pigmentēta, grumbaina, trausla, parādās teleangiektāzija³, pirmsvēža bojājumu variācijas, kā arī rodas epidermas sabiezējums u. c. izmaiņas [60].

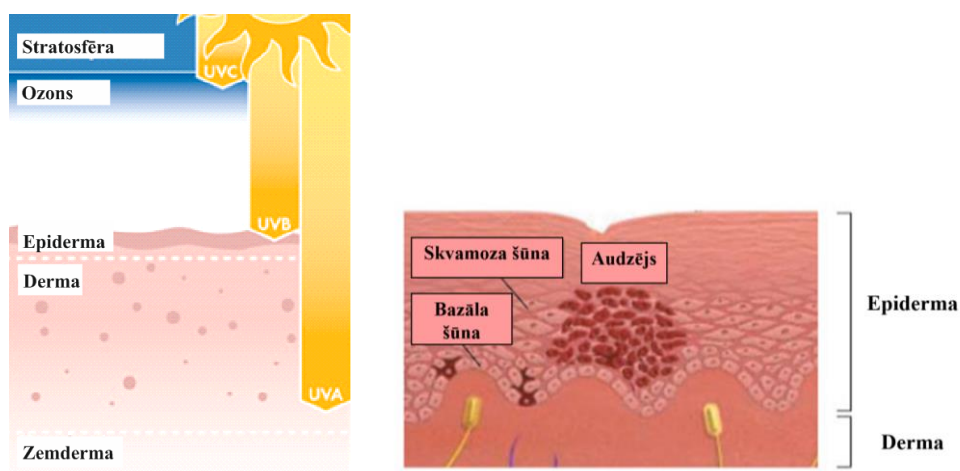
Ne-melanomas ādas vēzis ir visizplatītākais un tā sastopamība nepārtraukti aug: gaišās ādas populācijā Eiropā, Amerikas Savienotajās Valstīs (ASV), Kanādā un Austrālijā sākot ar 1960. gadu vidējais saslimstības pieaugums ir 3 - 8 % gadā [60]. Lai gan aprēķinātais ozona slāņa samazinājums ir ļoti mazs un uzsācies nesen, prognozes rāda, ka samazinājums turpināsies un sagaidāms ne-melanomas vēža formu pieaugums, tā kā ozona slāņa samazinājums par 1 % var izraisīt ne-melanomas ādas ļaundabīgo veidojumu pieaugumu pat par 2 - 5 % [20, 60].

³ Teleangiektāzija – sarkanas vai zilas krāsas paplašināti vai pārsprāguši zemādas kapilāri.

Epidemioloģiskie dati liecina, ka ir divi galvenie ne-melanomas ādas vēža (parasti parādās uz sejas, galvas, kakla, muguras un rokām) saslimstības pieauguma iemesli saistīti ar UV iedarbību [60]. Viens no ādas ļaundabīgo veidojumu rašanās cēloņiem saistīts ar sauļošanās paradumiem un dzīvesveidu, kas veicina apzinātu un pārmērīgu UV iedarbību [60]. Otrs ir stratosfēras ozona slāņa filtrēšanas spēju samazinājums līdz ar hlorfluorogļūdeņraža savienojumu nonākšanu atmosfērā [46, 60].

Melanoma ir multifaktoriāla saslimšana, ko izsauc gēnu, indivīda pigmentācijas fenotipa un ārējās vides faktoru mijiedarbība [65]. Galvenais ārējās vides riska faktors melanomas attīstībā ir UV, kā arī ar to saistītie saules apdegumi, kas īpaši bīstami ir bērnībā un pusaudžu vecumā [65]. Nozīmīgākie fenotipiskie riska faktori ir liels dzimumzīmju skaits, kā arī atipiskas dzimumzīmes, vasaras raibumi, gaiša āda un rudi vai blondi mati [65].

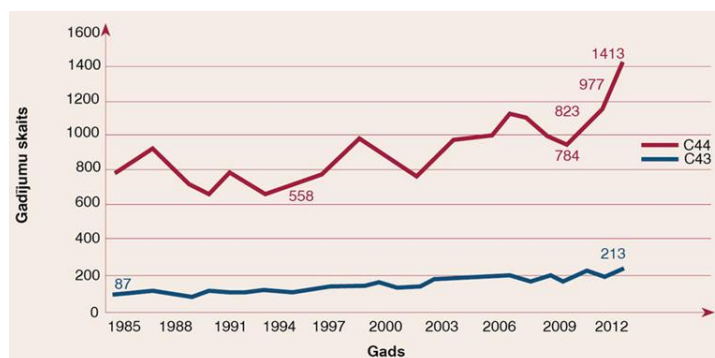
Publicēto pētījumu apskats liecina, ka bīstamākais cilvēka ādai ir UVB spektrs [63, 66], visbīstamākais viļņa garumu diapazons, kas izsauc ļaundabīgos veidojumus, ir robežās no 295 līdz 305 nm, iedarbība samazinās palielinoties viļņa garumam [60]. UVB starojums maksimāli absorbēts ar dezoksiribonukleīnskābi (DNS) un bojā tās, radot tādus foto produktus kā ciklobutāna pirimidīna dimērus; šīs mutācijas ir klīniski piederīgas pie pirmsvēža un ļaundabīgo ādas audzēju veidošanas [3, 60]. Laboratorijas pētījumi uz pelēm pierādīja, ka UVB starojums ir aptuveni 1000 reizes efektīvāks peļu ādas vēža attīstībā nekā UVA starojums [60].



1.5. att. a) UV iekļūšana cilvēka ādā, b) ļaundabīgo veidojumu lokalizācija ādā [67]

Lai gan jau samērā sen bija zināms, ka UVB starojums, pateicoties lielākai enerģijai, nokļūst ādā ne tik dziļi, kā UVA (1.5.attēls) [3], līdz pavisam nesenam laikam zinātnē un praksē valdīja uzskats, ka UVA iedarbībā galvenokārt notiek ādas novecošanās, grumbu rašanās (fotonovecošana) un iegūts ļoti vēlmais iedegums, bet tas neizsauc nopietnus

bojājumus epidermas slāņos, kuros vairums gadījumos attīstās ļaundabīgie ādas veidojumi (1.5. att., b). Tikai straujais ādas ļaundabīgo veidojumu pieauguma temps pasaulē, t.sk. Latvijā (1.6. att.) bija viens no iemesliem cēloņu izsekošanai, skaidrojumu meklējumiem un uzskatu pārskatīšanai.



1.6. att. Reģistrēto ļaundabīgo ādas veidojumu dinamika Latvijā [68]

Pēdējās desmitgadēs veiktie pētījumi liecina, ka UVA iekļūstot dziļākos epidermas un dermas slāņos var bojāt bioloģiskās molekulas, ja dabiskie ādas aizsargmehānismi nespēj absorbēt saņemtās UV starojuma devas. UVA starojums bojā ādas šūnas keranocitus bazālajā epidermas slānī, kur attīstās ļaundabīgie veidojumi, tādējādi veicina vai pat izsauc to veidošanos, kā arī bojā ādas DNS šūnas: UVA iedarbībā veidojas skābekļa brīvie radikāļi [60, 68]. Šīs nestabilās molekulas bojā DNS, šūnu membrānas, lipīdus un proteīnus [60]. Aizsargmehānisma pamatelementi ir epidermas dziļumā izvietotas īpašas pigmentšūnas - melanocīti. Tās ražo nelielus pūslīšus, kas veido melanīnu, kā arī satur enzīmus, kas spēj salabot DNS pēc UV starojuma radītiem bojājumiem. Ja aizsargmehānismi nespēj pilnībā novērst turpmākos ādas DNS bojājumus pastiprināti izstrādājot melanīnu (iedegums), DNS mutāciju rezultātā var ar laiku rasties ļaundabīgie veidojumi. Tādējādi arī UVA spektrs ir bīstams cilvēka veselībai [60, 68].

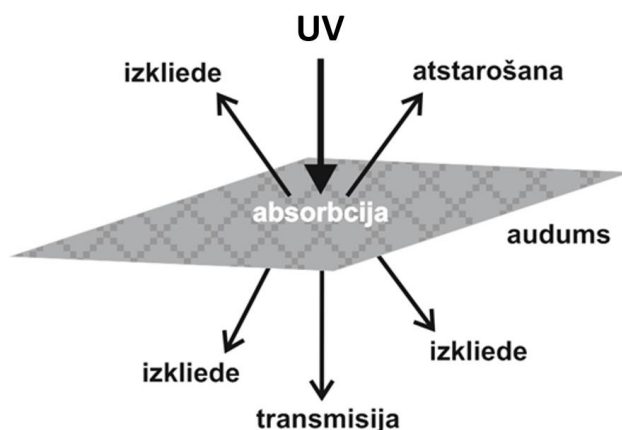
To apstiprina eksperimenti, kuros izraisot ar UV ādas vēzi dažādiem laboratorijas dzīvniekiem noskaidrots, ka UV var kalpot kā pilnvērtīgs kancerogēns, kā ierosinātais daudzpakāpju kancerogēnēzē un kā kancerogēnēzes veicinātājs; UV imūnsupresīvais efekts arī veicina tā kancerogēno darbību [60].

Ja melanīns organismā nav pietiekošā daudzumā, ir vajadzīga visaptveroša aizsardzība pret visu UV starojuma spektru; īpaši, ja āda ir plāna. Tāpēc arī visvairāk cieš sievietes un bērni, sevišķi aizsargājami ir bērni pirmajā dzīvības gadā.

Profilaktiskie padomi pret ādas vēža attīstību paredz sevī aizsardzības līdzekļus pret UVA/UVB spektru. Īpaši svarīgi profilakses pasākumi veicami bērniem sākot no sešu mēnešu vecuma, tā kā saules apdegumi bērnībā palielina risku saslimt ar ādas vēzi turpmākajā dzīvē [59, 60, 69]. Tie piedāvā vairākus UV aizsardzības līmeņus: izvairīties no stipras saules iedarbības pusdienlaikā, UV indeksu prognozes pārraudzība, aizsargājošas kosmētikas izmantošana, saulesbrīļļu lietošana ar UV aizsardzības filtriem, izvairīšanās no solārija, uzturēšanās ēnā, kā arī valkāšana apģērbu un cepuru no UV aizsargājošiem tekstilmateriāliem [46].

C) Tekstiliju UV aizsardzība

Tekstilmateriāli kalpojuši cilvēka aizsardzībai no ārējas vides faktoriem tūkstošiem gadu; līdz ar ozona slāņa sarūkšanu, kas ļauj UV vairāk nokļūt līdz atmosfēras apakšējiem slāņiem, arvien vairāk pieaug nepieciešamība pēc tekstilmateriāliem, kas pasargā no pārāk intensīvas UV iedarbības. Vairums tradicionālo vasaras apģērbu aizsardzība pret UV ir vāja. Īpaša aizsardzība nepieciešama cilvēkiem, kuriem jāstrādā ārvidē vai jāuzturas vidēs ar ļoti labām virsmu starojuma atstarošanas spējām (ūdens, sniegs), kas robežgadījumā atgriez līdz pat 80 % no saņemtās UV devas. Arī apģērbu tekstilijām un tekstilijām, kas pasargā no UV mazāk izturīgus materiālus vai sabiedrisko/dzīvojamo vidi (aizkari, marķīzes, teltis, brezents utml.), nepieciešams piešķirt UV-bloķēšanas spēju [1, 2, 20]. Lielākai pircēju daļai gaismas absorbcija saistās tikai ar tekstilmateriālu krāsu [1]. Patiesībā ar UV apstarots tekstilmateriāls daļu no uz tā krītošā UV atstaro, daļu nelīdzenā tekstilmateriālu virsma izkliedē vai absorbē, pārvēršot to citos enerģijas veidos; tikai daļa no starojuma izkļūst cauri kā koncentrēts kūlis vai izkliedēta uz aizsargājamās virsmas (1.7. att.).



1.7. att. Tekstilmateriālu un UV mijiedarbība [2]

Tekstilmateriālu UV aizsardzības faktoru (UPF) nosaka caur tekstilmateriālu caurejošās UV plūsma, kas atkarīga no [3, 20, 61, 70]:

1. tekstilmateriāla šķiedru sastāva,
2. struktūras, mitruma satura,
3. aizpildījuma ar šķiedrām,
4. krāsas un krāsošanas intensitātes,
5. optisko balinātāju (fluorescentu aģentu) klātbūtnes,
6. speciālām apstrādēm, piem. ar UV absorbētājiem/atstarotājiem,
7. mazgāšanas nosacījumiem.

Dabisko šķiedru ķīmiskajā sastāvā ir dabiski UV absorbētāji, kas nodrošina labas UV aizsardzības īpašības; tomēr agresīvās šķiedru ekstrakcijas un apdares procesi daļēji samazina lignīna un pigmentu daudzumu, rezultātā samazinot tekstilmateriālu UV absorbcijas spēju [3]. Tradicionālu kokvilnas audumu UV caurlaidība variē robežās no 15 % līdz 20 %, palielinoties līdz 50 %, ja audums ir mitrs. Lai nodrošinātu pietiekošu aizsardzību, UV caurlaidība jānodrošina zem 6 %, tekstilmateriāli nodrošina ļoti labu aizsardzību, ja tās UV caurlaidība nepārsniedz 2,5 % [71].

Eksperimentāli pierādīts, ka balta, balināta un nekrāsota kokvilna nodrošina vāju aizsardzību pret UV pat tad, ja auduma pinums ir blīvs un izskatās gaismu necaurlaidošs. Arī tādiem dabisko šķiedru nekrāsotiem tekstilmateriāliem kā lini piemīt vāja UV aizsardzība [20]. Tā kā mode un komforts diktē gaišu tekstilmateriālu lietojumu vasarā, rodas nepieciešamība pēc UV absorbētājiem/atstarotājiem, kas neietekmē tekstilmateriālu krāsu [63].

D) UV bloķēšana tekstilijās

Lai nodrošinātu efektīvu aizsardzību, tekstilijai jānodrošina absorbcija vai atstarošana viļņa garumu diapazonā no 280 nm līdz 400 nm bez fotodegradācijas. Eksperimentos pierādīts, ka tekstiliju UV aizsardzība palielinās pēc krāsošanas (izņemot balto) un optiskās balināšanas [3]. Pret UV aizsargājoši tekstiliju pārklājumi ne tikai pasargā ķermeni, bet var arī aizkavēt tekstilijas novecošanas procesu [72].

Pie "UV filtriem" pieskaita vielas, kas ir tikai vai galvenokārt paredzētas aizsardzībai pret noteikta veida UV starojumu absorbējot, atstarojot vai izkliedējot to [48]. UV absorbētāji uztver UV noteiktā viļņu garumu diapazonā un izdala absorbēto enerģiju siltuma veidā [3, 46]. Tekstiliju apdarē UV absorbcijai/atstarošanai ievada gan organiskus, gan neorganiskus savienojumus, kas atbilst vairākiem kritērijiem [3]:

1. efektīvi absorbē/atstaro visā UV diapazonā (280-400 nm),
2. izkļiedē absorbēto enerģiju tā, lai nenotiek tekstiliju destrukcija vai krāsas izmaiņas,
3. pakļauti UV iedarbībai, saglabā visā ekspluatācijas procesā struktūru un UV bloķēšanas spēju.

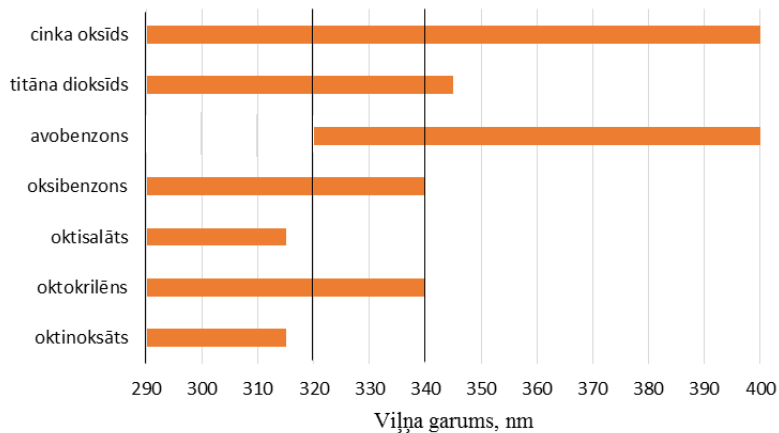
Visi rūpnieciski tekstiliju slapjās apdarēs lietotie organiskie UV absorbētāji ir atvasinājumi vienai no trim struktūrām [3]:

1. o-hidroksibenzofenons,
2. o-hidroksifenilbenzotriazols,
3. o-hidroksifeniltriazīns.

Tādiem tradicionāli tekstilindustrijā izmantotiem UV absorbētājiem, kā feniltriazīns, fenilsalicilāts, jeb salicilāts, benzofenons, benzotriazols, cianoakrilāts, benzotriazols, cinamāts ir būtiski lietošanas ierobežojumi, piemēram, tie var būt toksiski, var izsaukt alerģiju, vāji veikt paredzēto funkciju, būt nenoturīgi pret mazgāšanu [1, 46, 73]. Pie tam lielākā daļa no lietotajiem UV absorbētājiem nodrošina absorbciju tikai UVA (benzofenons) vai tikai UVB (salicilāts) viļņa garumu diapazonā, to lietojums ir limitēts zemas karstumizturības un fotodegrādācijas dēļ. To īslaicīga efektivitāte, minētie un citi ierobežojumi liek meklēt jaunas iespējas [46, 74].

Eksperimentāli pierādīts, ka TiO_2 un ZnO ir efektīvi neorganiskie UV filtri [72, 74].

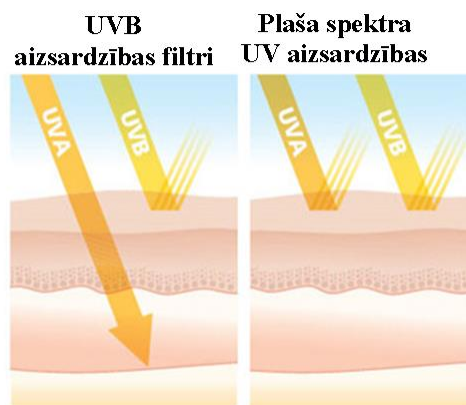
1.2. tabulā sakopotie ASV Pārtikas un zāļu pārvaldes akceptētie (FDA - The Food and Drug Administration) UV filtru aktīvie savienojumi un to darba diapazoni rāda, ka praktiski tikai ZnO nodrošina UV aizsardzību visā UVB un UVA spektru diapazonā (1.8. att., 1.9. att.) [75].



1.8. att. UV fizikālo filtru un ķīmisko absorbētāju darbības diapazoni [75]

ASV Pārtikas un zāļu pārvaldes (FDA - The Food and Drug Administration) atzītie
UV aizsargi [75]

Nosaukums	Segts diapazons
<i>Ķīmiski absorbētāji:</i>	
<i>Aminobenzoskābe</i>	UVB
<i>avobenzons</i>	UVA1
<i>Cinoksāts</i>	UVB
<i>Dioksibenzons</i>	UVB, UVA2
<i>Homosalats</i>	UVB
<i>Oktokrilēns</i>	UVB
<i>Oktimetoksicinamāts</i>	UVB
<i>Oktisalāts</i>	UVB
<i>Oksibenzons</i>	UVB, UVA2
<i>Padimāts O</i>	UVB
<i>Sulisobenzons</i>	UVB, UVA2
<i>Fizikālie filtri:</i>	
<i>TiO₂</i>	UVB, UVA2
<i>ZnO</i>	UVB, UVA2, UVA1



1.9. att. Selektīva (pa kreisi) un plaša spektra (pa labi) UV filtra funkcionalitāte [67]

Mūsdienu pētījumos liela uzmanība veltīta tekstiliju UV aizsardzības nodrošināšanai, izveidojot TiO₂ [1, 76, 77] un ZnO [61, 76] saturošus pārklājumus.

Līdztekus UV aizsardzībai, nano apdares ar ZnO var piešķirt tekstilizstrādājumiem antibakteriālās īpašības pret *S. aureus* un *Klebsiella pneumoniae*: N. Vigneshwaran un līdzautori darbā [78] konstatēts, ka 0,6 mas.% nano-ZnO pārklājums uz kokvilnas auduma nodrošina vispārēja lietojuma izstrādājumu antimikrobiālo aizsardzību. Tai pat laikā autors nav pievērsis uzmanību pārklājuma ilglaicības novērtēšanai lietošanas procesā.

Pētījumā pārklājot tekstilmateriālus ar TiO₂ un Ag nanodaļiņām, konstatēta laba, pret mazgāšanu izturīga UV aizsardzība, tomēr pārklājums ievērojami maina tekstilmateriālu krāsu [1].

S. Kathirvelu [79] ziņo, ka ZnO nanodaļiņas ļauj kokvilnas materiālam pievienot UV aizsardzības īpašības viļņu garumu diapazonā no 300 nm līdz 400 nm, kas praktiski nodrošina aizsardzību tikai pret UVA I un UVA II spektriem, bet nenodrošina pilnu aizsardzību pret UVB. Zhao Jing un līdzautori [40] apraksta kokvilnas tekstilmateriāla pakļaušanu sola-gēla apstrādei sola sastāvā izmantojot cinka acetāta dihidrātu kopā ar litija hidroksīdu, pēc pārklāšanas kokvilnas tekstilija nodrošina UV aizsardzības kategoriju 50 + UPF kā arī konstatēta antibakteriāla iedarbība pret *E. coli*, bet efekta noturība pārbaudīta tikai ar vienreizēju mazgāšanu. Nepilnīga pārklājuma noturības pārbaude neļauj gūt pārliecību par iegūto efektu ilglaicību ekspluatācijā, kā arī pētījuma autori atzinuši, ka iegūtais pārklājums samazina tekstilmateriāla baltuma pakāpi.

A. Farouk un līdzautori [61] ziņo par ZnO uznešanu ar sola-gēla metodi, pārklātie kokvilnas paraugi atbilst aizsardzības 50 + UPF kategorijai, pārklājums iztur 5 mazgāšanas reizes. Abi minētie rādītāji nav pietiekoši aizsardzības prognozes veidošanai drošam ekspluatācijas procesam, tā kā tipiskos lietojumos kokvilnas tekstilijas tiek pakļautas daudzkārtējiem hidrotermiskās apstrādes cikliem.

Darbā [76] aprakstīta eksperimenta gaitā sintezētu TiO₂ un ZnO nanodaļiņu uznešana uz tekstilmateriāla virsmas, nodrošinot labu UV aizsardzību arī pēc 15 mazgāšanas reizēm, tomēr jāatzīmē, ka divos posmos sadalītais process iekļauj nanodaļiņu sintēzi un saistvielas izgatavošanu.

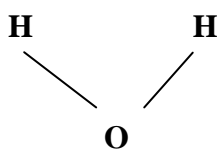
M. Zimniewska un līdzautori [4] ziņo par lignīna nanodaļiņu uznešanu ar saistvielu, pārklātie līna paraugi atbilst aizsardzības 50 + UPF kategorijai, pārklājums iztur 5 mazgāšanas reizes.

Vairākos pētījumos ar dažādam tehnoloģijām pārklātu tekstilmateriālu iegūtā UV aizsardzība atbilst 50 + UPF kategorijai, tomēr nav veikta pārklājuma adhēzijas pārbaude [80], citos konstatēta UV aizsardzības spēju samazinājums pēc tekstilmateriālu mazgāšanas no 1 līdz 5 reizēm [81, 82], kas nenodrošina modificētās tekstilijas īpašību saglabāšanos ekspluatācijas procesā. Rūpnieciskai ražošanai atbilstošas kokvilnas tekstiliju UV aizsardzības tehnoloģijas, kas samērā vienkārši integrējamas esošās apdares līnijās, publicēto avotu analīzes procesā nav konstatētas.

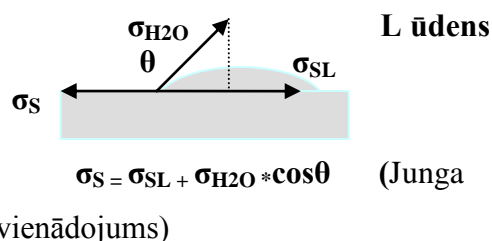
1.5. Tekstilijas ar ūdens atgrūšanās īpašībām

Tehniskajiem un speciāla pielietojuma tekstilmateriāliem bieži nepieciešama ūdeni atgrūdoša nobeiguma apdare – hidrofobizācija [83, 84]. Ūdens atgrūdošu tekstilmateriālu pirmsākumi meklējami jau senā pagātnē, kad efekta iegūšanai izmantoja dabiskās eļļas un taukus [83]. Vēlāk tekstilmateriālus pārklāja ar gumijas, polivinilhlorīda vai citu polimēru slāni [83]. Šādās apdarēs tekstilmateriāls kļuva ne tikai mitruma, bet arī gaisa necaurlaidīgs [83].

Ja šķidrums izplūst pa cietas vielas virsmu, veidojas saskares virsma, pēc noteikta laika saskares virsma vairs nepalielinās - slapēšana sasniedz līdzsvaru [2, 84, 85]. Līdzsvaru nosaka gan šķidruma, gan cietās vielas īpašības. Starpfāžu saites uz saskares virsmas veidojas līdzsvarojoties kohēzijas spēkiem L - L (starpmolekulārie spēki šķidruma (L) tilpumā) un adhēzijas spēkiem (starpmolekulārie spēki uz saskares virsmas šķidrums (L) - cieta viela (S) L-S). Slapēšanas līdzsvara leņķis θ vispārējā gadījumā var atrasties robežās no 0° līdz 180° ar savu vērtību raksturojot šķidruma virsmas slapināšanas intensitāti [2, 85]. Apģērbu un mājas tekstilmateriāli lietošanas procesā vairums gadījumos pakļaujas mitruma iedarbībai, līdz ar to Junga vienādojumā var ievietot ūdens virsmas spraigumu σ_{H_2O} (1.10. att.). Tekstilšķiedras ir polimēri, tātad pieskaitāmas pie mazas enerģijas virsmām ar virsmas spraigumu $\sigma_S = 15-70$ mN/m [85].



1.10. att. Slapēšanas līdzsvara leņķis saskares virsmā ūdens-cieta viela [85]



$$\sigma_{H_2O} = 72.8 \text{ mN/m}$$

Ja $\theta = 180^\circ$, $\cos\theta = -1$, $\sigma_{H_2O} > \sigma_S$

$$\sigma_{H_2O} < \sigma_S + \sigma_{SL}$$

Slapēšanas nav, virsma ir **hidrofoba**.

Ja $\theta = 0^\circ$, $\cos\theta = 1$, $\sigma_{H_2O} < \sigma_S$

$$\sigma_S = \sigma_{SL} - \sigma_{H_2O}$$

Neierobežota slapēšana, virsma ir **hidrofila**.

Dabiskās šķiedras (celulozes un olbaltumvielu) saista mitrumu, tā kā tās satur ievērojamu daudzumu aktīvo -OH grupu. Rezultātā celulozes šķiedru tekstilijas nodrošina labu zemapgērba mikroklimatu, bet tai pat laikā piesaista mitrumu un netīrumus no ārvides. Virknē pētījumu pierādīts, ka piešķirot hidrofilām virsmām spēju atgrūst mitrumu, tiek nodrošināts arī virsmu pašattīršanās efekts [86 - 88].

Hidrofobas tekstilmateriālu virsmas galvenokārt veido izmantojot divus paņēmienus: izveidojot raupju struktūru uz hidrofilām virsmām vai modificējot virsmas ar savienojumiem ar mazu virsmas enerģiju, tādiem kā fluoru vai silīciju saturoši savienojumi [89].

Pētījumā [90] kokvilnas audums ūdens atgrūšanas spēju nodrošināšanai pārklāts kombinējot raupju virsmu, SiO₂ nanodaļiņas un ZnO nanonūjiņas, bet nav pārbaudīta pārklājuma adhēzija. Geping He un līdzautori [90] ziņo par kokvilnas audumu pārklāšanu ar ZnO nanonūjiņām ūdens atgrūšanas spēju nodrošināšanai, arī šī pētījuma ietvaros nav pārbaudīta pārklājuma adhēzija.

Lihui Xu un citi [89] savā darbā apraksta SiO₂ saturošu pārklājumu uznesanu uz kokvilnas auduma virsmas hidrofobitātes nodrošināšanai, tomēr darba ietvaros nav pārbaudīta pārklājuma adhēzija. Chengyu Pan [92] un citi savā darbā ieguvuši hidrofobu kokvilnas audumu virsmu, apstrādājot audumu ar alūmīnija solu, tai pat laikā autori konstatē, ka paraugu slapēšanas leņķis samazinās jau pēc 5 mazgāšanas reizēm.

1.6. Tekstiliju modificēšanas tehnoloģijas

Tekstiliju modificēšanai lietojamās tehnoloģijas galvenokārt iedalāmas divās lielās grupās: ķīmiskās un fizikālās. Ķīmiskās tehnoloģijas parasti ietver rūpīgu virsmas ķīmiskās vides kontroli. Fizikālās tehnoloģijas parasti izmanto neķīmiskus spēkus, lai kontrolētu materiāla kodināšanu vai nogulsnešanu.

1.6.1. Pulveru vai nanodaļiņu uznešana ar saistvielām

Tekstiliju pārklāšanai plaši izmanto dažāda sastāva pulverus vai nanodaļiņas kopā ar dažādām saistvielām [2, 44]. Literatūrā minēti vairāki saistvielu tipi tekstiliju pārklāšanai, piemēram, uz akrila [4, 42, 93], poliuretāna [4], vinilacetāta [4], akrilāta [36, 94] bāzes. Pulvera vai nanodaļiņu un saistvielas maisījumu uzklāj uz tekstilmateriāla virsmas, saites šajā procesā veidojas starp saistvielu un tekstilmateriālu, nevis pulvera daļiņām vai nanodaļiņām [44]. Alternatīvā variantā vispirms veic tekstilmateriālu apstrādi ar saistvielu un pēc tam pulvera daļiņas vai nanodaļiņas uzklāj uz saistvielas [44]. Šo metožu lietošana tekstilmateriālu pārklāšanai ierobežota divu iemeslu dēļ: pirmkārt, adhezīvs var pilnībā iekapsulēt pulvera

daļiņas/nanodaļiņas, traucējot kontaktu ar mikroskopiskām sēnītēm un baktērijām, līdz ar to pasliktinās modificētā materiāla antimikrobiālās īpašības; otrkārt, daudzkārtīgas hidrotermiskās apstrādes vājina saistvielu, izraisot daļiņu atraušānu un noņemšanu no tekstilmateriāla virsmas, kā arī var būtiski ietekmēt tekstilmateriālam raksturīgās īpašības [44].

Neskatoties uz to mūsdienās šo metodi plaši lieto tekstilmateriālu pārklāšanai ar nanodaļiņām, visvairāk ar Ag [36], ZnO [42], TiO₂ [93], SiO₂ [94] un lignīna [4] nanodaļiņām.

1.6.2. Elektrolītiskā nogulsnešana

Elektrolītiskā nogulsnešana ir efektīvs process plānu metāla pārklājumu iegūšanai uz dielektriska materiāla virsmas; procesa laikā katalizatora klātbūtnē metāla joni reducējas līdz tīram metālam [2, 95, 96]. Pateicoties procesa autokatalītiskai dabai, uzklāšana turpinās tik ilgi, cik ilgi materiāls ir iegremdēts uzklāšanās vannā, kas ļauj iegūt gandrīz nelimitēta biezuma metāla kārtas [2, 95]. Elektrolītiskās nogulsnešanas tehnoloģija ļauj veidot nepārtrauktus un vienmērīgus pārklājumus no metāla daļiņu kompleksiem uz šķiedru, pavedienu, drānu virsmas, neietekmējot to struktūru vai faktūru [2, 96]. Tomēr netūrumi, kas atrodas uz tekstilmateriāla virsmas, ietekmē apstrādes šķīdumu, samazinot pārklājuma elastību, pasliktinot adhēziju, palielinot virsmas raupjumu [2]. Rezultātā elektrolītiskās nogulsnešanas procesā uznesta metāla pārklājuma adhēzija ir vidēji stipra, metāla pārklājums gaisa ietekmē var nolobīties no pamatnes [2]. Turklāt elektrolītiskā nogulsnešanas tehnoloģija ir daudzpakāpju process ar lielu ķīmikāliju patēriņu, ko veic 5 posmos: 1) attīrīšana (netīrumu noņemšana), 2) sensibilizācija (plaši lieto alvas hlorīdu, hlorskābi), 3) aktivēšana (bieži izmanto hlorskābi, pallādiju, hlorīdus, borskābi), 4) elektrolītiskā galvanizācija (atkarībā no uznesamā metāla lieto dažādu veidu ķīmiskās vielas, piem. formaldehīdu pie vara uznešanas), 5) pēcapstrāde (žāvēšana) [2, 95]. Pēc katra apstrādes posma paraugi jāskalo, lai attīrītu no tajā lietoto ķīmikāliju nevajadzīgus atlikumus no tekstilijas virsmas; tas rada daudz notekūdeņus [2].

M. Petrovas un līdzautoru savā darbā [97] austas un neaustas tekstilijas pārklājot ar Cu nodrošināta elektromagnētisko viļņu ekranizācija, bet darba ietvaros nav pārbaudīta pārklājuma adhēzija.

1.6.3. Vakuuma pārklājuma uznešanas tehnoloģijas

Pārklājuma uznešanas process vakuumā sastāv no trim posmiem [98]:

1. pārklājuma materiāla atomu plūsmas radīšana,
2. vielas pārnese vakuumā uz kondensācijas virsmu, kur formējas pārklājums,
3. kondensācija un pārklājuma veidošanās uz pamatnes ar noteiktu struktūru un sastāvu,

Pirmajā posmā – no atomu plūsmas radīšanas metodes, ir atkarīga atomu enerģija. Pamatni sasniegušo atomu enerģijas lielums ietekmē iegūtā pārklājuma īpašības [98].

Otrais posms ietekmē atomu enerģiju, kas sasnieguši kondensācijas virsmu. Zemā vakuumā notiek atomu enerģijas izkliede sadursmju dēļ. Augstā vakuumā, kad brīvā ceļa garums palielinās, atomi sasniedz kondensācijas virsmu praktiski bez sadursmēm. [98].

Pārklājuma formēšanās uz pamatnes notiek trešajā posmā, kad tā tiek bombardēta ar pārklājuma materiāla atomiem un ķīmiski aktīvām paliekošo gāzu (netīrumi, kas var palikt vakuumkamērā) (piem. H, H₂, O, O₂, CO₂, H₂O) molekulām. Rezultātā pārklājums bez pamatvielas var saturēt arī pamatvielas atomu savienojumus ar paliekošo gāzu molekulām, tāpēc ir ļoti svarīgi pazemināt ķīmiski aktīvo gāzu saturu kameras atmosfērā. Kā minēts iepriekš, atomu enerģija, kas nonāk uz pamatnes, var atšķirties par vairākām kārtām, kas atstāj lielu iespaidu uz pārklājuma struktūru. Pie lielas atomu enerģijas to kustīgums uz pamatnes ir augsts, un izveidojas sakārtotāka struktūra. Atomu kustīguma palielināšanai lieto dažādus paņēmienus, piemēram, pamatnes sildīšanu u. c. [98].

Pēc būtības pārklājuma uznešanu raksturo daudz un dažādi parametri, kas savā starpā ir vai arī nav saistīti un ietekmē pārklājuma īpašības. Šos procesa parametrus var iedalīt divās grupās:

1. kontrolējamie parametri – iztvaicētāja temperatūra, pamatnes temperatūra, kondensācijas ātrums, pamatnes un pārklājuma materiālu fizikāli-ķīmiskās īpašības, pārklājuma biezums u. c.,
2. nekontrolējamie un grūti kontrolējamie parametri – mijiedarbība starp mērķa materiāla atomu plūsmu un paliekošo gāzu molekulām, mijiedarbība starp iztvaicēto materiālu un kameras iekšpusē esošajiem materiāliem u. c.

Darba ietvaros dabisko šķiedru tekstilmateriāli modificēti izmantojot divas vakuuma pārklājuma uznešanas tehnoloģijas: termisko iztvaicēšanu un magnetrona izputināšanas tehnoloģiju. Vakuuma pārklājuma uznešanas tehnoloģija lietota tekstilmateriālu

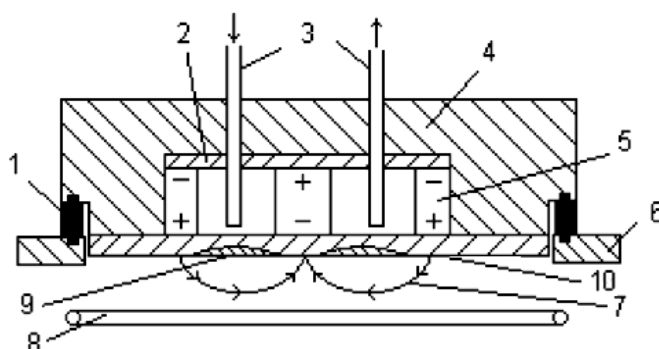
modificēšanai pateicoties tādām īpašībām, kā videi draudzīgā tehnoloģija, process bez šķīdinātāju un citu ķīmikāliju lietojuma, augsta reproducējamība [99 - 101].

1.6.4. Magnetrona izputināšanas tehnoloģija

Ir izstrādātas vairākas sistēmas, lai realizētu izputināšanas procesu, t. sk., līdzstrāvas izputināšanas tehnoloģija, ko izmanto, ja mērķis ir metāls. Augstfrekvences spriegumu izmanto, lai izputinātu dielektriskus materiālus, jo tas novērš statiskā lādiņa veidošanos uz dielektriskā materiāla virsmas. Ja vakuuma kamerā bez inertās gāzes ievadīta reaktīvā gāze, piemēram, slāpekļis, tad realizējas reaktīvais izputināšanas process, kas nodrošina plāno kārtiņu iegūšanu no ķīmiskiem savienojumiem.

Iespēja uzputināt materiālus ar plazmas joniem (katoda izputināšanas process) atklāta 1852. gadā [102]. Tagad to plaši izmanto daudzās nozarēs dažādu materiālu pārklājumu iegūšanai [101]. Šodien materiālu izputināšanai ar plazmas joniem plaši lieto magnetrona tipa izputināšanas sistēmas ar savstarpēji perpendikulāru elektrisko un magnētisko lauku.

Magnetrona izputināšanas darbības princips balstās uz tādām fizikālām parādībām, kā gāzu jonizācija, mirdzizlāde vakuumā, vielas izputināšana, bombardējot ar elektriskā laukā paātrinātiem argona joniem [100]. Magnetronā (1.11. att.) aiz izputināmā materiāla plāksnes (turpmāk - mērķis) atrodas pastāvīgu magnētu sistēma (5). Magnētiskā lauka spēka līnijas (7), noslēdzoties starp poliem, šķērso elektriskā lauka spēka līnijas. Zināms, ka uz lādiņu (elektronu), kas kustas sakrustotajā elektriskajā un magnētiskajā laukā, iedarbojas Lorencas spēks; tā virziens saskaņā ar spēku saskaitīšanas likumu ir atkarīgs no tā komponentu virzieniem. Pie tam daļa no spēka, ko nosaka magnētiskā lauka iedarbība, neveic darbu, bet tikai noliec daļiņas kustības trajektoriju.



1.11. att. Magnetrona izputināšanas sistēmas ar plakānu katodu shēma

1 – izolators, 2 – magnētisks materiāls, 3 – ūdens dzesēšanas sistēma, 4 – katoda mezgla korpus, 5 – pastāvīgais magnēts, 6 – vakuuma sistēmas sieniņa, 7 – magnētiskā lauka spēka līnijas, 8 – apļveida ūdens dzesējams anods, 9 – izputināmā materiāla erozijas zona, 10 – mērķis

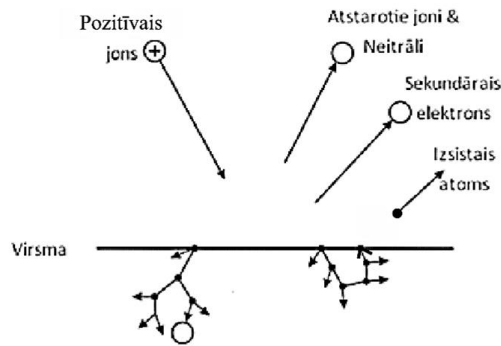
Elektroni, kas ir veidojušies jonizācijas rezultātā, magnētiskā lauka ietekmē lokalizējas tieši pie izputināmā materiāla virsmas. Tie it kā iekļūst lamatās, ko no vienas puses rada magnētiskais lauks, kas piespiež elektronus kustēties pa cikloidālām trajektorijām virsmas tuvumā un, no otras puses - tos atgrūž elektriskais lauks virzienā no katoda uz anodu [2, 98]. Elektronu sadursmju rezultātā ar argona molekulām rodas pozitīvie argona joni. Elektrisko un magnētisko lauku nehomogenitātes dēļ zonā pie katoda jonizācijas intensitāte dažādos apgabalos ir atšķirīga. Maksimālā vērtība novērota apgabalos, kur magnētiskā lauka indukcijas līnijas ir perpendikulāras elektriskā lauka intensitātes vektoram, bet minimālā - tur, kur to virzieni sakrīt. Plazmas lokalizācija zonā pie katoda dod iespēju sasniegt ievērojami augstu jonu plūsmas blīvumu pie zemākiem darba spiedieniem un attiecīgi nodrošināt lielākus izputināšanas ātrumus [2, 98].

Materiālu izputināšanu magnetrona tipa sistēmā var veikt no divu veidu materiālu mērķiem [100]:

1. mērķa materiāla ķīmiskais sastāvs ir atbilstošs pārklājuma materiāla sastāvam. Šādā procesā reaktīvās gāzes (skābeklis) patēriņš ir 10-100 reizes mazāks, nekā pārklājuma izputināšanas laikā no metāla mērķa, kas padara pārklāšanas uznešanas procesu vieglāk kontrolējamu un vadāmu [103, 104], šādi mērķi ir dārgāki un samazina iespēju variēt ar pārklājuma materiāla sastāvu,
2. mērķa sastāvā ir pārklājumam nepieciešamās metāla komponentes, oksīda ķīmisko savienojumu iegūst procesa laikā papildus inertajai gāzei pievadot arī reaktīvo gāzi – skābekli, šādi mērķi ļauj variēt ar pārklājuma ķīmisko sastāvu un līdz ar to arī mainīt pārklājuma īpašības.

Kā minēts iepriekš, pārklājuma uznešanas procesā ir iesaistīti gan kontrolējami, gan nekontrolējami procesa parametri, kuriem ir būtiska loma nepieciešamo pārklājuma īpašību iegūšanai. Lai turpmāk analizētu konkrētu parametru ietekmi, ir būtiski izprast kā notiek mērķa materiāla atomu izputināšanas process.

Izputināšana procesā materiāls tiek izgrūsts no cieta mērķa virsmas enerģijas impulsu apmaiņas rezultātā starp krītošiem argona joniem un mērķa materiāla atomiem. Jonu ar vairākus simtus elektronvoltage lielu enerģiju ietriekšanās mērķī izraisa sadursmju kaskādes, kas savukārt noved pie noteikta daudzuma mērķa virskārtas atomu emisijas. Pārskats par procesiem uz mērķa virsmas ir dots 1.12.attēlā.



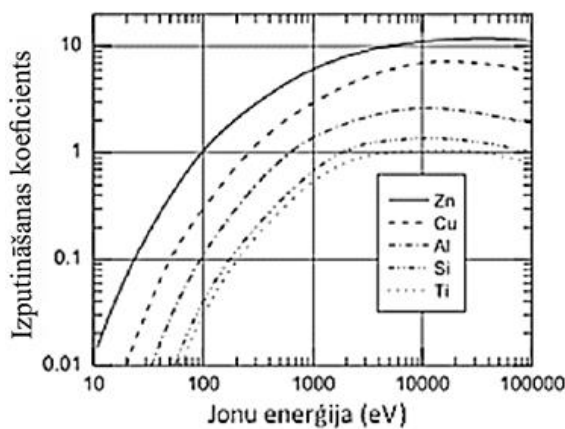
1.12. att. Jonizētas gāzes daļiņas trieciena ietekme uz mērķa virsmu [105]

Izputinātā materiāla īpašības ir atkarīgas no mērķi bombardējošo jonu kinētiskās enerģijas, krišanas leņķa, atommasas, kā arī no mērķa materiāla un tā struktūras. Svarīgākais izputināšanas procesa parametrs ir izputināšanas koeficients Y (1.1. vienādojums), kas nosaka izputināto mērķa atomu Z_e attiecību pret krītošo jonu skaitu Z_i .

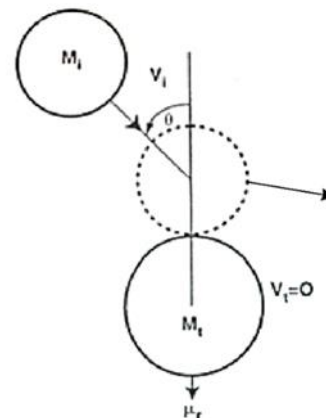
$$Y = \frac{Z_e}{Z_i}, \quad (1.1.)$$

kur Z_e – izputināto mērķa atomu skaits;
 Z_i – krītošo jonu skaits.

Izputināšanas koeficienta atkarība no jonu enerģijas dažādiem mērķa materiāliem ir parādīta 1.13.attēlā. Pie mērenas jonu enerģijas (ap 30 līdz 1000 elektronvoltu) uzputināšanu raksturo tiešās trāpīšanas efekts, kur sadursmi izraisītie joni saduras ar virsmas atomu, un šis atoms tālāk saduras jau ar citu atomu. Šie notikumi var galu galā novest pie mērķa materiāla atomu atbrīvošanas (izsišanas).



1.13. att. Izputināšanas koeficients dažādiem metāliem [98, 105]



1.14. att. Enerģijas pārnese jona sadursmē ar izputināmā materiāla atomu

Materiāla izputināšanas laikā pievadītā enerģija un impulss, kas nodots izputināmā materiāla atomam, ir atkarīgs no abu daļiņu masu attiecības, kā arī no krītošās daļiņas izkliedes leņķa (1.14. att.), un aprakstāms ar šādu sakarību (1.2. vienādojums):

$$\frac{M_i}{M_t} = \frac{4(M_i M_t)}{(M_i - M_t)^2} \cos^2 \theta, \quad (1.2.)$$

kur M_i - jonu masa;
 M_t - izputināmā materiāla atoma masa;
 θ - krītošās daļiņas izkliedes leņķis.

Jona nodotā enerģija būs vislielākā gadījumā, kad abām daļiņām ir vienāda masa un krītošās daļiņas izkliedes leņķis ir 0 grādu.

A) Magnetrona izputināšanas tehnoloģijas lietošana tekstiliju apstrādē

Magnetrona izputināšanas tehnoloģijai tekstilmateriālu virsmas modificēšanai piemīt vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar citām tekstilmateriālu modificēšanai lietotām tehnoloģijām [2, 106]:

1. uznešanai izmantojami daudzveidīgi mērķa materiāli, tādi kā metāli, metālu sakausējumi, metālu oksīdi un polimēri,
2. uznešana iespējama pie salīdzinoši zemas temperatūrām,
3. uznestiem materiāliem ir laba adhēzija ar šķiedru virsmām,
4. var kombinēt vairākus atšķirīgus mērķa materiālus.

Uzputinātā pārklājuma adhēziju ar tekstilmateriālu lielākoties nodrošina Van der Valsa spēki (darbojas starp molekulām un tikai nelielos attālumos), difūzija, mehāniskas un elektrostatisks mijiedarbības [2]. Fizikālos Van der Valsa spēkus veido statiskās elektrības, indukcijas un dispersijas spēki [2]. Pārklājuma adhēziju var ietekmēt dažādi faktori [2]:

1. uznešanas tehnoloģija, magnetrona izputināšanas tehnoloģija parasti nodrošina labāku adhēziju, nekā termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija,
2. uznešanas temperatūra, pie zemām uznešanas temperatūrām adhēziju galvenokārt nodrošina Van der Valsa spēki un mehāniskās mijiedarbības, bet pie augstām temperatūrām var notikt ne tikai atomu pārvietošanās pa pamatnes virsmu un to difūzija, bet arī pamatnes virsmu attīrīšana no gāzu molekulām un citiem piesārņojumiem,
3. virsmas stāvoklis, nefūrumi uz virsmas samazina adhēzijas spēkus, tīrām pamatnēm vienmēr ir labāka adhēzija ar pārklājumiem, uz adhēziju iespaidu atstāj arī pamatnes materiāla tips un tā sastāvs.

Magnetrona izputināšanas tehnoloģija lietota pētījumos tādu metālu un metālu oksīdu pārklājumu veidošanai uz tekstilmateriāla virsmas, kā Cu [52], CuO [107], Ag [101, 108], ZnO [109], TiO₂ [110].

Joanne Yip un citi [101] informē par magnetrona izputināšanas tehnoloģijas lietojumu Ag uznešanai uz adītas kokvilnas (90 %)/spandeksa (10 %) drānas atzīmējot, ka magnetrona izputināšanas ietekme uz tekstilijas mehāniskajām īpašībām ir nenozīmīga, bet ir slikta pārklājuma adhēzija ar tekstilmateriāla virsmu.

Osorio-Vargas P. un citi [52] informē par vara pārklājuma uznešanu uz kokvilnas tekstilijas, izmantojot asimetrisku spriegumu magnetrona izputināšanas sistēmā. Visefektīvākais pārklājums iegūts pie 60 s ilgstoša uznešanas procesa, kas nomāc *Eschericia coli* baktērijas. Pētījuma rezultātā arī konstatēts, ka virsmas modifikācija ar varu uzputināšanas procesā maina kokvilnas virsmu no hidrofilas uz aizvien vairāk hidrofobu, kā arī ekranizē UV. Tai pat laikā autori atzīmē, ka iegūtajam vara pārklājumam ir ļoti slikta adhēzija ar kokvilnas tekstilijas virsmu.

Salīdzinot gan ar lieljaudas impulsu magnetrona, gan ar parasto līdzstrāvas magnetrona izputināšanas tehnoloģiju uz poliestera virsmas uznestās vara kārtiņas antimikrobiālo iedarbību pret *E.coli*, autori [107] konstatē, ka ar lieljaudas impulsu magnetronu uznestais vara pārklājums nodrošina labāku antimikrobiālo iedarbību un adhēziju ar tekstilijas virsmu.

Pētījuma [100] autori, kas pārklājumu uz neaustas polipropilēna tekstilijas virsmas ieguvuši ar radiofrekvences magnetrona izputināšanas sistēmu, secina, ka adhēzija starp pārklājumu un pamatni uzlabojas, ja virsmu pakļauj plazmas pirmsapstrādei un silda.

H. Wang un līdzautoru [108] pētījumā ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju iegūts Ag pārklājumus uz neaustas polipropilēna tekstilijas virsmas un testēta iegūto pārklājumu antimikrobiālā iedarbība; iegūtie rezultāti liecina, ka antibakteriālās spējas ietekmē tikai Ag pārklājuma biezums, bet izputināšanas jaudai un argona spiedienam nav būtiskas nozīmes.

1.6.5. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija

Tekstiliju metalizācija noved pie būtiskām tekstiliju īpašību izmaiņām. Tomēr tekstilmateriālu metalizācijas process saistīts ar virkni grūtību, kuras izraisa dažādi tekstilmateriālu veidi un metāla pārklājuma veidošanās procesa īpatnības [2, 111]:

1. lielākai daļai tekstilmateriālu ir zema termiskā izturība, karsējot notiek to destrukcija,

2. uz tekstilšķiedru virsmas bieži uzkrāti netīrumi, vaski, tauki un citi ražošanas produktu atlikumi,
3. uz daudziem tekstilmateriāliem nav iespējams iegūt labu metāla adhēziju ar to virsmu bez iepriekšējās apstrādes,
4. uznestā pārklājuma biezumu ierobežo metāla iekšējie spriegumi, kas rodas nogulsņējoties metālam uz aukstas tekstilijas virsmas.

Metāla pārklājuma veidošanās process uz tekstilpamatnes virsmas sākas ar atsevišķu atomu kondensāciju, kas migrācijas rezultātā veido kompleksus no dažiem atomiem kļūstot par kristalizācijas centriem; tiem palielinoties un apvienojoties izveidojas nepārtraukta metāliskā kārtiņa [111]. Plānus pārklājumus veido kristalizācijas centri, kas savstarpēji savienoti ar tiltiņiem; to biezums ir ievērojami mazāks par pašiem centriem [111]. Plānu metāla pārklājumu struktūras ietekmē pārklājuma biezums, pamatnes materiāla veids un pārklājuma iegūšanas parametri (iztvaicētāja temperatūra, iztvaicēšanas ātrums u. c.) [111].

No tekstilšķiedrām vakuumā ļoti intensīvi izdalās gāzes; bez tam pamatnei sasilstot metalizācijas procesā, izdalītās gāzes apjomi strauji pieaug. Mūsu eksperimentos noskaidrots, ka gāzes izdalīšanās intensitāte vakuumā ir arī atkarīga no tekstilmateriāla veida, piem., lina šķiedras tās izdala daudz intensīvāk nekā kokvilnas šķiedru tekstilijas.

Pamatni uzsildot pirms metāla uznešanas, tās virsma tiek attīrīta no absorbēto gāzu un ūdens tvaiku molekulām, jo to klātbūtne uz modificējamās virsmas ir viens no faktoriem, kas ievērojami pasliktina pamatnes un metāla adhēziju [111]. Tekstiliju uzkaršēšanai piemērojamās temperatūras ierobežo apstrādājamā šķiedru sastāva karstumizturība, kas vairums gadījumos ir pārāk zema.

Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas plusi ir ļoti ātrs process, mazs modificējošā materiāla patēriņš, process nerada notekūdeņus. Pie mīnusiem pieskaitāms salīdzinoši liels enerģijas patēriņš, tas, ka nav iespējams uznest materiālu pārklājumus ar augstu kušanas temperatūru, rodas problēmas uznesot sakausējumus, un slikta pārklājuma adhēzija ar pamatnes materiālu [2].

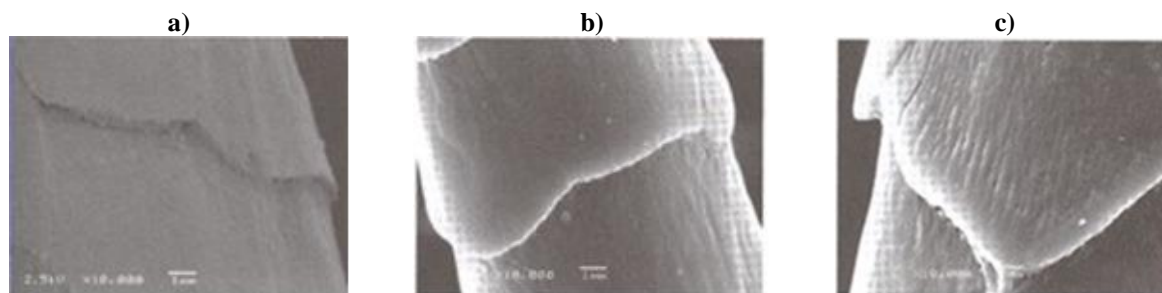
1.6.6. Tekstilijas virsmas modificēšana/attīrīšana ar plazmas joniem

Gāzes plazma ir komplicēts fotonu, elektronu, pozitīvo un negatīvo jonu, brīvo radikāļu un ierosināto molekulu sajaukums [2, 112, 113]. Atkarībā no gāzes jonizācijas apstākļiem var izveidot termisko (karsto) vai netermisko (auksto-zemo temperatūru) plazmu [2, 112]. Karstās plazmas temperatūra var sasniegt 1000 K, tāpēc tā nav piemērota tekstiliju apstrādei [2]. Aukstās plazmas temperatūra ir tuvu istabas temperatūrai vai nedaudz augstāka,

un to var veiksmīgi lietot tekstilmateriālu priekšapstrādē [2]. Iespējams izvēlēties zema spiediena vai atmosfēras spiediena plazmu [2]. Kaut gan zema spiediena plazma ir dārgāka salīdzinājumā ar atmosfēras spiediena plazmu, tā nodrošina labāku priekšapstrādes vienmērību, turklāt tās iegūšanai jāizlieto mazāks gāzes daudzums [2]. Tekstiliju apstrāde ar plazmu ietekmē to virsmas topogrāfiju, kā arī var mainīt virsmas ķīmiskās īpašības [2, 112] neatstājot iespaidu uz tiem raksturīgām īpašībām, piem., elastību, virsmas mīkstumumu u. c. [2, 113]. Plazmas apstrādes dziļums < 100 nm ļauj iegūt tādas tekstilmateriālu paplašinātas īpašības, kā uzlabotu slapināmību vai ūdens/eļļas atgrūšanu, uzlabotu adhēziju un biosaderību, uzlabotu nodilumizturību un izturību pret plīšanu, labāku krāsošanas kvalitāti un dziļumu, vai tieši otrādi - padarīt virsmu inertāku [2, 112].

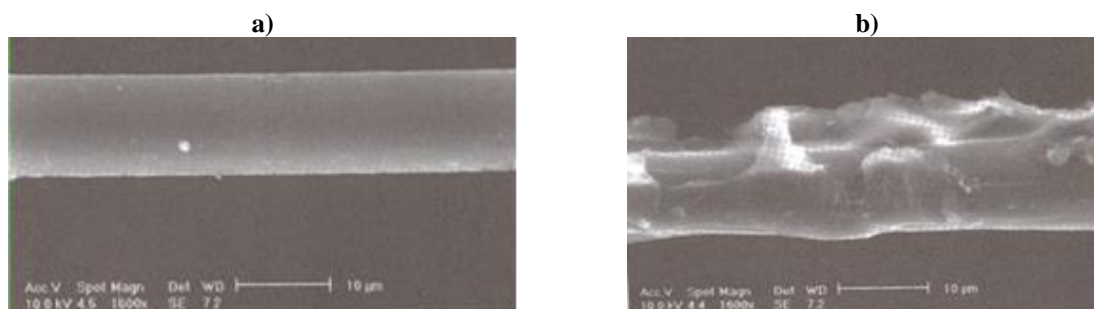
Modifikācijas raksturs, kas iegūts ar plazmas apstrādi, atkarīgs no gāzes sastāva, tekstilšķiedru veida, izlādes strāvas un frekvences, temperatūras un apstrādes ilguma [2, 112]. Līdztekus tekstilmateriālu virsmas attīrīšanai, kas nodrošina sīko apjomu noņemšanu no virsmas, cits efekts ir virsmas ķīmiskā modifikācija, pateicoties īpašu funkcionālo daļiņu ievadīšanai; to veids ir atkarīgs no plazmas gāzes sastāva [2]. Sastāvu variējot, uz polimēru virsmas var pievienot lielu funkcionālu grupu skaitu [1].

Īpaši efektīva ir virsmas zema spiediena plazmas terapija, kas ļauj veikt selektīvas modifikācijas nano-līmenī. Piemērošanas jomas: izmēru samazināšana, papildus funkciju piešķiršana un virsmas īpašību modificēšana. Apstrāde plazmā ir jauna tehnoloģija dabisko šķiedru tekstilmateriālu apstrādes tehnoloģiju saimē ar vairākām priekšrocībām salīdzinājumā ar tradicionāli lietotām slapjām tehnoloģijām: nav jālieto videi kaitīgas ķīmikālijas, nav notekūdeņu un tekstilmateriālu mehānisko bojājumu riska, tādējādi plazmas tehnoloģija ir videi draudzīga un ekoloģiska [2, 112, 113]. Bez tam, apstrādes procesā plazma īpaši iedarbojas uz virsmu, piešķirot tai dažas īpašības, kuras nevar iegūt ar tradicionālām (vispārpieņemtām) tehnoloģijām [114], piem., dabisko šķiedru tekstiliju pakļaušana priekšapstrādei plazmas vidē ļauj palielināt reaģējošās virsmas [115], vai kā konstatēts pētījumā [100] plazmas pēcapstrāde acīmredzami palielina polipropilēna nodilumizturību.



1.15. att. Vilnas šķiedru SEM mikrofotogrāfijas pirms un pēc apstrādes plazmas vidē.
a) neapstrādāta šķiedra, b) apstrādāta 900 s N₂ plazmā, c) apstrādāta 900 s O₂ plazmā [116]

Kā redzams 1.15. attēlā, apstrāde N₂ plazmā būtiskas izmaiņas šķiedras virsmā nerada, tikai zvīņu kontūras paliek asākas [116]; turpretim apstrāde O₂ plazmā acīmredzami maina virsmas struktūru veidojot uz šķiedras virsmas rievojumu un mikrokrāterus. Tādējādi izvēloties attiecīgu plazmas vidi un atbilstošu apstrādes laiku, iespējams dažādi iedarboties uz šķiedru virsmām, līdz pat to būtiskai destrukcijai, kā tas redzams 1.16. attēlā b). Šajā gadījumā apstrādes mērķis modificēt hidroforas šķiedras virsmu ar zema spiediena skābekļa plazmu uzlabojot to saslāpīnāmību, līdz ar to adhēziju ar matricu kompozītmateriālu veidošanas procesā sasniegts izsaucot daļēju šķiedru destrukciju [117].



1.16. att. Polipropilēna šķiedras mikrofotogrāfijas pirms un pēc apstrādes O₂ plazmā.
a) neapstrādāta šķiedra, b) apstrādāta 30 min. O₂ plazmā [117]

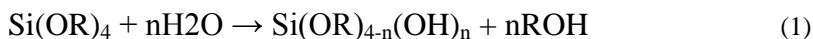
1.6.7. Sola-gēla tehnoloģija

Sola-gēla tehnoloģija ir kļuvusi par svarīgu metodi nanodaļiņu un plānu pārklājumu iegūšanai uz neorganisko vai neorganisko-organisko materiālu bāzēs [2], jo ar šo tehnoloģiju iespējams pārklāt plašu daudzveidīgu materiālu klāstu: stiklu, papīru, koksni, metālus, polimērus, tekstilmateriālus u. c. [1].

Mūsdienās, sola-gēla metode ir plaši lietota neorganisko materiālu sintēzei, pateicoties vienkāršam aprīkojumam, iespējai izmantot dažādus prekursorus, kā arī metode ir salīdzinoši vienkārša un ar relatīvi zemām izmaksām ļauj apstrādāt apjomīgus izstrādājumus [74, 118 - 124].

Sola-gēla process realizējams trīs posmos: 1) sola veidošana ar prekursora hidrolīzi un kondensācijas reakcijam, 2) pārklāšanas process, 3) termiskā apstrāde (žāvēšanas vai karsēšanas) [1, 2].

Sola-gēla sintēzē raksturīgi divi procesi hidrolīze un kondensācija [125]:



kur R - ir alkilgrupas CH₃, C₂H₅, C₃H₇ vai nātrija silikāta šķīdumi, OR – alkoksigrupas, ROH - alkohols.

Process ietver sola pagatavošanu, kas sastāv no dispersās fāzes un dispersijas vides. Dispersijas fāzē atrodošos daļiņu izmēri var būt robežās no 1 nm līdz 1 μm. Solu pagatavo, sajaucot koncentrētus metālu katjonus saturošus šķīdumus ar ūdeni vai alkoksīdus ar organiskas dabas šķīdinātāju jeb dispersijas vidi. Sols nākamajā stadijā destabilizēts, pateicoties hidrolīzes un polimerizācijas reakcijām. Ūdens klātbūtne sistēmā izmaina pH vērtību un samazina daļiņu savstarpējo atgrūšanās spēju, vai arī nosaka polimerizācijas reakciju norisi, kā rezultātā pieaug sistēmas viskozitāte – veidojas gēls [126].

Silīcija alkoksīdu hidrolīze ir ļoti jutīga pret apkārtējās vides faktoriem. Polikondensācijas vai polimerizācijas rodas savienojuma lineāro izmaiņu rezultātā un daļējas sazarošanās dēļ alkoksīdu ligandos, seko straujš reakcijas ātruma kritums. Silīcija alkoksīdu hidrolīzi sekmē katalizatori. Ja skābe ir katalizators, tad sākotnējais hidrolīzes solis ir molekulu pārvēršanās par (RO)₃Si-OH molekulām, kas notiek ļoti strauji [125]. Līdzko Si-OR grupas kļūst reaģētspējīgākas, skābes katalizētā hidrolīze veicina ķēžu pagarināšanos un tādējādi arī lineāro polimēru veidošanos [125]. Bāzes katalizētās sistēmās veidojas pilnībā hidrolizēts polimērs. Ūdens koncentrācijas palielināšana veicina atsevišķu polimēru saišu sašķelšanos un kavē starpmolekulārās kondensācijas reakcijas. Tam seko izolētu ciklisku un vairāk blīvu sfērisku daļiņu formēšanās. Atkarībā no pievienotā ūdens daudzuma, iegūstot atšķirīgu sola destabilizācijas pakāpi, iespējams iegūt divus dažādus gēlus. Ja ūdens pievienots pārākumā, gēls pārtop par nepārtrauktu, no daļiņu aglomerātiem veidotu „tīklu” – izveidojas koloidāls gēls jeb akvagēls. Ja alkoksīdu šķīdumam ūdeni pievieno ierobežotā daudzumā un lēnām, sola daļiņas palielinās, notiekot kondensācijas vai polimerizācijas reakcijai. Tādā veidā iegūts polimēra tipa gēls, ko sauc par alkogēlu [126]. Pievienojot tādas šķīdinātājus kā spirti, tetrahidrofurāni un dioksāni, tiek sagrautas ūdeņraža saites ūdens

molekulā. Tas palielina H⁺ un OH⁻ jonu koncentrāciju un tādējādi attiecīgi samazina skābumu vai bāziskumu un rezultātā arī hidrolīzes ātrumu [125].

Nākamajā stadijā veikta dispersijas vides atdalīšana. Šeit atkal ir ļoti svarīgs operācijas izpildes ātrums. Ja dispersijas vide atdalīta ātri, iegūts pulverveida kserogēls, kuru pēc tam, ja nepieciešams, iespējams saķepināt pie atbilstošas temperatūras. Lēnas šķīdinātāja un gaistošo reakcijas produktu atdalīšanas rezultātā iegūts monolīts kserogēls, šķiedras veida materiāli vai pārklājumi [126]. Pārklāšanas procesa laikā notiek daļiņu aglomerācija un kondensēšana, izraisīta ar šķīduma iztvaikošanu un termisko apstrādi [1].

Lai sasniegtu jaunas vai papildus funkcionālās īpašības, var veidot alkoksīdu sistēmas, piemērojot vienu no divām galvenajām iespējām: 1) izmantojot jauktus (samaisītus) alkoksīdus, jeb metālu organiskus prekursorus vai 2) secīga alkoksīdu pievienošana pie daļēji hidrolizēta prekursora. Pievienotais nehidrolizēts alkoksīds kondensēsies ar daļēji hidrolizētu uz polimēru savienojumiem, formētiem iepriekšējās hidrolīzes gaitā (heterokondensācija) drīzāk nekā ar sevi (homokondensācija) [1, 2, 126], iespējamās modifikācijas attēlotas 1.11.attēlā.



Me = Al, Ti, Zr, u. c.

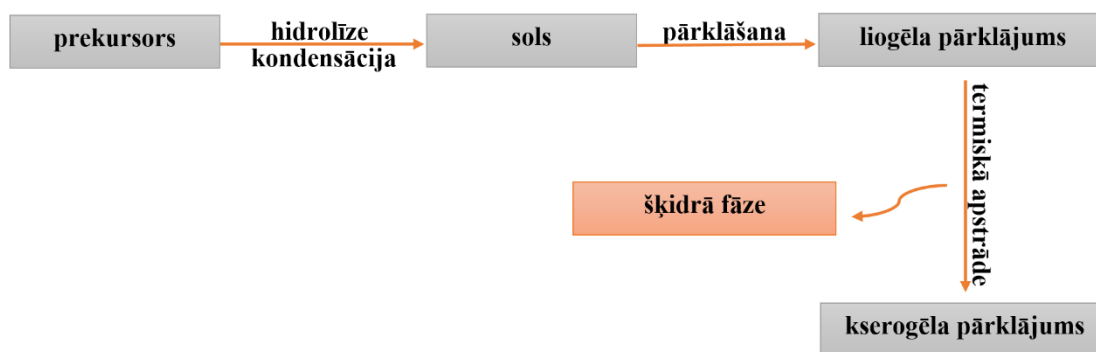
R = krāsviela, biomolekula, u. c.

1.11. att. Ķīmiskā sola modifikācija [1].

A) Sola-gēla tehnoloģijas izmantošana tekstiliju pārklāšanai

Pirmā publikācija [1] par sola-gēla tehnoloģijas lietošanu tekstiliju pārklāšanai ir T. Textor 2000.gada raksts.

Galvenie posmi pārklājuma iegūšanai uz tekstilmateriāla virsmas ar sola-gēla metodi attēloti 1.12. attēlā [1]. Sola pāreja par gēlu balstās uz liogēlu (trīsdimensiju gēla sistēmas, kuru poras aizpildītas ar šķīdinātāju) formēšanu, sākotnēji izveidota gēla žāvēšanas vai karsēšanas veicina kserogēla veidošanu pateicoties šķīdtras fāzes iztvaicēšanai [2, 126].



1.12. att. Tekstilmateriālu virsmas apstrādes shēma ar sola-gēla metodi

Kserogēli ir amorfas sistēmas, kas sastāv no nanoizmēra kompleksiem un veido homogēnus un caurspīdīgus pārklājumus. Kristālisku pārklājumu iegūšanai kserogēlus jāpakļauj termiskai apstrādei pie temperatūras, kas pārsniedz 400 -500°C, tā kā tekstilmateriāli nevar izturēt tik augstas temperatūras, process ir apturēts ar kserogēla veidošanos [1, 2, 127].

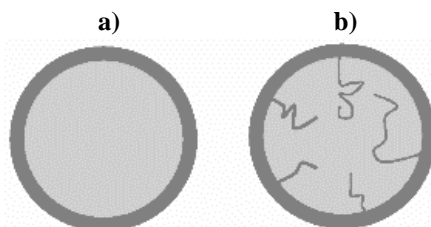
Mūsdienās veikti pētījumi, mēģinot piemērot solus tekstilmateriālu pārklāšanai; galvenais ierobežojums ir tekstilmateriālu relatīvi zema termiskā stabilitāte, kas lielākai daļai tekstilšķiedru ir zem 200 °C, bet dažām pat ievērojami zemāka [1]. Kā minēts iepriekš, termiskā apstrādē zem 200 °C formēsies neorganisks kserogēls; lai samazinātu kserogēla blīvumu un porainību bez karsēšanas pie lielām temperatūrām, sola pagatavošanas procesā to var karsēt [1, 127].

Paraugu termiskā apstrāde ir atkarīga no sola sastāva un tā pagatavošanas procesa. No literatūras avotiem [1, 2] zināms, ka daudziem solu sastāviem termiskā pēcapstrāde pie 120 °C ir pietiekoša, lai uzlabotu adhēziju starp pārklājumu un tekstilmateriālu. Sola-gēla tehnoloģiju ir iespējams zināmā mērā pielāgot tekstiliju virsmas īpašībām un apvienot vairākas funkcijas vienā materiālā [127, 128].

Svarīgs nosacījums sola izmantošanai tekstilmateriālu pārklāšanai ir pārklājuma un pamatnes adhēzija, kas ir pietiekoša, lai novērstu pārklājuma atslāņošanu no pamatnes, piem. hidrotermiskās apstrādes procesā. Kokvilnas tekstilmateriālu (celulozes šķiedru) sola-gēla pārklājuma adhēziju var uzlabot ar silanolgrupu (Si-OH) ķīmisko kondensāciju, kas veido noturīgās saites ar kokvilnas -OH grupam [1, 128].

Pie sola-gēla metodes priekšrocībām pieskaitāms tas, ka tekstiliju pārklāšanai var izmantot tradicionālās iekārtas un tehnoloģijas, piem. iemērkšanu, izsmidzināšanu [1, 2]. Vienkāršākā un plāšāk lietota metode ir iemērkšana solā uz noteiktu laiku, ar sekojošu žāvēšanu un/vai karsēšanu [1, 2, 92]. Lietojot izsmidzināšanas metodi katru tekstilijas virsmu

var modificēt atsevišķi, piem., no vienas puses var iegūt hidroforu, no otras puses hidrofilu virsmu [1]. Līdztekus priekšrocībām izsmidzināšanas metodei ir arī trūkumi: tekstiliju iemērķšana solā nodrošina vienmērīgāku pārklājumu, jo lielu virsmu pārklāšanai izsmidzinot ne tikai solus, bet šķīdumus vispār, grūti iegūt vienmērīgu pārklājumu, kas samazina pārklājuma noturību [1].



1.12.att. Pārklājuma shematisks zīmējums: a) poliestera šķiedru tekstilija, b) kokvilnas šķiedru tekstilija [1].

Kokvilnas šķiedru porainā struktūra ļauj veidoties neorganiskām matricām arī šķiedru iekšpusē (1.12. att.) [1].

1.3. Tabulā sakopotas papildīpašības, kādas tekstilijas var nodrošināt apstrādājot tekstilijas ar sola-gēla tehnoloģiju [1].

1.3. tabula

Sola-gēla pārklājumu piešķiramās papildīpašības tekstilmateriāliem

<i>Tekstiliju īpašības</i>	<i>Virsmas īpašības</i>	<i>Optiskas īpašības</i>	<i>Bioaktīvas sistēmas</i>	<i>Papildu īpašības</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Stingrums/ drapējums • Absorbējamība • Caurlaidība 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrofobitāte • Hidrofilītāte • Fotokatalītiskās īpašības • Barjeras funkcijas • Noturība pret berzi 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotohromatisks efekts • Krāsa • UV absorbcija/ atstārošana 	<ul style="list-style-type: none"> • Biocīdi pārklājumi • Kontrolētās piegādes sistēmas • Bioloģisko vielu imobilizācija (fermenti, šūnas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Karstuma rezistence • Magnētiskas īpašības • Aromātu pārvaldība • Vadītspēja

Publicētie avoti liecina, ka sola-gēla tehnoloģija lietota tādu pārklājumu iegūšanai uz tekstiliju virsmas, kā TiO_2 [73, 77, 93, 129], $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ [51, 130, 131], ZnO [132], Al_2O_3 [77, 92], SiO_2 [2, 133, 134], galvenokārt pētījumos vērojot uzmanību TiO_2 un SiO_2 saturošu pārklājumu iegūšanai uz tekstilijām ar sola-gēla tehnoloģiju. Neskatoties uz samērā plašiem pētījumiem tekstiliju modificēšanai ar TiO_2 solu, ir vērojama tekstilijas dzeltēšana (krāsas izmaiņas skaidrojamas ar organisko elementu oksidāciju pārklājumā) apstrādes procesā [1, 2].

Publicēto pētījumu analīzes rezultātā jāsecina, ka sola-gēla tehnoloģija ir piemērojama tekstiliju modificēšanai papildīpašību piešķiršanai, tā kā salīdzinājumā ar pārējām

apskatītajām metodēm, tā ir diezgan vienkārši realizējama ar zemām ražošanas izmaksām, integrējot to tekstiliju apdares līnijās, tā nodrošina kontroles iespējas visā procesā, ļaujot sintezēt konkrētam lietojumam piemērotus izstrādājumus.

Tai pat laikā jāatzīmē faktu, ka ir maz pētījumu, kas orientēti uz sola-gēla procesos iegūto pārklājumu adhēzijas ar modificēto tekstiliju virsmu novērtēšanu, vairums pētījumos pārklājumu noturība pret hidrotermiskām apstrādēm nav vērtēta vispār [89, 134] vai testēta tikai pēc 5 cikliem [61, 133] vai 10 cikliem [72], kas neatbilst standartiem un nerada pārliecību par sekmīgu ekspluatāciju. Bez tam, daudzos darbos minēta nepieciešamība uzlabot pārklājuma un tekstilmateriāla adhēziju [135], teicama pārklājuma adhēzija konstatēta tikai atsevišķos darbos, piemēram, [77] nodrošinātas ar $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ un TiO_2 pārklātas kokvilnas tekstilijas UV aizsardzības spējas arī pēc 40 hidrotermiskās apstrādes cikliem, pie tam pēc hidrotermiskās apstrādes vērojama piešķirtās papildīpašības uzlabojums.

Kas savukārt ļauj secināt, ka ar sola-gēla tehnoloģiju nav viegli nodrošināt teicamu pārklājuma adhēziju ar tekstilmateriālu, tomēr adhēziju iespējams uzlabot, variējot sola sastāvu, apstrādāto tekstilmateriālu termiskās pēcapstrādes un citus faktoros.

1.7. Varš un vara īpašības

Varš Cu (latīņu: *cuprum*) ir ķīmiskais elements ar ļoti labu elektrovadītspēju un siltumvadītspēju, tā atomskaitlis 29, blīvums $8,92 \text{ p. g/cm}^3$, kušanas temperatūra 1083° C . Varš dabā ir sastopams brīvā veidā, tomēr lielāko daļu vara iegūst no sulfīdu un oksīdu rūdām. Varš ir visai inerts metāls, jo aktivitātes rindā atrodas aiz ūdeņraža. [136]

Varš ir viens no relatīvi mazas metālu grupas elementiem, kas kopā ar aminoskābēm, taukskābēm un vitamīniem ir svarīgs cilvēka veselībai, piedalās daudzos fizioloģiskos procesos [137]. Vidējais vara saturs dzīvajā organismā ir $2 \cdot 10^{-4} \%$, kā arī ir pazīstami organismi - vara koncentratori. Pie temperatūras, kas ir zemāka par 185° C ar sausu gaisu un skābekli varš nemijiedarbojas [138].

Varš jau gadu tūkstošiem izmantots kā biocīda viela [49]. Senajā Ēģiptē (2000 pr. Kr.) varu izmantoja ūdens un brūču sterilizācijai [49, 139]. Senie grieķi Hipokrāta rosināti (400 pr. Kr.) izmantoja varu plaušu slimību ārstēšanai un ūdens attīrīšanai [49]. Romas impērijas laikā lietoja virtuves piederumus no vara, lai kavētu slimību izplatību [49, 139]. Senie Feniķieši pienagloja vara strēmeles kuģa korpusiem, lai novērstu korpusu apaugšanu un piesārņošanu ar aļģēm, tādējādi palielinot ātrumu un manevrēšanas spēju [49]. Acteki izmantoja vara oksīdu un malahītu ($\text{Cu}_2[(\text{OH})_2/\text{CO}_3]$) ādas slimību ārstēšanai [49, 139]. Amerikas celmlauži, kuģojot gar Amerikas kontinentu, ievietoja vara monētas mucās, lai nodrošinātos ar veselībai drošu

dzeramo ūdeni ilgajā ceļojumā [49]. No 18.gadsimta varš plaši lietots plaušu un garīgo slimību ārstēšanai [49]. Otrajā Pasaules karā Japāņu kareivji lika vara gabaliņus ūdens pudelēs, lai novērstu dizentēriju [49]. Vara sulfātu joprojām lieto Āfrikas un Āzijas iedzīvotāji čūlu un ādas slimību ārstēšanai [49].

Ir pierādīts, ka pretēji cilvēka audu zema jutībai pret varu, mikroorganismi ir ārkārtīgi jutīgi pret to [49, 140]. Cu nekaitīgumu cilvēka organismam demonstrē plaši izplatīta un ilgstoša intravaginālo pretapaugļošanās līdzekļu lietošana [49, 50]. Ādas nelabvēlīgas reakcijas (kairinājums, alerģija u. c.) risks pēc kontakta ar varu uzskatīts par ārkārtīgi zemu, bet tas ir būtisks mikroelements, kas veicina brūču dzīšanu, tāpēc daudzas bezrecepšu zāles brūču dziedēšanai satur varu [49].

Cu ir plaša spektra antimikrobiāls aģents virknei patogēnu mikroorganismu [46, 49, 139], tā fungicīdās īpašības ir pierādītas daudzos kontrolētos laboratorijas pētījumos jau pagājušā gs. 50.gados un kopš tā laika varu un vara savienojumus efektīvi izmanto raugu un mikroskopisko sēnīšu kultūru augšanas apturēšanai un iznīcināšanai, vara bāzes fungicīdos preparātus izmanto lielos apjomos ik gadu visā pasaulē lauksaimniecībā [49].

Cu pēcīgas antibakteriālas īpašības, pierādījušās daudzos laboratorijas pētījumos, vara un vara savienojumi spēj apturēt mikroorganismu augšanu un iznīcināt plašu baktēriju klāstu (3.5. apakšnodaļa) [49, 139]. Jaunākos pētījumos konstatēts, ka nešķīstošiem vara savienojumiem, piem., stiklam, kas pārklāts ar plānu CuO plēvi vai šķiedrām no biodegradējošā fosfāta stikla ar CuO, kā arī metālam un vara sakausējumiem piemīt spēcīgas biocīdas īpašības pat pret sarežģītu baktēriju sporām [49].

Pamatojoties uz milzīgu antimikrobiālas iedarbības testu apjomu (180 testi, ar 3235 kontrolēm un testa paraugiem), kas veikti neatkarīgās mikrobioloģijas laboratorijās, 2008.gada martā varš un vara sakausējumi atzīti par materiāliem ar antimikrobiālām īpašībām, tādējādi tos atļaujot izmantot produktos, kas saistīti ar sabiedrības veselības problēmām [46, 49, 139].

Papildus antibakteriālām un fungicīdām īpašībām Cu uzrāda spēcīgu pretvīrusu aktivitāti, eksperimentos ir pierādīta vīrusu inaktivācija ar varu [49], tomēr tas nav piemērots sistēmisku infekciju (izplatās visā ķermenī) ārstēšanai un gadījumos, kad nenotiek efektīvs vara metabolisms [49].

A) Vara un vara savienojumu lietojumi tekstilijās

Zeķes no pavedieniem, kas apstrādāti ar varu un vara oksīdu izrādījušās efektīvas diabētiķu pēdu brūču un kāju sēnīšu infekciju (atlēta pēdas) ārstēšanā [3, 49]. Varš ne tikai

cīnās ar mikroorganismiem, bet arī uzsūcas caur ādu, uzlabojot tās stāvokli [3]. Pārsienamie materiāli ar vara oksīdu devuši labus rezultātus testos uz cilvēkiem un dzīvniekiem ne tikai novēršot brūču inficēšanos, bet arī paātrinot to dzīšanu, sevišķi diabētisko čūlu ārstēšanā, kas ir mazefektīva ārstējot ar tradicionālām metodēm [49]. Nesen ziņots par *HIV-1* un citu vīrusu dezaktivāciju suspensijās ar vara bāzes filtriem [49, 141].

Neskatoties uz to, ka varš un vara savienojumi jau ir atraduši lietojumus dažādās jomās un nozarēs pateicoties to vērtīgajām īpašībām, joprojām nepieciešamība pēc vara un vara savienojumu jaunu lietojumu izpētes un īstenošanas ar veselību saistītos lietojumos ir ļoti aktuāla. Viena no jomām ir to patogēnu augšanas nomākšana un nogalināšana, kas izraisa nozokomiālās jeb hospitālās infekcijas medicīniskajās iestādēs, piem. slimnīcās, klīnikās un pansionātos: a) veidojot tādas cietas virsmas kā durvju rokturus, gultu apmales un intravenozos statīvus no metāliska vara vai vara sakausējumiem; b) veidojot tādas mīkstās virsmas kā palagus, pacientu ietērpus, pacientu pidžamas, medicīniskā personāla apģērbus no tekstilmateriāliem, kas apstrādāti ar varu [49]. Līdzīgi iespējamie vara lietojumi, pateicoties tā spēcīgām pretvīrusu īpašībām, ir filtrācijas ierīces, kas var deaktivēt vīrusus inficētos šķīdumos (inficēti asins produkti, krūšu piens u. c.) [49].

B) Vara pārklājumu uznešanas ekonomiskie aspekti

Analizējot vara pārklājumu uznešanas izmaksas, būtiskākās izmaksu grupam ir izdevumi, kas saistīti ar pašu izputināmo materiālu – mērķa materiālu.

Tagad tirgū ir pieejami tekstilizstrādājumi ar Ag pārklājumiem, bet Cu cenu salīdzinot ar sudraba cenām izmaksā, ir acīmredzamas atšķirības: 2013.gada decembrī viens kg Ag maksāja 457,92 eiro, bet viens kg Cu tikai 5,3 eiro [142]. Un tā kā izputināmā mērķa cena tiek noteikta pēc metāla masas, tad Ag aizstāšana daudzos lietojumos ar Cu ir vērā ņemams aspekts.

1.8. Kopsavilkums

Kokvilna kā celulozes šķiedra ir ļoti jūtīga pret mikroorganismu darbību - baktēriju, raugu un mikroskopisko sēņu iedarbības rezultātā uz tekstilmateriāliem rodas tādi estētiski un strukturāli bojājumi kā krāsu maiņa, šķiedru stiprības zudumi depolimerizācijas rezultātā, neregulāri traipi, uz virsmas veidojas bioplēves, pelējums, parādās specifiska smaka. Tekstilijas viegli uzkrāj mikroorganismus un kalpo kā rezervuārs infekciju pārņemšanai, tāpēc tekstilijas ar antimikrobiālu apdari var būt ļoti noderīgas atveseļošanas procesā pacientiem pēc transplantācijas, pie imūndeficīta slimībām, pacientiem ar vāju imunitāti, personāla

aizsargājošos apģērbos, viena no iespējamām tekstiliju lietojuma formām ir plašs pārsienamo materiālu klāsts, t.sk. pārsēji, marles, elastīgās saites.

Antimikrobiālās iedarbības nodrošināšanai tekstilmateriālos izmanto dažādus metālus un metālu oksīdus (Ag, ZnO, Zn, TiO₂ u. c.). Visplašāk tekstiliju modificēšanai lieto Ag savienojumus. Šobrīd ir komercializēta virkne ar Ag modificētu tekstiliju un tās pieejamas tirgū, pārējo metālu un metālu oksīdu lietojums antimikrobiālajos tekstilmateriālos lielākoties ir izpētes procesā un tie ir maz vai vispār nav pārstāvēti tirgū.

No literatūras apskata var secināt, ka arī Cu var izmantot antimikrobiālo spēju integrēšanai tekstilijās, turklāt Cu ir būtisks mikroelements, kas iesaistīts daudzos cilvēka fizioloģiskos un metaboliskos procesos, ieskaitot brūču sadzīšanu, tāpēc daudzas bezrecepšu zāles brūču dziedēšanai satur Cu. Pamatojoties uz milzīgu antimikrobiālas iedarbības testu apjomu, kas veikti neatkarīgās mikrobioloģijas laboratorijās, 2008.gada martā Cu un Cu sakausējumi atzīti par materiāliem ar antimikrobiālām īpašībām, tādējādi tos atļaujot izmantot produktos, kas saistīti ar sabiedrības veselības problēmām. Varš ir plaša spektra antimikrobiāls aģents virknei patogēnu mikroorganismu; tā fungicīdās īpašības ir pierādītas daudzos kontrolētos laboratorijas pētījumos jau pagājušā gs. 50.gados un kopš tā laika varu un vara savienojumus efektīvi lieto raugu un sēnīšu kultūru augšanas apturēšanai un iznīcināšanai, vara bāzes fungicīdos preparātus izmanto lielos apjomos ik gadu visā pasaulē lauksaimniecībā.

Neskatoties uz to, ka Cu un Cu savienojumi pateicoties to vērtīgajām īpašībām jau ir atraduši lietojumus dažādās jomās un nozarēs, joprojām nepieciešamība pēc Cu un Cu savienojumu jaunu lietojumu izpētes un īstenošanas ir ļoti aktuāla. Viena no jomām ir to patogēnu augšanas nomākšana un nogalināšana, kas izraisa nozokomiālās jeb hospitālās infekcijas tādās medicīniskās iestādēs, kā slimnīcās, klīnikas un pansionāti veidojot mīkstās virsmas - palagus, pacientu ietērpus, pacientu pidžamas, medicīniskā personāla apģērbus no tekstilmateriāliem, kas apstrādāti ar varu; pateicoties tā spēcīgām pretvīrusu īpašībām arī filtrācijas ierīcēs, kas var dezaktivēt vīrusus inficētos šķīdumos (asins produkti, krūšu piens u. c.).

Vēl viena iespēja piešķirt tekstilijām antimikrobiālās spējas ir integrēt funkcionālajā pārklājuma Zn savienojumus; mūsdienās Zn savienojumus izmanto gan dekoratīvajā kosmētikā, gan ziedēs un citos medikamentos.

Virkne pēdējās desmitgadēs veikto pētījumu un savāktie statistikas dati liecina par strauju ļaundabīgo ādas veidojumu izplatības pieaugumu sākot ar 2009. gadu īpaši riska

grupās ar gaišu un plānu ādu. Kā vienu no iemesliem straujam saslimstības pieauguma tempam var uzskatīt UV intensitātes pieaugumu, kas sasniedz atmosfēras apakšējos slāņus ozona slāņa sarūkšanas rezultātā, kā arī ilgstoši valdošo uzskatu, ka UVA daļa nav ļaundabīgu ādas veidojumu cēlonis, līdz ar to gadu gaitā UV aizsardzības līdzekļos bloķēts tikai UVB, pakļaujot organismus nekontrolēti lielām UVA devām. Pētījumu rezultāti liecina, ka gan UVB, gan UVA var kalpot kā pilnvērtīgs kancerogēns, kā ierosinātais daudzpakāpju kancerogēnēzē un kā kancerogēneses veicinātājs, arī UV imūnsistēmas vājināšanas efekts veicina tā kancerogēno darbību. Tas nozīmē, ka aizsarglīdzekļiem jābloķē pilns UVA un UVB spektrs un tekstilijas ar UV aizsardzības spējam ir viens no problēmas risinājumiem.

Dabiskās šķiedras (celulozes un olbaltumvielu) saista mitrumu, tā kā tās satur ievērojamu daudzumu aktīvo (-OH) grupu. Rezultātā celulozes šķiedru tekstilmateriāli nodrošina labu zemapgērbu mikroklimatu, bet tai pat laikā piesaista mitrumu un netīrumus no ārvides. Turklāt papildus antimikrobiālai iedarbībai ūdens atgrūšanas spējas var būtiski samazināt inficēšanas risku. No literatūras apskata var secināt, ka mūsdienās hidrofobas tekstilmateriālu virsmas galvenokārt veido izmantojot divus paņēmienus: izveidojot raupju struktūru uz hidrofilām virsmām vai modificējot virsmas ar savienojumiem ar mazu virsmas enerģiju, tādiem kā fluoru vai silīciju saturoši savienojumi, bet vairākos pētījumos konstatēts, ka iegūtie efekti nav pietiekoši noturīgi ekspluatācijā.

Tekstiliju pārklāšanai mūsdienās izmanto plašu tehnoloģiju klāstu; katrai no tām ir gan savas priekšrocības, gan trūkumi. Darba ievaros teorētiski un eksperimentāli salīdzinātas dažādas tehnoloģijas dabīgo tekstiliju pārklāšanai. Tekstiliju pārklāšanai plaši izmanto dažāda sastāva pulverus vai nanodaļiņas kopā ar saistvielām uz akrila, poliuretāna, vinilacetāta vai akrilāta bāzes. Šo metožu lietošanu tekstilmateriālu pārklāšanai ierobežo tas, ka adhezīvs var pilnībā iekapsulēt pulvera daļiņas vai nanodaļiņas, traucējot kontaktu ar patogēniem mikroorganismiem, līdz ar to pasliktinās modificētā materiāla antimikrobiālās īpašības, kā arī daudzkārtīgas hidrotermiskās apstrādes izraisa daļiņu atraušanos no tekstilmateriāla virsmas un pārklājuma adhēzijas samazinājumu līdz ar saistvielas izmazgāšanos. Neskatoties uz to, mūsdienās šo metodi plaši lieto tekstilmateriālu pārklāšanai ar nanodaļiņām, visvairāk ar Ag, ZnO.

Cita pieeja tekstiliju pārklāšanai ir elektrolītiskā nogulsnešana, kas ļauj veidot nepārtrauktus un vienmērīgus pārklājumus no metāla daļiņu kompleksiem uz šķiedru, pavedienu, drāņu virsmas, neietekmējot to struktūru vai reljefu. Tomēr netīrumi, kas atrodas uz tekstilmateriāla virsmas, ietekmē apstrādes šķīdumu, samazinot pārklājuma elastību,

pasliktinot adhēziju, palielinot virsmas raupjumu. Rezultātā elektrolītiskās nogulsnešanas procesā uznesta metāla pārklājuma adhēzija ir vidēji stipra, metāla pārklājums gaisa ietekmē var nolobīties no pamatnes. Turklāt elektrolītiskā nogulsnešanas tehnoloģija ir daudzpakāpju process ar lielu ķīmikāliju patēriņu un rada piesārņotus notekūdeņus.

Arī magnetrona izputināšanas tehnoloģiju mēģina piemērot dabīgo tekstiliju pārklāšanai vadoties no tā, ka magnetrona izputināšanas tehnoloģijai tekstiliju virsmas modificēšanai piemīt tādas priekšrocības salīdzinājumā ar citām tekstiliju modificēšanai lietotām tehnoloģijām kā: uznešanai izmantojami daudzveidīgi mērķa materiāli (metāli, metālu sakausējumi, metālu oksīdi un polimēri), uznešana iespējama pie salīdzinoši zemām temperatūrām, uznestiem materiāliem ir laba adhēzija ar šķiedru virsmām, var kombinēt vairākus atšķirīgus mērķa materiālus.

Tekstilmateriālu metalizācijas process ar vakuuma termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiju saistīts ar grūtībām, ko izraisa tādas tekstilmateriālu veidiem un metāla pārklājuma veidošanās procesiem raksturīgas īpatnības, kā: vairums tekstiliju zemā termiskā izturība, uz tekstilšķiedru virsmas uzkrātie netīrumi, vaski, tauki un citi ražošanas produktu atlikumi, uz daudziem tekstilmateriāliem nav iespējams iegūt labu metāla adhēziju ar to virsmu bez iepriekšējās apstrādes; uznestā pārklājuma biezumu ierobežo metāla iekšējie spriegumi, kas rodas nogulsnējoties metālam uz aukstas tekstilijas virsmas. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas plusi ir ļoti ātrs process, mazs modificējošā materiāla patēriņš, process nerada notekūdeņus. Pie mīnusiem pieskaitāms salīdzinoši liels enerģijas patēriņš, tas, ka nav iespējams uznest materiālu pārklājumus ar augstu kušanas temperatūru, rodas problēmas uznesot sakausējumus, samērā vāja pārklājuma adhēzija ar pamatnes materiālu.

Lai uzlabotu dabīgo tekstiliju un metāla pārklājuma sasaisti, pirms tekstilijas pārklāšanas tekstilijas pakļauj dažāda veida apstrādēm, apstrāde zema spiediena plazmas vidē ir jauna tehnoloģija dabisko šķiedru tekstilmateriālu apstrādes tehnoloģiju saimē, jo nav jālieto videi kaitīgas ķīmikālijas, nav notekūdeņu un tekstilmateriālu mehānisko bojājumu riska, tādējādi tā ir videi draudzīga un ekoloģiska. Bez tam, apstrādes procesā plazma īpaši iedarbojas uz virsmu, piešķirot tai dažas īpašības, kuras nevar iegūt ar tradicionālām tehnoloģijām, piem., dabisko šķiedru tekstiliju pakļaušana priekšapstrādei plazmas vidē ļauj palielināt reaģējošās virsmas, apstrāde O₂ plazmā mainīt virsmas struktūru.

Mūsdienās plaši tiek veikti pētījumi, mēģinot piemērot sola-gēla tehnoloģiju tekstilmateriālu pārklāšanai liecina, ka galvenais ierobežojums ir tekstilmateriālu relatīvi zema termiskā stabilitāte, kas (lielākai daļai tekstilšķiedru zem 200 °C), ļauj procesā formēties

tikai neorganiskiem kserogēliem. Tekstilmateriālu termiskā pēcapstrāde ir atkarīga no sola sastāva un tā pagatavošanas procesa. Daudziem solu sastāviem termiskā pēcapstrāde pie 120 °C ir pietiekoša, lai nodrošinātu adhēziju starp pārklājumu un tekstilmateriālu. Tomēr sola-gēla tehnoloģiju ir iespējams zināmā mērā pielāgot tekstilmateriālu virsmas īpašībām un apvienot vairākas funkcijas vienā pārklājumā. Svarīgs nosacījums sola izmantošanai tekstilmateriālu pārklāšanai ir pārklājuma un pamatnes pietiekoša sasaiste, lai novērstu pārklājuma atslāņošanu no pamatnes hidrotermiskās apstrādes un lietošanas procesā. Kokvilnas tekstilmateriālu sola-gēla pārklājuma adhēziju var uzlabot ar (Si-OH) grupu ķīmisko kondensāciju, kas veido noturīgās saites ar kokvilnas (-OH) grupām.

Sola-gēla metodes tekstilmateriālu pārklāšanai var realizēt tradicionālās apdares līnijās vai ar vienkāršu nestandarta aprīkojumu iemērcot, izsmidzinot vai pat iespiežot sola šķīdumu tekstilmateriālu virsmā ar sekojošu žāvēšanu un/vai karsēšanu. Lietojot izsmidzināšanas metodi katru tekstilmateriālu virsmu var modificēt atsevišķi, piem., no vienas puses var iegūt hidrofobu, no otras puses hidrofilu virsmu, taču līdztekus priekšrocībām ar izsmidzināšanas metodi pārklājot ir grūti iegūt vienmērīgu lielu virsmu pārklājumu, kas samazina pārklājuma adhēziju. Tehnoloģija nodrošina kontroles iespējas visā procesā, ļaujot sintezēt konkrētam lietojumam piemērotus virsmas efektus.

Tomēr ir maz pētījumu, kas orientēti uz sola-gēla procesos iegūto pārklājumu adhēzijas novērtēšanu ar modificēto tekstiliju virsmu, vairums pētījumos pārklājumu noturība pret hidrotermisku apstrādi nav vērtēta vispār vai testēta tikai pēc dažiem cikliem, kas neatbilst standartiem un nerada pārliecību par integrētās īpašības noturību ekspluatācijas procesos. Bez tam, daudzos darbos minēta nepieciešamība uzlabot pārklājuma un tekstilmateriāla adhēziju, teicama pārklājuma adhēzija konstatēta tikai atsevišķos darbos.

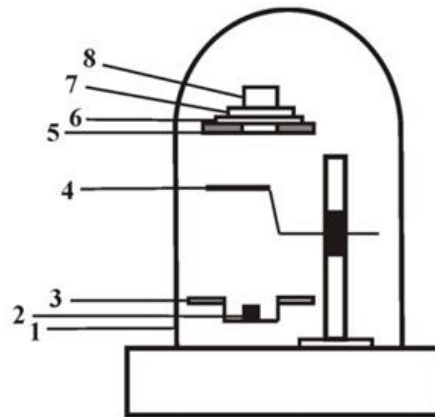
2. METODISKĀ DAĻA

2.1. Vakuuma pārklājuma uznešanas tehnoloģijas

Darba ietvaros dabisko tekstilmateriālu paraugi ir pārklāti ar varu izmantojot un salīdzinot divas vakuuma pārklājuma uznešanas tehnoloģijas: termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesu.

2.1.1. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija

Pētījumu veikti uz laboratorijas sērijveida vakuumiekārtas UVN-2U (2.1. att.).



2.1. att. Vakuumkameras aprīkojuma shēma [143]

1 – vakuumkamera, 2 – varš, 3 - molibdēna laiviņa, 4 – ekrāns, 5 – tekstilmateriāla parauga turētājs, 6 – tekstilmateriāla paraugs, 7 – parauga piespiedējs no sitāla (stikla keramika), 8 – atsvars

Sakarsējot vara stieplīti līdz kušanas temperatūrai (1083 °C) iegūta vara atomu plūsma parauga virzienā (2.1. tab.). Lai izvairītos no tekstilmateriāla destrukcijas infrasarkanā starojuma ietekmē, kas rodas no iztvaicētāja, paraugs aizsegts ar ekrānu (2.1. att., pozīcija Nr. 4), kas pēc vara izkušanas tiek atvērts uz vienu – divām sekundēm, lai vara atomi varētu nokļūt uz parauga virsmas. Maksimālie iegūto paraugu izmēri ir 5 x 6,3 cm. Eksperimentāli noskaidrots, ka izvēlētais tehnoloģiskais process ļauj vienu sekundi ilgstošā ekspozīcija iegūt ~ 60 nm biezu vara pārklājumu. Biezākas un vienmērīgākas vara kārtiņas iegūšanai paraugi pakļauti atkārtotai ekspozīcijai. Atšķirībā no laboratorijas tehnoloģijas rūpnieciskās iekārtās metalizē rulonveida materiālus, kas novērš to pārkaršanu materiālam pārvietojoties ar atbilstošu ātrumu virs iztvaicētāja.

2.1. tabula

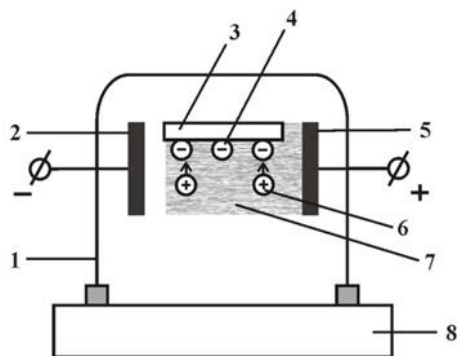
Nemainīgie pārklāšanas parametri

Spiediens kamerā, mm Hg	$10 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$
Vara kušanas temperatūra, °C	1083

2.1.2. Tekstilijas virsmas modifikācija/attīrīšana ar plazmas joniem

Pētījumā paraugi apstrādāti ar zema spiediena gaisa plazmu ar mērķi izpētīt iespēju uzlabot kokvilnas tekstilijas sasaisti ar metālu sekojošā termoiztvaicēšanas procesā, pirms tam modificējot virsmu.

Saskaroties tekstilparauga (dielektriķa) virsmai ar plazmu uz tās veidojas peldošais potenciāls, ko rada atšķirīgs elektronu un jonu kustīgums plazmā: elektroni ir daudz kustīgāki tāpēc sākumā uz plazmā iegremdētā parauga virsmas veidojas negatīvs potenciāls; tā lielums atkarīgs no mirdzizlādes strāvas stipruma (plazmas blīvuma); parasti potenciāls ir dažī desmiti volti. Lai to neitralizētu plazmas pozitīvie joni ar dažu desmitu elektronvoltu enerģiju bombardē parauga virsmu (2.2. att.). Šī enerģija ir pietiekoša, lai virsmu attīrītu no taukskābju, gaisa un ūdens molekulām.



2.2. att. Paraugu virsmas attīrīšanas procesa shēma [143]

1 – vakuumkamera, 2 – katods, 3 – paraugs, 4 – negatīvais virsmas potenciāls, 5 – anods, 6 – plazmas pozitīvie joni, 7 – plazma, 8 – vakuumkameras pamats

Mainīgie termiskās iztvaicēšanas procesa parametri – priekšapstrādes laiks plazmas vidē un ekspozīcijas laiki sakopoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Mainīgie pārklāšanas parametri

Modifikācija/attīrīšana ar plazmas joniem, min.	Vara uznešanas laiks, s
0.5	1 2 3
1	
1.5	
2	
3	
5	
7	
9	
10	
15	

2.1.3. Magnetrona izputināšanas tehnoloģija

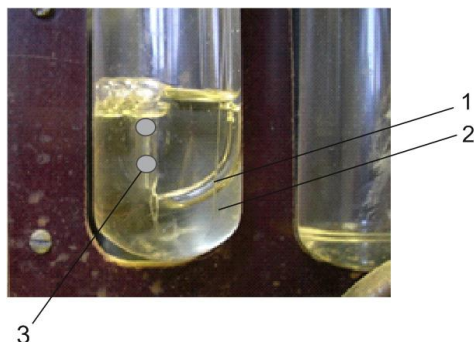
Pētījumu veikšanai izmantota RTU Elektronikas un telekomunikāciju fakultātes Mikroelektronikas laboratorijas sērijveida vakuumiekārta UVN-2, ar iebūvētu pašgatavotu magnetrona tipa izputināšanas sistēmu. Maksimālie iegūto paraugu izmēri ir 5.3 x 6.3 cm. Pamatnes biezums praktiski nav limitēts. Paraugi nostiprināti speciālos lodziņos rotējošā diskā un piespiesti, lai nodrošinātu paraugu nekustīgumu (kopā 7 paraugi) (2.3. att.).



2.3. att. Rotējošs disks (1), virs kura nostiprināti tekstilmateriāla paraugi (2, 3): (7gb)

Nemainīgi pārklāšanas parametri doti tabulā 2.3., pie kura

Lai nenotiktu tekstilparaugu destrukcija eksperimentāli noteikts diska optimāls rotācijas ātrums, kas eksperimentu gaitā netiek mainīts (2.3. tab.). Arī optimālā argona plūsma noteikta eksperimentāli un tike kontrolētā ar rotametr (2.4. att.).



2.4. att. Rotametr argona plūsmas kontrolei

1) stikla trauks ar augstvakuumu sūkņu eļļu, 2) stikla caurulīte argona padevei, 3) argona plūsma

2.3. tabula

Nemainīgie pārklāšanas parametri

Argona plūsma, cm^3/min	$\sim 2.1 - 2.5$ (visiem 7 paraugiem)
Augsts spriegums, V	vid ~ 725
Elektriskā strāva stiprums, A	vid ~ 4
Spiediens kamerā uzputināšanas laikā, mm Hg	$3 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3}$
Diska rotācijas ātrums, min.^{-1}	20

Pētījuma laikā tekstilparaugi netiek papildus sildīti. Atsūknēšanas sistēmu veido priekšvakuuma un augstvakuuma sūkņi nodrošinot $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-5}$ mm Hg vakuumu. Izputināšanas process notiek argona plazmas vidē. Pirms vara uznešanas pamatnes virsmas apstrādātas ar plazmas mirdzislādi (2.5. att.), ko ierosina augstsprieguma līdzstrāvas avots.



2.5. att. Paraugu apstrāde ar plazmas mirdzislādi

Pirms vara uznešanas notiek 10 sekundes ilgstoša priekšuzpūtīšanas mērķa virsmu virsmu attīrīšanai un izlādes telpas atbrīvošanai no aktīvām paliekošo gāzu, t.sk. skābekļa molekulām. Priekšizputināšanas procesa laikā disks ar tekstilijām negriežas. Mainīgi pārklāšanas parametri doti 2.4. tabulā

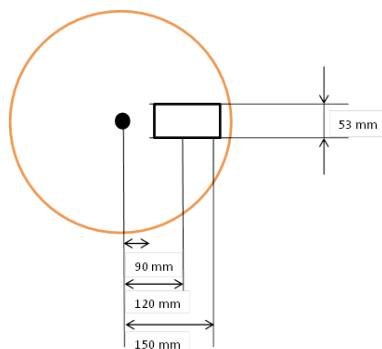
2.4. tabula

Mainīgie pārklāšanas parametri

Vara uznešanas laiks 7 paraugiem, s	Viena parauga ekspozīcijas laiks, s
20	1,5
40	3
60	4,5
80	6
100	7,5
120	9
140	10,5

A) *Vara uznešanas laika aprēķināšana vienam paraugam*

Magnetrona izputināšanas iekārtā uz rotācijas diska nostiprināti 7 paraugi (2.6. att.). Ņemot aprēķinu pamatā paraugu izgatavošanas parametrus, kas eksperimentāli noteikti par atbilstošiem kokvilnas tekstiliju pārklāšanai, aprēķināts ekspozīcijas laiks viena parauga pārklāšanai (vien. 2.1. -2.5.).



2.6. att. Magnetrona iekārtas rotācijas diska shēma

$$R \text{ v\u012bd} = 12 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$C = 2\pi R = 2 \times 3.14 \times 12 \times 10^{-2} = 6.28 \times 12 \times 10^{-2} = 75.36 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (2.1.)$$

$$n = 20 \frac{\text{apg\u0113r}}{\text{min}}; T = \frac{60}{20} = 3 \text{ s} \quad (2.2.)$$

$$V = \frac{2\pi R}{T} = \frac{0.7536}{3} = 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2.3.)$$

$$\text{Loga platums } 5.3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$S = vt : t = \frac{5.3}{2.5} \approx 0.21 \text{ s} \quad (2.4.)$$

T\u0101 k\u0101 vara uzne\u0161anas laikiem 20 s atbilst ≈ 7 apgriezieni, kop\u0113jais uzne\u0161anas laiks

$$t_{\text{uzn.}} = 0.21 \times 7 = 1.47 \approx 1.5 \text{ s.} \quad (2.5.)$$

2.2. Sola-g\u0113la metode

Visi tekstilmateri\u0101lu paraugi sola-g\u0113la tehnolo\u0113ijas apstr\u0101dei sagatavoti atbilsto\u0161i Austr\u0101lijas/Jaunz\u0113landes standartam AS/NZS 4399:1996 „Saules aizsarg\u0101jo\u0161u ap\u0113\u0113rbu nov\u0113rt\u0113\u0161ana un klasifik\u0101cija” un Eiropas standartam EN 13758-1:2001+A1:2006: E „Saules UV aizsardz\u012bbas \u012pa\u0161\u012bbas – 1.da\u0137a: metode ap\u0113\u0113rbu tekstilmateri\u0101lu test\u0113\u0161anai” [66, 144]. Paraugi izgriezti tekstilmateri\u0101la platuma virzien\u0101, ar 3 cm atstarp\u0113m starp paraugiem un 5 cm att\u0101lum\u0101 no malu e\u0113\u0113m [66, 144]. Sola pagatavo\u0161anai izmantotie rea\u0113enti ir sakopoti 2.5. tabul\u0101.

2.5. tabula

Sola pagatavo\u0161anai izmantotie rea\u0113enti

Nr.	Vielas nosaukums	Formula	Ra\u017etoj\u0101js	T\u012br\u012bbas, %
1	Tetraetilortosilik\u0101ts (TEOS)	$C_8H_{20}O_4Si$	Alfa Aesar, V\u0101cija	$\geq 98 \%$
2	Etanols	C_2H_5OH	ES (izplat\u012bt\u0101js SIA ”Enola”)	$\geq 99,98$
3	Fluor\u012bd\u0113ra\u017c\u0101 sk\u0101be	HF	ES (izplat\u012bt\u0101js SIA ”Enola”)	38-40%
4	Cinka sulf\u0101ts heptahidr\u0101ts	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Scharlau, Sp\u0101nija	anal\u012bt.t\u012brs
5	Cinka acet\u0101ts, dihidr\u0101ts	$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$	Scharlau, Sp\u0101nija	anal\u012bt.t\u012brs

2.2.1. Sola sint\u0113ze un tekstiliju modific\u0113\u0161anas tehnolo\u0113ija

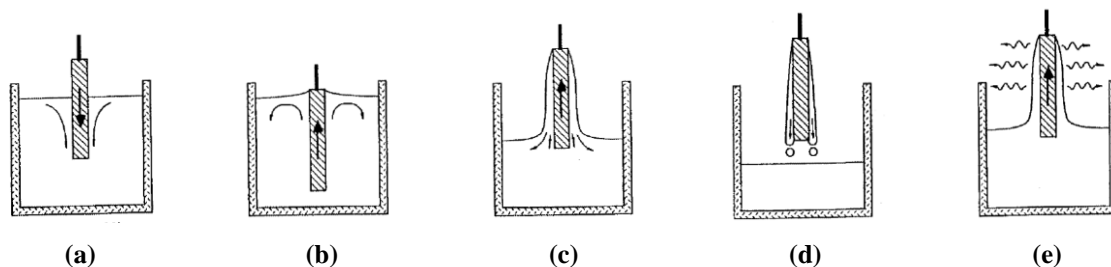
Solu sintez\u0113 izmantots silicija alkoks\u012bds tetraetilortosilik\u0101ts $C_8H_{20}O_4Si$. Alkoks\u012bdu hidrol\u012bz\u0113 un kondens\u0101cijai pievienots etilpirts un \u016bdens, k\u0101 ar\u012b katalizators HF. SiO_2 sola-g\u0113la sist\u0113m\u0101 k\u0101 modifikators integr\u0113ts cinka acet\u0101ta dihidr\u0101ts $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ vai cinka sulf\u0101ta heptahidr\u0101ts $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$.

Soli sintezēti pēc divām metodēm:

1. TEOS pievieno etanolu, šķīdumu maisot pievieno destilētu ūdeni ar fluorūdeņražskābi, intensīvi maisot 30 minūtes, lai iegūtu viendabīgu šķīdumu, pēc tam pievieno cinka acetāta dihidrātu (CAD) vai cinka sulfāta heptahidrātu (CSH), intensīvi maisot 10 minūtes.
2. Sola izgatavošanas procesā TEOS pievieno etanolu, šķīdumu maisot pievieno destilētu ūdeni ar fluorūdeņražskābi, intensīvi maisot un sildot 30 minūtes pie temperatūras 50 °C temperatūrā, lai iegūtu viendabīgu šķīdumu, tālāk pievienots CAD vai CSH, intensīvi maisot un sildot 10 minūtes pie temperatūras 50 °C.

Lai atrastu optimālas komponentu attiecības sola sastāvā tekstilparaugi modificēti ar 2.5, 5, 7.5 un 10 mas.% CAD solu un 2.5, 5, 7.5 un 10 mas.% CSH solu ar 0.2 M un 0.1 M TEOS.

Kokvilnas paraugus mērcē sintezētajos solu šķīdumos 5 posmos: iemērkšana (2.7. att., a), sākums (2.7. att., b), nogulsnešanās (2.7. att., c), drenāža (2.7. att., d) un iztvaicēšana (2.7. att., e) [126]. Ar gaistošiem šķīdinātajiem (alkohols) iztvaicēšana notiek „sākuma”, „nogulsnešanas” un „drenāžas” posmā.



2.7. att. Paraugu apstrādes process ar solu [126]

Pēc apstrādāto paraugu žāvēšanas termoskapī, tos pakļauj karsēšanai (termiskai pēcapstrādei); pakļaujot paraugus ilgstošākai zemākas temperatūras iedarbībai žāvēšanu un termisko pēcapstrādi var apvienot. Paraugu termiskai pēcapstrādei divi laboratorijas termoskapji novietoti blakus, vienā no tiem iestādīta žāvēšanas temperatūra, otrā - karsēšanas temperatūra, lai nodrošinātu termiskās pēcapstrādes temperatūras stabilitāti, kas ir sevišķi svarīgi pakļaujot paraugu relatīvi ātrām termiskām pēcapstrādēm.

Lai noteiktu termiskās pēcapstrādes parametrus, pie kuriem nenotiek paraugu krāsas izmaiņas vai tekstilmateriāla destrukcija, neapstrādātie un ar dažādiem sola sastāviem apstrādāti tekstilmateriāla paraugi pakļauti dažādiem žāvēšanas un karsēšanas jeb termiskās

pēcapstrādes režīmiem. Tekstilmateriālu paraugu žāvēšanas režīmi ir apkopoti tabulā 2.6., bet karsēšanas jeb termiskās pēcapstrādes režīmi ir apkopoti tabulā 2.7.

2.6. tabula

Žāvēšanas režīmi

Žāvēšanas laiks, min.	Žāvēšanas temperatūra, °C				
	50	60	70	80	90
10	×	×	×	×	×
15	×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	×

2.7. tabula

Termiskās pēcapstrādes režīmi

Karsēšanas laiks, min.	Karsēšanas temperatūra, °C							
	90	100	120	140	160	180	200	220
2	-	×	×	×	×	×	×	×
5	-	×	×	×	×	×	-	-
10	-	×	×	×	×	-	-	-
15	-	×	×	-	-	-	-	-
30	×	-	-	-	-	-	-	-
60	×	-	-	-	-	-	-	-

- - nav testēti

× - ir testēti

2.3. Skenējošā elektronu mikroskopija

Paraugu virsmas mikrostrukturās pētījumi veikti ar skenējošo elektronstaru mikroskopu (SEM), kas ļauj iegūt informāciju par cietas vielas virsmas ģeometriju un fizikālo neviendabību.

Mikrofotogrāfijas uzņemtas RTU Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūtā ar SEM Mira Tescan HF ar 3, 7 un 15 kV un Dabisko šķiedru un ārstniecisko augu institūta Tekstilmateriālu laboratorijā (Polija) ar SEM Hitachi S-3400 ar 20 kV (2.8. tab.) izsekojot sola sastāva ietekmi uz pārklājuma morfoloģiskajām īpašībām pēc uzklāšanas un ekspluatācijā paredzamo iedarbību rezultātā. Ja nepieciešams, paraugi pārklāti ar zelta slānīti.

2.8. tabula

Darba gaitā izmantotie SEM un to galvenie parametri

	Ražotājs	Izcelsmes valsts	Modelis	Maksimālā izšķirtspēja, nm	Maksimālā jauda, kV	Maksimālais palielinājums, reizes
1	TESCAN	Čehija	MIRA	1.0	30	$1 \cdot 10^6$
2	Hitachi	Japāna	S-3400N	3.0	30	$3 \cdot 10^5$

2.3.1. Enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas analīze

Enerģijas dispersīvā rentgenstaru spektroskopija (EDS) modificēto virsmu ķīmiskā sastāva analīzei veikta RTU Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūtā ar SEM Mira Tescan HF ar Oxford Inca X-sight EDX detektoru. Apkopojot piloteksperimentu rezultātus, noteiktas optimālas parametru vērtības (2.9. tab.), kas netiek mainītas, lai varētu salīdzināt iegūtos rezultātus. No katras paraugu grupas testēti 4 paraugi.

2.9. tabula

EDS analīzes parametri

Palielinājums	750X
Paātrinātais spriegums	15 kV

2.4. Furjē transformāciju infrasarkanā spektroskopija

Pētāmo paraugu infrasarkanie spektri KBr tabletes istabas temperatūrā uzņemti ar spektrometru „Spektrum One FTIR”. KBr tablešu pagatavošanai ņemti ~1,5 mg parauga un 200 mg KBr. Vielas saberzta piestā līdz viendabīgai masai, iegūtais pulveris tiek ievietots starp laktām, vakumēts un presēts (~ 3 min., 10 t/cm²). Iegūtai tabletei uzņemts infrasarkanais spektrs diapazonā no 4000 līdz 400 cm⁻¹. Iegūto spektru matemātisko apstrādi - vidējā spektra aprēķināšanu, automātisko bāzes līnijas korekciju, normalizāciju - veic ar programmu Spectrum v5.0.1 (Perkin Elmer).

2.5. Rentgenstaru difrakcijas metode (XRD)

XRD veikta ar X-ray difraktometru Rigaku. XRD analīze sniedz informāciju par kristāliska materiāla struktūru un tā fāžu sastāvu, kā arī nodrošina iespēju noteikt kristāliskā režģa tipu, starpplakņu attālumu un elementāršūnas izmērus.

Datu apstrāde veikta, automātiski meklējot un atpazīstot rentgendifraktometrisko maksimumu profilus, kā arī nosakot fona profilus, kurus pēc tam atskaita.

2.6. Atomspēku mikroskopija

Paraugu virsmas topogrāfijas analīze veikta ar atomspēka mikroskopu (ASM) SOLVER-PRO izmantojot punktēšanas režīmu un svārstošās sviras frekvenci 80 kHz, rezultātu apstrādei - programmatūru Veeco Image processing 2.1. Virsmas topogrāfija noteikta laukumā 500 x 500 nm.

2.7. Hidrotermiskā apstrāde (mazgāšana-žāvēšana)

Neapstrādātas un modificētas tekstilijas pakļautas hidrotermiskai apstrādei saskaņā ar EN ISO 105C10-A01:2006. Tekstilijas – Tests krāsas noturībai – 1.daļa - Galvenie testēšanas principi: paraugi mazgāti pie 40 °C 30 minūtes ar 5 mg/l standarta noteikto mazgāšanas līdzekli bez fosfāta un optiskiem balinātājiem [145]. Pēc katras mazgāšanas reizes paraugi skaloti 2 reizes un pēc tam žāvēti normālos klimatiskos apstākļos (20 ± 2 °C T, relatīvai mitrums 65 ± 2 %). Eksperimentu gaitā paraugi testēti pēc 1, 3, 5, 10, 20 un 50 hidrotermiskas apstrādes cikliem.

2.8. Tekstilijas modificējošo pārklājumu adhēzijas un nodilumizturības novērtēšana

Paraugu nodilumizturība bērzē veikta ar Martindale Atlass MTT BV-LOCHEM NL (Nīderlandes) un Martindale SDL Atlas M235 abrazīvtesteri saskaņā ar EN ISO 12947-2:2000/AC [146]. Mērījumi veikti Dabisko šķiedru un ārstniecisko augu institūta Tekstilmateriālu laboratorijā (Polija) un RTU Tekstilmateriālu tehnoloģiju un dizaina institūta laboratorijā.

Nodilumizturības pārbaudē ar Martindale abrazīvtesteri paraugi ir pakļauti neorientētai berzei. Abrazīvs piespiests pie pētāmā materiāla ar konstantu, mazu spiedienu. Pētāmais paraugs berzēts ar standarta abrazīvaudumu. Paraugi nostiprināti paraugu turētājā kopā ar poraino polsterējuma materiālu. Abrazīvs pie pētāmā parauga piespiests ar slodzi 595 ± 7 g, kas atbilst apģērba un mājas tekstilijām, nominālais spiediens 9 kPa. No katras paraugu grupas testēti 4 paraugi, abrazīvais audums no vilnas filca mainīts pēc katra testa. Pirms testēšanas paraugi izturēti 18 h brīvā stāvoklī normālos klimatiskos apstākļos, testēšana norit normālos klimatiskos apstākļos.

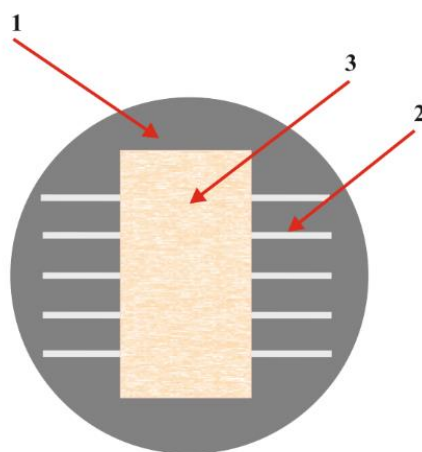
2.9. Antimikrobiālo īpašību analīze

2.9.1. Patogēnie mikroorganismi

Paraugu antimikrobiālo īpašību testi veikti LLU Biotehnoloģijas un veterinārmedicīnas zinātniskā institūta „SIGRA” Bioķīmijas un mikrobioloģijas laboratorijā atbilstoši standartam AATCC 147-2004, izmantojot *Paralēlo svītru metodi* [147], kas ir kvalitatīva metode tekstilmateriālu antimikrobiālo īpašību noteikšanai [147]. Metodes efektivitāte pierādīta vairāku gadu garumā, antimikrobiālas aktivitātes noteikšanai gan pret gramnegatīviem, gan arī pret grampozitīviem mikroorganismiem [147]. Modificētie tekstiliju paraugi salīdzināti ar neapstrādātiem ņemot vērā, ka antimikrobiāla iedarbība ir pieņemama,

ja netiek novērota mikroorganismu koloniju augšana uz paraugu virsmas kontaktvietā ar mikroorganismiem uz agara [147].

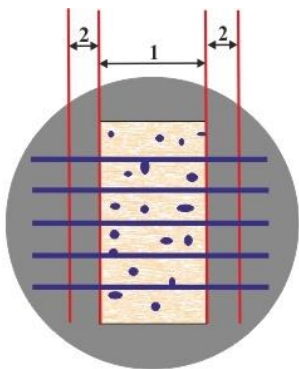
Barotnes antimikrobiālam testam sagatavotas atbilstoši LLU Biotehnoloģijas un veterinārmedicīnas zinātniskā institūta „SIGRA” barotņu pagatavošanas instrukcijai Nr. 14-04 un AATCC 147-2004 [147]. 1 l (1 litra) barojošā agara (Biolife, 4018102, Itālija) sastāvs: gaļas ekstrakts 3 g, peptons 5 g un agars 15 g. pH = 7,00 ± 0,2 pie 25 °C. Izgatavošanas secība: 23 g sausās barotnes ieber 1 l auksta destilēta ūdens, maisot karsē līdz uzvārās un pilnīgi izšķīst, pēc tam autoklāvē 121 °C temperatūrā 15 minūtes. Atdzesē līdz 45 - 50 °C un izlej pa 15 ml sterilās Petri platēs. Pēc agara slāņa sacietēšanas, uz tā virsmas ar 4 mm cilpu zīmē 5 paralēlas mikroorganismu kultūru svītras ar 10 mm atstarpi (2.8. att.). Virs svītrām perpendikulāri liek testējamo paraugu to viegli piespiežot, lai nodrošinātu parauga ciešu kontaktu ar agara virsmu un mikroorganismu kultūru svītrām (2.8. att.).



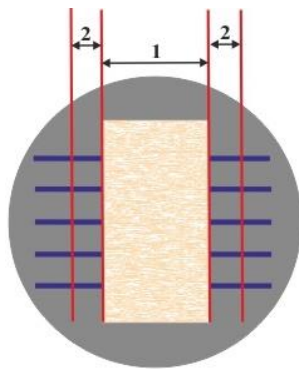
2.8. att. Paralēlo svītru metodes shēma

1 – Petri plate ar Barojošo agaru, 2 – mikroorganismu svītras, 3 – tekstilmateriāla paraugs

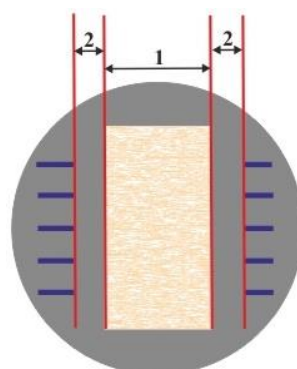
Antimikrobiālās iedarbības novērtējumu veic pēc paraugu inkubācijas 37 °C temperatūrā 24 h, apgriežot Petri plates, lai redzētu parauga kontaktā esošo virsmu ar barojošo agaru un mikroorganismu kultūru svītrām. Ja apkārt paraugam ir redzama inhibīcijas (tīra) zona (2.11. att.), tam piemīt ļoti laba antimikrobiāla iedarbība. Atbilstoši standartam ATCC 147:2004 arī paraugiem, kam nav inhibīcijas zonas, bet nav arī novērota mikroorganismu augšana zem parauga, piemīt antimikrobiāla iedarbība (2.10. att.). Ja turpretim zem parauga novērota mikroorganismu augšana (2.9. att.), tam nepiemīt antimikrobiāla iedarbība [147].



2.9. att. Paraugs apaudzis ar testa mikroorganismiem (1), nav inhibīcijas zonas(2)



2.10. att. Mikroorganismi zem parauga nav konstatēti (1), nav inhibīcijas zonas (2)



2.11. att. Nav novērota mikroorganismu augšana uz parauga virsmas (1); redzama inhibīcijas zona (2)

Vidējo inhibīcijas zonas platumu aprēķina pēc formulas (2.1.) [147]:

$$W = \frac{T-D}{2}, \quad (2.1.)$$

kur W - tīrās inhibīcijas zonas platums, mm;

T - parauga un tīrās inhibīcijas zonas kopējais platums, mm;

D - parauga platums, mm.

Eksperimentā apstrādāto tekstilparaugu antimikrobiālā aktivitāte noteikta pret šādiem sertificētiem patogēniem mikroorganismiem: grampozitīvu baktēriju *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, gramnegatīvu baktēriju *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145, gramnegatīvu baktēriju *Escherichia coli* ATCC 25922, mikroskopisko sēnīti *Candida albicans* ATCC 60193. Testa kultūru koncentrācijas varianti:

- kultūru maksimālā koncentrācija (kultūru buljons) *S. aureus* ATCC 25923 $4.3 \cdot 10^8$ kolonijas veidojošās vienības (KVV) ml^{-1} , *P. aeruginosa* ATCC 10145 $3.9 \cdot 10^8$ KVV ml^{-1} , *E. coli* ATCC 25922 $7.1 \cdot 10^8$ KVV ml^{-1} , *C. albicans* ATCC 60193 $8.2 \cdot 10^6$ KVV ml^{-1} ;
- ar sāls peptona šķīdumu atšķaidītas testa kultūras 10 reizes samazinātā koncentrācijā *S. aureus* ATCC 25923 $4.3 \cdot 10^7$ KVV ml^{-1} , *P. aeruginosa* ATCC 10145 $3.9 \cdot 10^7$ KVV ml^{-1} , *E. coli* ATCC 25922 $7.1 \cdot 10^7$ KVV ml^{-1} , *C. albicans* ATCC 60193 $8.2 \cdot 10^5$ KVV ml^{-1} .

A) Antimikrobiālo spēju pārbaude pret *S. aureus* ATCC 25923 pēc paraugu hidrotermiskās apstrādes un berzes

Antimikrobiālo īpašību testi veikti LLU Biotehnoloģijas un veterinārmedicīnas zinātniskā institūta „SIGRA” Bioķīmijas un mikrobioloģijas laboratorijā. Sagatavošanas procesā Petri platēs izlej 15 ml līdz 45 – 50 °C atdzesētu Barojošo agaru. Pēc agara slāņa

sacietēšanas, uz tā virsmas uzpilda vienādu *S. aureus* ATCC 25923 kultūras suspensiju (100 mL) un ar špāteli vienmērīgi pārklāj visu agara virsmu. Uz inokulētās agara virsmas liek testējamo paraugu to viegli piespiežot, lai nodrošinātu parauga ciešu kontaktu ar agara virsmu un mikroorganismu kultūru *S. aureus* ATCC 25923 (koncentrācija $4.3 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹).

Vidējo inhibīcijas zonas platumu aprēķina pēc formulas (2.3.):

$$H = \frac{D-d}{2}, \quad (2.3.)$$

kur H - tīrās inhibīcijas zonas diametrs, mm;

D - parauga un tīrās inhibīcijas zonas kopējais diametrs, mm;

d - parauga diametrs, mm.

B) Mikroorganismu koloniju veidojošo vienību skaita noteikšana

Veikta saskaņā ar LVS EN ISO 4833:2003, modificējot to atbilstoši *Paralēlo svītru metodei* un ievērojot vienādu inkubācijas temperatūru un laiku. No 24 h audzētām buljona kultūrām (*S. aureus* ATCC 25923, *P. aeruginosa* ATCC 10145, *E. coli* ATCC 25922 un *C. albicans* ATCC 60193) 1 ml atšķaida ar 9 ml sāls peptona šķīduma, iegūstot 10-kārtīgu atšķaidījumu. Veic secīgas atšķaidīšanas līdz 10^{-8} .

Sterilās Petri platēs ar steriliem pipešu uzgaļiem ienes 1 ml no katras kultūras atšķaidījuma (atšķaida ar sāls peptona šķīdumu), sākot ar 10^{-4} līdz 10^{-8} . Katrā uzsētā Petri platē uzlej 12 ml līdz 15 ml agara barotnes (44 - 47 °C temp.). Uzmanīgi samaisa uzsēto materiālu ar barotni, slidinot Petri plati pa galda virsmu ar apļveida kustībām. Atstāj plati uz aukstas, horizontālas virsmas, lai barotne sacietē. Sagatavotās atdzisušās plates apgrieztā stāvoklī novieto termostātā (37 ± 1) °C uz 24 ± 2 h. Pēc noteiktā inkubācijas perioda saskaita kolonijas uz katras plates, lietojot skaitīšanas ierīci.

Izvēlās plates, uz kurām ir izaugušas vismaz 10 un ne vairāk kā 300 kolonijas. Izrēķina mikroorganismu koloniju veidojošo vienību (KVV) skaitu N 1 ml sākotnējās suspensijas, lietojot formulu (2.2.):

$$N = \frac{\sum C}{1.1 \times V \times d}, \quad (2.2.)$$

kur $\sum C$ – saskaitīto koloniju summa uz divām secīgu atšķaidījumu platēm;

V – inokulētās vielas tilpums ml;

d – atšķaidījuma faktors (atšķaidījums, no kura iegūts pirmais skaitāmais koloniju skaits).

Mikroorganismu koloniju veidojošo vienību (KVV) skaitu 1 ml suspensijas izsaka kā skaitli 1,0 un 9,9 pareizinātu ar skaitli 10 atbilstošā pakāpē.

2.9.2. Celulozes tekstiliju destrukciju izraisošo mikroorganismu adhēzijas novērtēšana

Testi veikti LU Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūtā izmantojot trīs veidu mikroorganismus: baktēriju *Pseudomonas fluorescens AM11*, raugu *Saccharomyces cerevisiae 14* un mikroskopisko sēnīti *Trichoderma viride* no institūta kolekcijas, ņemot par pamatu *Paralēlo svītru metodi* [147]. Baktēriju *P. fluorescens AM11* kultivēšanai izmantoja TGA (Tryptone Glucose Yeast Extract Agar, SIFIN, Vācija), mikroskopisko sēņu *T. viride* un rauga *S. cerevisiae 14* kultivēšanai, attiecīgi, - Saburo (Sabouraud Glucose Medium with Chloramphenicol, SIFIN, Vācija). Sagatavošanas procesā Petri plates aizpilda ar atbilstošu barojošo agaru, kas atdzēsēts līdz 40 °C un, kad tas sacietējis līdz gēlam, uz agara virsmas ar 4 mm cilpu zīmē 3 paralēlās mikroorganismu kultūru svītras ar 10 mm atstarpi.

Testu vajadzībām mikroorganismu kultūras iegūtas ar šādam koncentrācijām: *P.fluorescens AM11* $1.7 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹, *S.cerevisiae 14* $2.8 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹ un *T.viride* $3.1 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹, atšķaidot mikroorganismu kultūras, kas pirms eksperimenta diennakti kultivētas 750 mL kolbās ar 200 mL šķidro barotni uz kratītāja (140 rpm) pie temperatūras 30 °C. Virs mikroorganismu kultūru svītrām perpendikulāri novieto testējamo paraugu to viegli piespiežot.

Paraugu antimikrobiālās īpašības novērtētas pēc 24 h un 96 h paraugu inkubācijas 28 °C temperatūrā. Inhibīcijas zona kalpo kā antimikrobiālās iedarbības kritērijs. Vidējo inhibīcijas zonas platumu aprēķina izmantojot formulu (2.1.) no 2.7.1. apakšnodaļas [147]:

2.9.3. Mikroorganismu adhēzijas novērtēšana

Pētījuma mērķis – izpētīt dažāda sastāva tekstilmateriālu paraugu spēju piesaistīt mikroorganismus, lai izvērtētu šo tekstilmateriālu mikrobiālās kontaminācijas risku, kā arī pētījumā izmantoto mikroorganismu adhēzijas pakāpi.

Lai noteiktu mikroorganismu adhēzijas spēju uz modificēto tekstiliju virsmas RSU Bioloģijas un mikrobioloģijas katedrā veikti mikrobioloģiskie pētījumi.

In vitro testā paraugu mikroorganismu adhēzijas novērtēšanai izmantoti divi mikroorganismu veidi: gramnegatīvā baktērija *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853* un grampozitīvā bakterija *Staphylococcus epidermidis ATCC 12228*. Paraugi kontaminēti ar 10^2 kolonijas veidojošām vienībām mililitrā (KVV ml⁻¹). Baktēriju adhēzijas intensitāte noteikta uz paraugiem pēc 2 h kultivēšanas.

Pētījumā izmantoti:

- gramnegatīvā baktērija *P.aeruginosa* ATCC 27853, grampozitīvā baktērija *S.epidermidis* ATCC 12228 tīrkultūras,
- no katras grupas 4 paraugi, sadalīti 10 x 10 mm izmēra gabalos (10 gb),
- triptikāzes sojas buljons (TSB), agars (TSA) un fizioloģiskais šķīdums,
- ultraskaņas vanna (sonikators),
- centrifūga Vortex.

No baktēriju tīrkultūrām izgatavotas baktēriju suspensijas 1 ml TSB tilpumā ar koncentrāciju 10^2 KVV ml⁻¹. Adhēzijas intensitātes noteikšanai paraugi (1cm²) kultivēti 37 °C temperatūrā 2 h. Adhēzijas izvērtēšanai izmantota sonikācijas un uzsējumu metode koloniju skaita noteikšanai. Pēc inkubēšanas noskaloti nepiesaistītie mikroorganismi. Lai atdalītu pie tekstilmateriāla virsmas piesaistījušās baktērijas, paraugi 1 min apstrādāti ultraskaņas vannā (pie 45 kHz frekvences) un 1 min. pie maksimāliem apgriezieniem Vortex centrifūgā. No katra parauga izgatavoti 2 uzsējumi uz TSA barotnes (Oxoid, Anglija) un kultivēti 24 stundas 37 °C temperatūrā, lai noteiktu kopējo mikroorganismu daudzumu – KVV/cm².

2.10. UV aizsardzības noteikšana

UPF noteikšanai pieejamas divas *in vitro* tehnoloģijas: radiometrija un spektrofotometriskā [20] Spektrofotometriskajā tehnoloģijā caurejošo un izkliedēto starojumu savāc ar integrēto lodi (sfēru), kas novietota aiz tekstilmateriāla [20]. Daudzi pētnieki savos eksperimentos pierādījuši, ka tā ir precīza un reproducējama mērīšanas tehnika [20]. AS/NZS un Eiropas standartos [66, 144] tekstilmateriālu UPF mērījumiem un apzīmējumiem ieteikta spektrofotometriskā tehnoloģija [20] ar mērījumu soli 5 nm [20].

Modificēto paraugu UV starojuma aizsardzība noteikta atbilstoši Austrālijas/Jaunzēlandes standartam AS/NZS 4399:1996 „Saules aizsargājošu apģērbu, novērtēšana un klasifikācija” [66] un Eiropas standartam EN 13758-1:2001+A1:2006: E „Saules UV aizsardzības īpašības – 1.daļa: metode apģērbu tekstilmateriālu testēšanai” [144].

Darba ietvaros UV starojuma aizsardzība mērīta ar tekstilmateriāliem paredzētu standartizētu un sertificētu iekārtu Varian Cary 50 Solascreen (Austrālija) Dabisko šķiedru un ārstniecisko augu institūtā Tekstilmateriālu laboratorijā (Polija), izmantota iekārta veic UPF aprēķinus pēc 2.5. formulas, izskaitļojot UPF gala vērtību ņemot vērā vidējo kvadrātisko kļūdu pēc kuras noteikta UPF kategorija [66, 144].

$$UPF = \frac{E_{eff}}{E'} = \frac{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta_{\lambda}}{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times T_{\lambda} \times \Delta_{\lambda}}, \quad (2.5.)$$

kur E_{λ} - relatīva spektru ādas apsārtumu (eritēmas) izraisošā efektivitāte (dati no Starptautiskās starojumu komisijās (CIE International Commission on Illumination) [65]

S_{λ} - saules spektrālais starojums $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ (dati no tabulas AS/NZS 4399:1996);

T_{λ} - parauga caurlaidība spektra frekvenču joslā,

Δ_{λ} - viļņa garuma solis, nm,

λ - viļņa garums, nm.

Visi paraugi ir sagatavoti atbilstoši standartam EN 13758-1:2001+A1:2006: E „Saules UV aizsardzības īpašības – 1.daļa: metode apģērbu tekstilmateriālu testēšanai” [144]; no katras paraugu grupas mērījumiem pakļauti 4 paraugi. Katrs paraugs mērīts vienu reizi un katrs mērījums sastāv no: mērījumiem divos dažādos punktos, kopā katram paraugam ir 6 mērījumi, no kuriem ir 2 audu un 2 šķēru virzienā, kas atbilst standartu nosacījumiem [66, 148]. Pirms mērījumu veikšanas paraugi uzturēti 24 h normālos klimatiskos apstākļos eksikatorā [148]. Paraugu mērīšanas laiks pēc izņemšanas no eksikatora ir < 10 minūtes, lai nodrošinātu datu ticamību un iespēju salīdzināt ar pārējiem paraugiem [148].

2.11. Gaisa caurlaidības novērtēšana

Paraugu gaisa caurlaidības mērījumi veikti ar sertificētu iekārtu Air Permeability Tester III FX 3300 (TEXTTEST Instruments, Vācija) Dabisko šķiedru un ārstniecisko augu institūta laboratorijā, atbilstoši Eiropas standartam EN ISO 9237:1998 „Tekstilmateriālu gaisa caurlaidības noteikšana”, mērījumi veikti normālos klimatiskos apstākļos [148, 149]. Uz iekārtas iespējams regulēt gaisa spiediena starpību tekstilmateriāla pusēs: testējot apģērbu tekstilijas gaisa spiediena starpību izvēlas 100 Pa, bet testējot tehniskās tekstilijas – 200 Pa. Eksperimentos mērījumi veikti ar abām spiedienu starpībām. Katrai paraugu grupai atbilstoši standartam iegūti 10 mērījumi pirms pārklāšanas, pēc pārklāšanas un pēc eksperimenta planā paredzētajiem hidrotermiskās apstrādes cikliem [149] mērot no kreisās un labās puses. Pirms mērījumu veikšanas paraugi uzturēti 24 h normālos klimatiskos apstākļos eksikatorā.

2.12. Šķidrumsorbcijas noteikšana

Paraugu šķidrumsorbcijas ātruma mērījumi veikti saskaņā ar Polijas standartu PN-91 P-04746 „Tekstilmateriālu šķidrumsorbcijas rādītāju noteikšana” ar piliena testu [150] Dabisko šķiedru un ārstniecisko augu institūta Tekstilmateriālu laboratorijā.

Paraugus nostiep, nostiprinot paraugu speciālā riņķī. Uz Bunzena statīva piestiprināta birete, aizpildīta ar destilēto ūdeni un novietota 1 cm attālumā no paraugu virsmas. Uz

tekstilmateriāla virsmu uzpilda ūdens pilienu (~ 20 μl) un ar hronometru uzņem laiku līdz tas pilnībā uzsūcies. Katram paraugam uzsūkšanās laiku mēra 5 dažādās vietās, no katras paraugu grupas ņemti 3 paraugi. Pirms mērījumiem paraugi uzturēti 24 h normālos klimatiskos apstākļos eksikatorā. Mērījumi veikti normālos klimatiskos apstākļos. Ja paraugu sorbcija nenotiek 30 minūšu laikā, eksperiments tiek apturēts un rezultātos ierakstīts, ka paraugu šķidrums sorbcija ir > 30 minūtēm.

2.13. Paraugu higroskopiskuma noteikšana

Paraugu higroskopiskuma mērījumi veikti saskaņā ar Polijas standartu PN-80 P-04635 „Tekstilmateriālu higroskopiskuma noteikšana” [151] Dabisko šķiedru un ārstniecisko augu institūta Tekstilmateriālu laboratorijā.

Pirms mērījumiem paraugi uzturēti 24 h normālos klimatiskos apstākļos eksikatorā. Pirms testa glāzītes nosver, ievieto tajās paraugus un atvērtas novieto eksikatorā uz 4 h; pēc tam glāzītes ar paraugiem nosver un ievieto termoskapī žāvējot 3 h 107 ±2°C temperatūrā līdz pastāvīgai masai. Pēc termiskās apstrādes un atdzesēšanas eksikatorā ar atūdeņotu kalcija hlorīdu glāzītes ar paraugiem atkal nosver. Higroskopiskumu (H) procentos aprēķina, izmantojot formulu no PN-80 P-04635 standarta [151]:

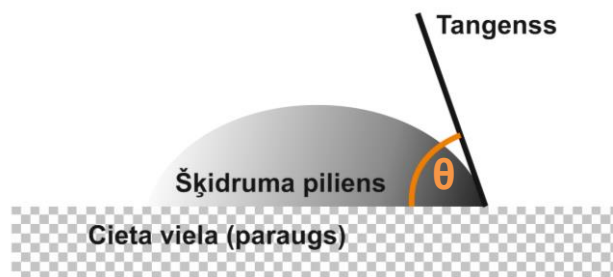
$$H_i = \frac{m_m - m_s}{m_s} \cdot 100, \quad (2.6)$$

kur m_m – materiāla parauga masa pirms žāvēšanas kopā ar glāzīti, g;
 m_s – absolūti sausa parauga masa kopā ar glāzīti, g.

2.14. Slapēšanas līdzsvara leņķa novērtēšana

Paraugu slapēšanas līdzsvara leņķis noteikts RTU Polimērmateriālu institūtā ar optisko tensiometru Theta Attension (Somija) izmantojot piliena metodi ar precizitāti ± 0.1°.

Slapēšanas līdzsvara leņķis θ veidojas ar šķidrumu uz trīsfāzu robežas, kur sastopas šķidrums, gāze un cieta viela (2.12. att.).



2.12. att. Slapēšanas līdzsvara leņķis

Paraugu novieto uz speciālas platformas, uz tā uzpilina destilēta ūdens pilienu (~5 μ l) un uzstāda bāzes līniju. Iekārta automātiski veic visus mērījumus, kā arī fotografē un filmē visas izmaiņas, kas notiek ar pilienu uz parauga virsmas. Katram paraugu veidam veikti 3 mērījumi.

2.15. Bāzes tekstiliju sastāvs un struktūru raksturojošie parametri

Darbā izmantoti dažādu auduma pinumu tekstilijas, galvenokārt 100 % kokvilna (varianti 1-5; 9-11), salīdzinājumam linu, poliesteru, neilona (poliamīda) tekstilijas (3.1. tab.).

2.10. tabula

Eksperimentālo tekstiliju struktūru raksturojošie parametri

Materiāla Nr.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Sastāvs, 100 %	kokvilna	kokvilna	kokvilna	kokvilna, jēlaudums	kokvilna	lini	poliamīds (neilons)	poliesters	kokvilna	kokvilna	kokvilna
Biezums, mm	0,23	0,23	0,40	0,33	0,27	0,34	0,10	0,21	0,24	0,25	0,23
Virsmas blīvums (M_2), g/m ²	53,5	64,1	187	151,5	40,4	140,4	18,6	76	71,5	67	113,9
Blīvums pa šķēriem, pavēdienu skaits/dm	260	330	244	266	390	224	480	480	380	360	670
Blīvums pa audiem, pavēdienu skaits/dm	210	240	236	230	300	188	420	330	360	320	470
Šķēru lineārais blīvums (T_s), tex	10	10,6	37,4	29,2	9,8	33,4	2,4	11	9,2	10,4	9,8
Audu lineārais blīvums (T_a), tex	10,6	12	38,4	32,6	10	34,8	2,2	10,6	10	9,4	10,6
Lineārais aizpildījums (E_s), %	31,2	42,9	59,5	57,4	48,8	49,3	28,8	62,4	46	46,4	83,4
Lineārais aizpildījums (E_a), %	27,3	33,6	58,3	52,4	37,8	41,4	25,2	42,9	45,4	39	61,1
Tilpuma masa (δ), mg/mm ³	0,233	0,279	0,469	0,459	0,261	0,413	0,186	0,362	0,298	0,268	0,495
Masas aizpildījums (E_m), %	15,3	18,3	30,2	30,2	17,17	27,2	16,3	26	19,6	17,6	32,6
Kopējā porainība, R_m %	84,7	81,7	69,8	69,8	82,8	72,8	83,7	74	80,4	82,4	67,4

3. REZULTĀTI

3.1. Ar vara pārklājumu modificēto tekstiliju virsmu mikrostruktūra (SEM)

3.1.1. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija

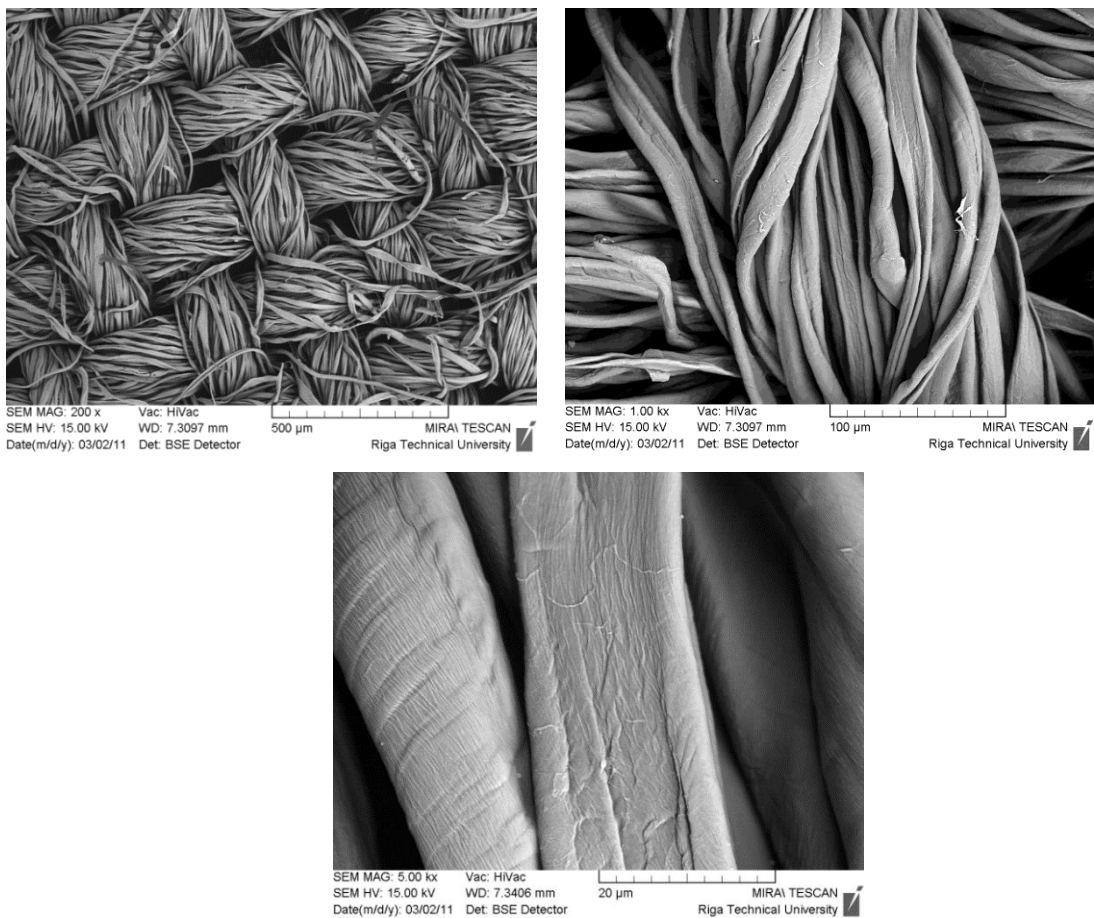
Pārklāšanai ar varu termiskās iztvaicēšanas procesā pakļauti 100 % kokvilnas tekstilmateriāli (2.10. tab., varianti. 1 - 5, 9 - 11). Neatkarīgi no materiālu struktūru raksturojošiem lielumiem iegūti vienādi vara pārklājuma adhēzijas rezultāti.

Paraugu vizuālo izskatu pēc pārklāšanas ar varu termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas procesā var redzēt 3.1. attēlā.



3.1. att. Tekstilmateriāls (Nr. 9) pārklāts ar varu termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas procesā
a) pārklājuma biezums 60 nm (uznešanas laiks 1 s), b) pārklājuma biezums 180 nm (uznešanas laiks 3 s)

No pārklājuma virsmu SEM mikrofotogrāfijām pie dažādiem palielinājumiem (3.2. att.) redzams, ka vara pārklājums uzņests ne tikai uz virsējiem pavedieniem, bet arī uz dziļākiem tekstilijas slāņiem; tas ir vienmērīgs un bez redzamiem defektiem pat tad, ja vara pārklājuma biezums ir 60 nm un uznešanas laiks tikai 1 sekunde. No mikrofotogrāfijām arī redzams, ka kārtiņas ir blīvas un nav novērojama to atslāņošanās (3.2. att.).



3.2. att. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas procesā iegūtā vara pārklājuma struktūra uz kokvilnas tekstilmateriāla (Nr. 9) virsmas, vara pārklājuma biezums 60 nm (uznešanas laiks 1 s)

Pārklājuma biezumi mērīti uz stikla kontrolparauga pie 1 līdz 3 s ilgstošas eksponzīcijas sakopoti 3.2. tabulā.

3.2. tabula

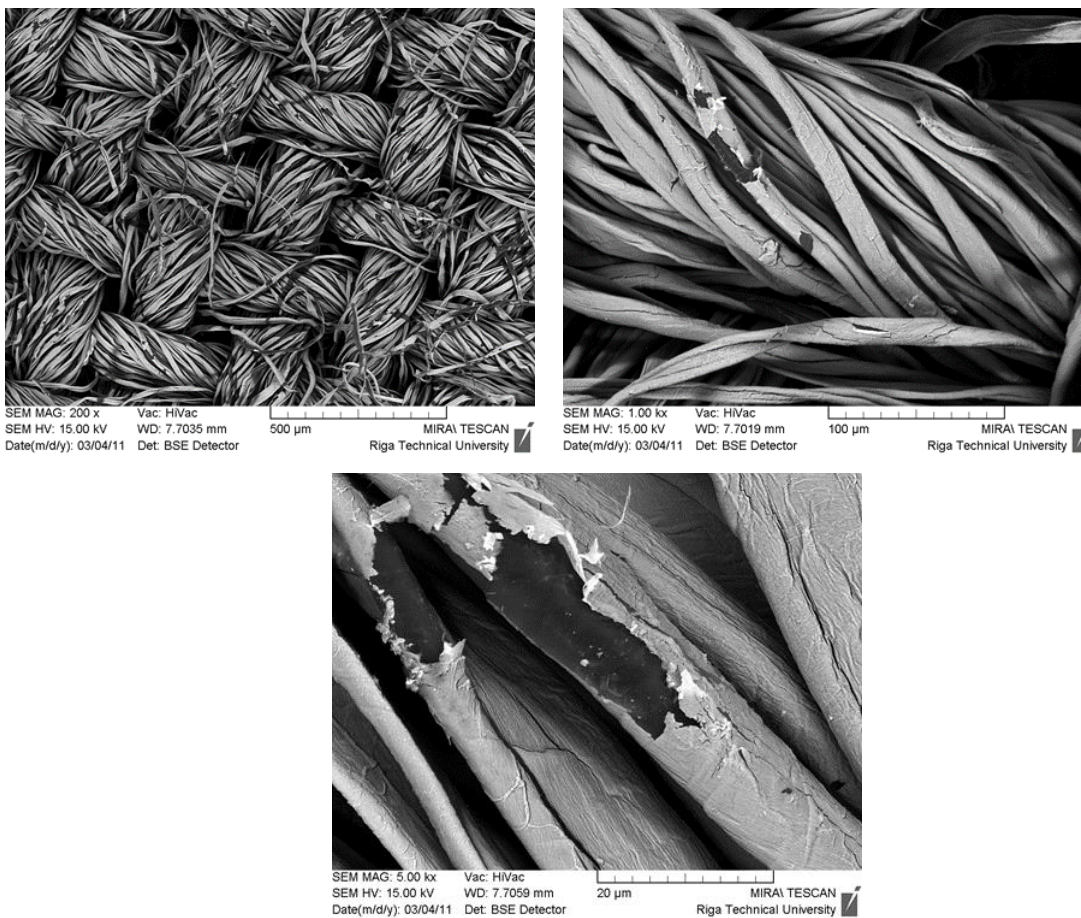
Termiskās iztvaicēšanas procesā uznesto pārklājumu biezums

Uznešanas laiks, s	Vidējais vara pārklājuma biezums uz stikla kontrolparauga virsmas, nm
1	60
2	120
3	180

A) Hidrotermiskās apstrādes ietekme uz vara pārklājumiem, kas iegūti ar termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiju

No 3.3. attēla mikrofotogrāfijām redzams, ka pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla kokvilnas tekstilijas vara pārklājumā vietām sastopami dažādu izmēru mikrodefekti, kas var apdraudēt pārklājuma noturību pakļaujot materiālu deformācijām lietošanas un mazgāšanas

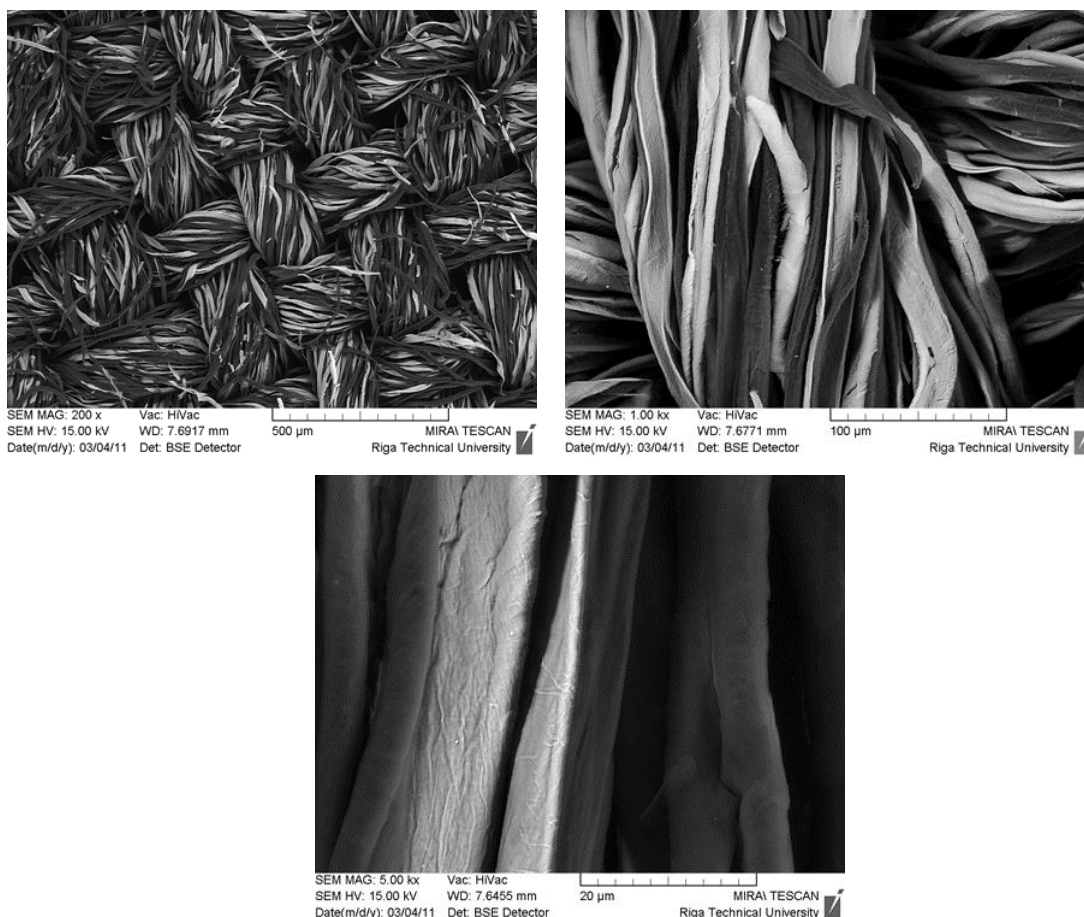
procesos, bet nerada problēmas to integrēt vienreiz lietojamu produktu arhitektūrā (brūču pārsēji, plāksteri).



3.3. att. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas procesā iegūtā vara pārklājuma defekti uz kokvilnas tekstilmateriāla (Nr. 9) virsmas pēc hidrotermiskās apstrādes cikla, vara pārklājuma biezums 60 nm, uznešanas laiks 1 sekunde

Iepriekšējo eksperimentu rezultāti liecina, ka kokvilnas/elastāna un kokvilnas/poliamīda trikotāžas adhēziju ar vara pārklājumu uzlabo tekstilmateriālu priekšapstrāde ar zema spiediena gaisa plazmu [143]. Lai uzlabotu 100 % kokvilnas tekstilmateriālu sasaisti ar metālu sekojošā termiskās iztvaicēšanas procesā, arī šajā pētījumā paraugi pakļauti priekšapstrādei ar zema spiediena gaisa plazmu un hidrotermiskai pēcapstrādei. No 3.4. attēla mikrofotogrāfijām redzams, ka hidrotermiskās apstrādes ciklam pakļautās kokvilnas tekstilijas vara pārklājumā saskatāmi nopietni metāla kārtiņas bojājumi, kas liecina par to, ka 100 % kokvilnas tekstiliju apstrāde ar zema spiediena gaisa plazmu ne tikai neuzlabo, bet pasliktina tekstilvirsmas adhēziju ar vara pārklājumu, jo pēc hidrotermiskās apstrādes saskatāmi metāla kārtiņas mikrobojājumi visā redzamajā laukā, no dažām tekstilšķiedrām vara pārklājums nomazgājies pilnībā (3.4. att.). Līdzīga aina vērojama arī pārējo paraugu mikrofotogrāfijās, kas nav pievienotas. Ar daba ietvaros izstrādāto

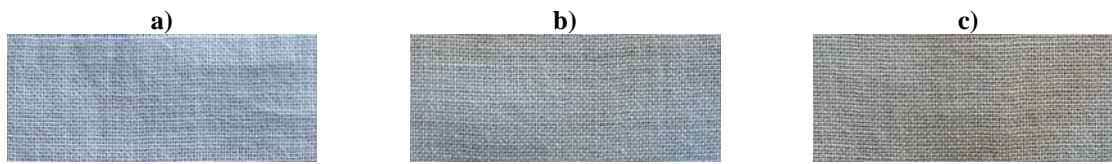
bezkontakta testēšanas metodi (skat. metodes aprakstu 1.pielikumā) iegūtie dati liecina, ka ar zema spiediena gaisa plazmas priekšapstrādi termiskās iztvaicēšanas procesā modificētu tekstiliju vara pārklājumi hidrotermiskās apstrādes rezultātā tiek bojāti vairāk nekā pārklājumi bez plazmas priekšapstrādes, ko apstiprina arī SEM mikrofotogrāfijas (3.4. att.).



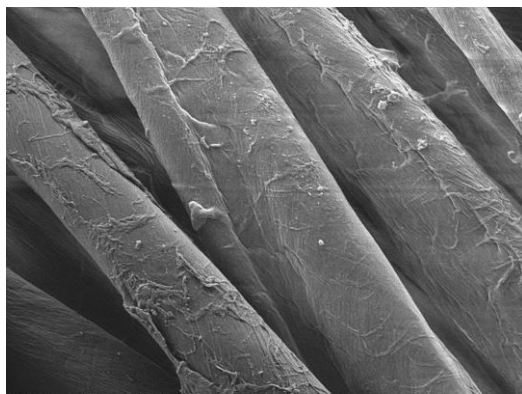
3.4. att. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas procesā iegūtā vara pārklājuma defekti uz kokvilnas tekstilmateriāla (Nr. 9) virsmas pēc hidrotermiskās apstrādes cikla vara pārklājuma biezums 60 nm, uznešanas laiks 1 sekunde, plazmas priekšapstrāde 3 minūtes

Bez tam, sākot ar 3 minūtes ilgstošu apstrādi plazma vērojamas arī tekstilijas virsmas vizuālas izmaiņas: palielinās dzeltējuma pakāpe (3.5. att., b un c). Lai saprastu, kā plazmas apstrāde iedarbojas uz 100 % kokvilnas tekstilijas virsmu, paraugi pēc apstrādes ar plazmas joniem pakļauti SEM analīzei. No iegūtajām mikrofotogrāfijām redzams, ka neapstrādātu (3.6. att.) un ar plazmu apstrādātu paraugu šķiedru virsmas reljefi (3.7. att.) ir atšķirīgi jau pēc 30 sekundes ilgstošas plazmas apstrādes, jo kokvilnas šķiedrām raksturīgā nelīdzenā virsma apstrādes ietekmē nolīdzinās, kas var pasliktināt vara pārklājuma un šķiedras sasaisti (adhēziju). Palielinot plazmas apstrādes laiku, sākot no 3 minūtēm vērojama ne tikai šķiedru virsmas nogludināšanās, bet arī dabisko šķiedru destrukcija (3.8. un 3.9. att.). Mikrofotogrāfijās redzamais korelē ar vizuālām tekstiliju virsmas izmaiņām un liecina par

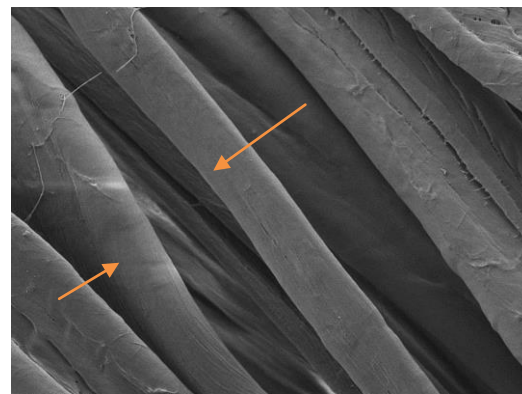
kokvilnas šķiedru destrukciju, kas ierobežo zema spiediena gaisa plazmas lietojumu 100 % kokvilnas tekstiliju apstrādei.



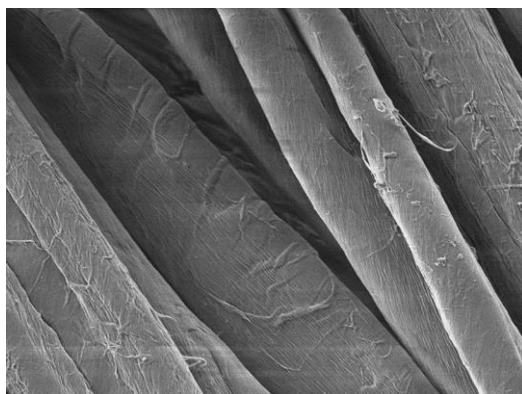
3.5. att. Tekstilijas (Nr.9) vizuālās izmaiņas pēc apstrādes ar plazmu
a) neapstrādāts, b) plazmas apstrāde 3 min., c) plazmas apstrāde 5 min.



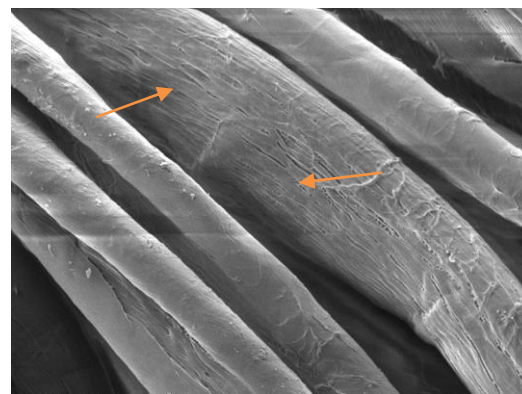
3.6. att. Neapstrādātas kokvilnas tekstilijas (Nr. 9) šķiedras



3.7. att. Kokvilnas tekstilijas (Nr. 9) šķiedras pēc 30 s ilgstošas gaisa plazmas apstrādes



3.8. att. Neapstrādātas kokvilnas tekstilijas (Nr. 9) šķiedras



3.9. att. Kokvilnas tekstilijas (Nr. 9) šķiedras pēc 5 min. ilgstošas gaisa plazmas apstrādes

Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiju var izmantot dabisko tekstiliju pārklāšanai nebojājot pamatnes šķiedras neskatoties uz salīdzinoši augsto vara kušanas temperatūru, bet ievērojot maksimāli pieļaujamo eksponēšanas laiku. Izmantotajā termiskās iztvaicēšanas sistēmā pieļaujamais eksponēšanas laiks ir 1 s.

Kokvilnas tekstiliju apstrāde ar zema spiediena gaisa plazmu ne tikai neuzlabo tekstilmateriālu virsmas adhēziju ar vara pārklājumu, bet to pasliktina, jo apstrāde ar plazmas

joniem izlīdzina dabiskas kokvilnas šķiedrām raksturīgo virsmas reljefu; sākot ar 3 minūtes ilgstošu apstrādes laiku plazmā notiek kokvilnas šķiedru destrukcija.

Termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu nanolīmenī pārklāti kokvilnas tekstilmateriāli piemēroti integrēšanai vienreiz lietojamos izstrādājumos, kas netiek pakļauti hidrotermiskai apstrādei.

3.1.2. Magnetrona izputināšanas tehnoloģija.

Pārklāšanai ar varu magnetrona izputināšanas procesā pakļauti dažādi 100 % kokvilnas tekstilmateriāli (2.10. tab., Nr. 1 - 5, 9 - 11). Neatkarīgi no materiālu struktūru raksturojošiem parametriem iegūti vienādi vara pārklājuma adhēzijas rezultāti. Paraugu vizuālo izskatu pēc pārklāšanas ar varu magnetrona izputināšanas procesā var salīdzināt 3.10. attēlā.



3.10. att. Tekstilmateriāls (Nr. 9) pārklāts ar varu magnetrona izputināšanas tehnoloģijas procesā

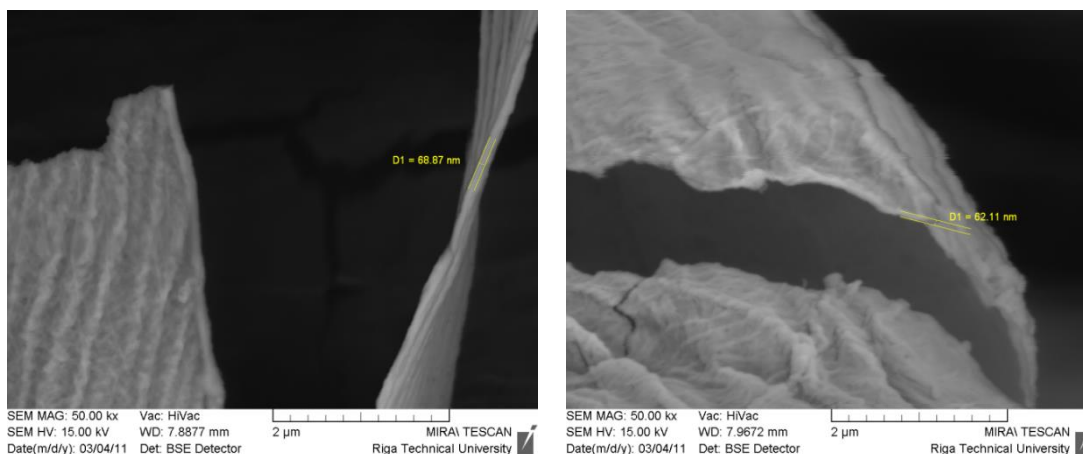
- a) pārklājuma biezums 30 nm (vara uznešanas laiks 20 s, viena parauga eksponēšanas laiks 1,5 s),
 b) pārklājuma biezums 90 nm (vara uznešanas laiks 60 s, viena parauga eksponēšanas laiks 3,5 s)

Pārklājuma biezumi uz stikla kontrolparauga pie 20, 40 un 60 s ilgstošas apstrādes (eksponēšanas laiks uz vienu paraugu 1,5 s, 3s un 4,5 s) sakopoti 3.3. tabulā. Ar SEM izmērītie vara pārklājumu biezumi uz kokvilnas šķiedru virsmas (3.11. att.) ar uznešanas laiku 60 sekundes vidēji ir 65 nm, bet mērīti uz stikla kontrolparaugā 90 nm (3.3. tab.). Biezumu dažādībai par iemeslu varētu būt kondensācijas apstākļu atšķirība uz stikla un kokvilnas šķiedru virsmām.

3.3. tabula

Pārklājumu biezumi atkarībā no izputināšanas laika

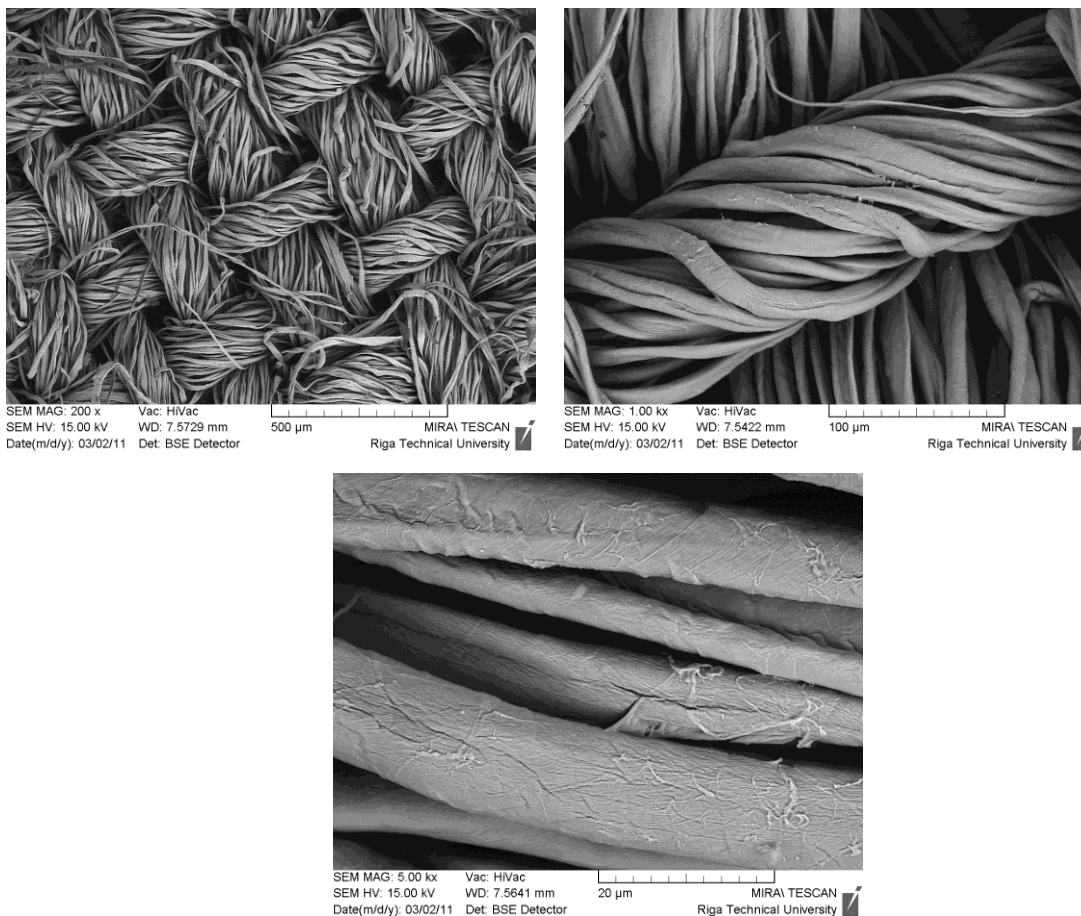
Magnetrona izputināšanas laiks 7 paraugiem, s	Viena parauga eksponēšanas laiks, s	Vidējais vara pārklājuma biezums uz stikla kontrolparauga virsmas, nm
20	1,5	30
40	3	60
60	4,5	90
80	6	120
100	7,5	150
120	9	180
140	10.5	200



3.11. att. Vara uznešanas laiks magnetrona izputināšanas procesā 60 s, vara pārklājuma biezums 90 nm (viena parauga ekspozīcijas laiks 4,5 s)

No iegūtiem datiem ir redzams, ka ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju uznešās vara kārtiņas biezums pieaug tieši proporcionāli palielinoties izputināšanas laikam, vara uznešanas laikam un vara kārtiņas biezumam piemīt lineārā atkarība.

No 3.12. att. mikrofotogrāfijām redzams, ka vara pārklājums uzneš ne tikai uz virsējiem pavedieniem, bet arī nokļuvis uz dziļāko slāņu šķiedrām; iegūtais pārklājums ir vienmērīgs un bez redzamiem defektiem pat ja vara uznešanas laiks ir 20 sekundes un pārklājuma biezums 30 nm (viena parauga ekspozīcijas laiks 1.5 s). Mikrogrāfijās redzamās kārtiņas ir blīvas, nav novērojama to atslāņošanās; vara pārklājums uz kokvilnas tekstilmateriāla virsmas nemaina tās reljefu, jo pārklāj pavedienu šķiedras atkārtotot to virsmas struktūru. Tas korelē ar atstarotās gaismas mērījumu rezultātiem, kas iegūti ar bezkontakta metodi: pēc pārklāšanas saglabājās tekstilijām raksturīgā difūzā gaismas atstarošana.



3.12. att. Magnetrona izputināšanas tehnoloģijas procesā iegūta 30 nm bieza vara pārklājuma struktūra uz kokvilnas tekstilmateriāla (Nr. 9) virsmas. Uznešanas laiks 20 sekundes (viena parauga eksponēšanas laiks 1.5 s)

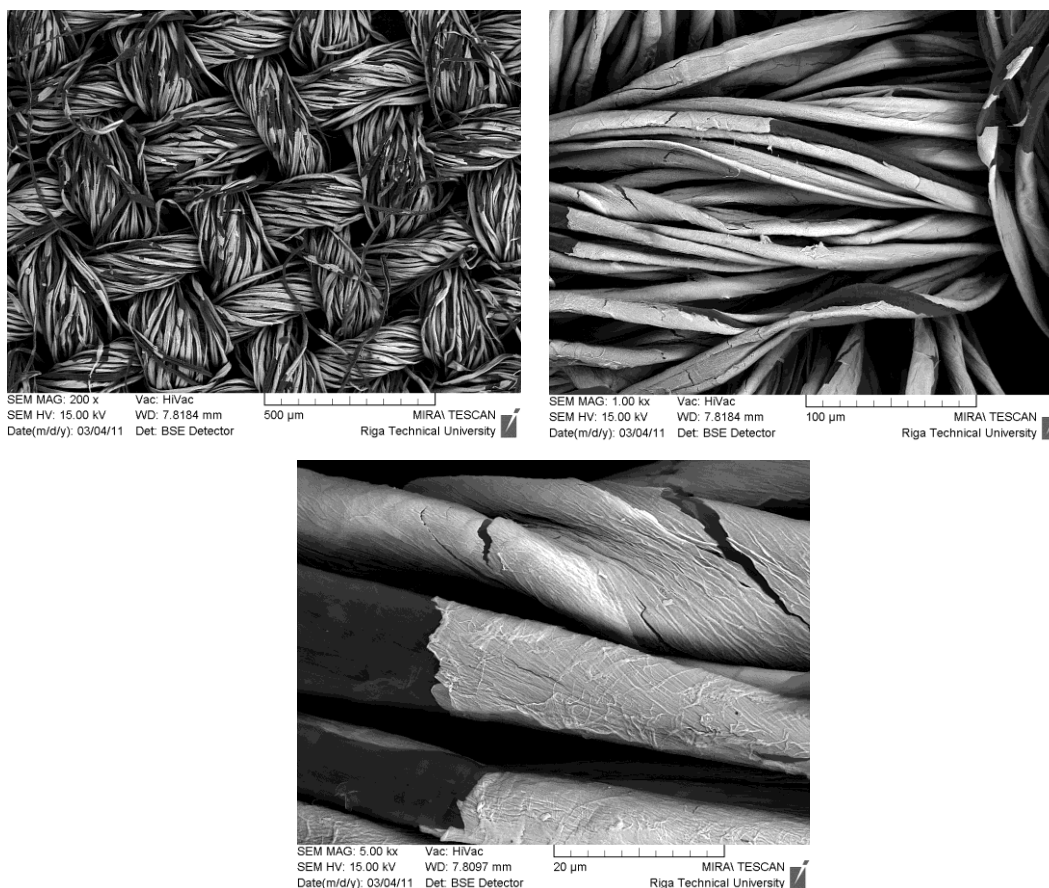
Salīdzinot vara uznešanas laikam robežās no 20 s (1.5 s/uz paraugu) līdz 140 s (10.5 s/uz paraugu) atbilstošas paraugu mikrofotogrāfijas, būtiskas atšķirības no 30 līdz 200 nm biezu pārklājumu struktūrā nav konstatējamas (3.13. att.), nav redzami arī pārklājuma mikrodefekti un kokvilnas šķiedru destrukcijas pazīmes.



3.13. att. Magnetrona izputināšanas tehnoloģijas procesā iegūta 30 un 180 nm bieza vara pārklājuma struktūra uz kokvilnas tekstilijas (Nr. 9) virsmas
 a) pārklājuma biezums 30 nm (vara uznešanas laiks 20 s, viena parauga eksponēšanas laiks 1,5 s),
 b) pārklājuma biezums 180 nm (vara uznešanas laiks 120 s, viena parauga eksponēšanas laiks 9 s)

A) Hidrotermiskās apstrādes ietekme uz magnetrona izputināšanas procesā iegūtiem vara pārklājumiem

No 3.14. attēla mikrogrāfijām redzams, ka hidrotermiskajai apstrādei pakļautās kokvilnas tekstilijas vara pārklājumā ir saskatāmi metāla kārtiņas bojājumi, kas liecina par to, ka 100 % kokvilnas tekstilijām ir slikta adhēzija ar vara pārklājumu (3.14. att.). Līdzīga aina vērojama arī pārējo paraugu mikrogrāfijās, kas nav parādītas.



3.14. att. Magnetrona izputināšanas procesā iegūta 90 nm bieža vara pārklājuma defekti uz kokvilnas tekstilijas (Nr. 9) virsmas pēc viena hidrotermiskās apstrādes cikla vara uznešanas laiks 60 s, viena parauga eksponēšanas laiks 4,5 s

Ar bekontakta metodi (1.pielikums). mērītās atstarotās gaismas intensitātes kritums pēc magnetrona izputināšanas procesā pārklāto tekstiliju paraugu hidrotermiskās apstrādes liecina, ka neatkarīgi no uznestā vara kārtiņas biezuma pēc hidrotermiskās apstrādes uz tekstilijas virsmas saglabājas līdzīgs vara daudzums

Magnetrona izputināšanas tehnoloģiju var izmantot dabisko tekstiliju pārklāšanai nebojājot šķiedru pamatni.

Magnetrona izputināšanas procesā ar varu nanolīmenī pārklāti kokvilnas tekstilmateriāli ir piemēroti integrēšanai vienreiz lietojamās izstrādājumos, kas netiek pakļauti hidrotermiskai apstrādei.

3.2. Sola-gēla procesā modificētu tekstiliju vizuālais izskats un struktūra

3.2.1. Termiskās pēcapstrādes ietekme

Pakļaujot tekstilmateriālus neatbilstošiem termiskās apstrādes parametriem tekstilmateriālu īpašības var pasliktināties. Kokvilnas šķiedru stiprība samazinās pie temperatūras 120 °C, bet jau pie temperatūras 150 °C kokvilnas šķiedras sadalās [24]. Tomēr īslaicīgi tekstilmateriālus iespējams pakļaut augstāku temperatūru iedarbībai, piem., gludinot kokvilnas tekstilmateriālus 30 sekundes pie temperatūras robežās no 180 °C līdz 220 °C nenotiek to īpašību pasliktināšanas [24]. Arī pie relatīvi zemām temperatūrām apstrādes ir ierobežotas laikā, jo pakļaujot tekstilmateriālu ilgstošai zemu temperatūru iedarbībai notiek termiska tekstilmateriāla vecināšana [24]. Tāpēc nepieciešams eksperimentāli noteikt atbilstošus termiskās apstrādes parametrus. Līdztekus tekstilmateriālu fizikālajām, mehāniskajām un citām tehniskām īpašībām ir svarīgi saglabāt tekstilmateriālu vizuālo izskatu – sākotnējo krāsu, kas var mainīties neatbilstošas termiskās apstrādes rezultātā. Tāpēc vispirms nepieciešams noteikt termiskās apstrādes parametrus, pie kuriem nenotiek krāsas izmaiņas.

Pēc apstrādes ar solu paraugus nepieciešams izžāvēt un pakļaut termiskai pēcapstrādei, lai konsolidētu pārklājumu un saistītu to ar tekstilijas virsmu. Literatūras analīze liecina, ka ar sola-gēla tehnoloģiju pārklāto paraugu termiskās pēcapstrādes režīmi variēti plašās robežās: žāvēšanas temperatūra no 80 līdz 120 °C un apstrādes laiks no 3 līdz 10 minūtēm [40, 77, 93, 152, 153], ir minēta arī žāvēšana istabas temperatūrā [1]. Savukārt termiskās pēcapstrādes temperatūra piemērota robežās no 100 līdz 180 °C, apstrādes laiku variējot robežās no 0,05 līdz 30 minūtēm [1, 40, 77, 93, 152 - 155].

Lai noteiktu kokvilnas tekstilijām atbilstošus termiskās pēcapstrādes parametrus, eksperimentos piemēroti vairāki režīmi mainot žāvēšanas temperatūru robežās no 50 °C līdz 90 °C un variējot izturēšanas ilgumu no 10 līdz 20 minūtēm, kā arī mainot karsēšanas temperatūru robežās no 90 °C līdz 220 °C un izturēšanas laiku robežās no 2 līdz 60 minūtēm. Režīmu un to mijiedarbības efektu novērtēšanai pēcapstrādei pakļauti gan nemodificētu, gan ar dažādu sastāvu soliem modificētu tekstiliju paraugi.

A) Žāvēšanas parametri

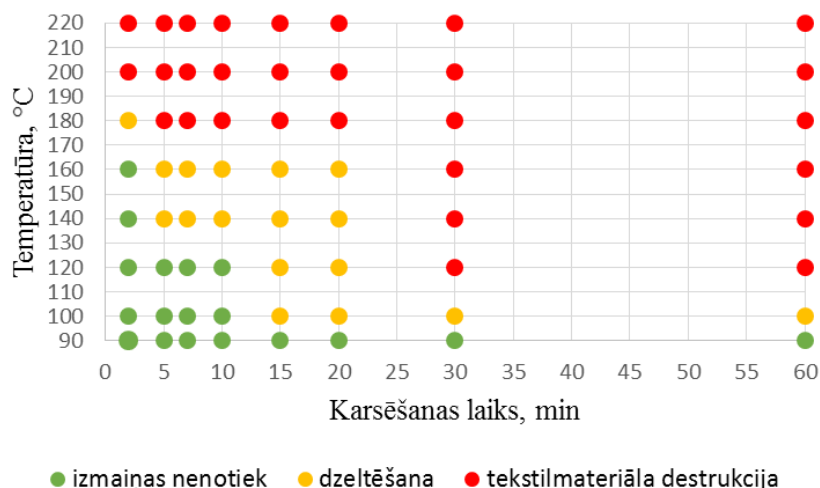
Veikto pētījumu ietvaros noteiktas iespējamās žāvēšanas temperatūru un izturēšanas laiku kombinācijas, ka arī optimālie žāvēšanas parametri. Temperatūru diapazonā no 50 °C līdz 70 °C paraugi izžūst tikai tad, ja palielina žāvēšanas laiku līdz 15 - 20 minūtēm, kas paildzina paraugu sagatavošanas laiku; 10 minūtes ilgstoša žāvēšana pie temperatūras 80 °C ir nepietiekoša kombinācija dažādā biezuma tekstilmateriāliem; 10 min ilgstoša apstrāde 90 °C temperatūrā ir pietiekoša, lai izžūtu tekstilmateriāli biezumā no 0,10 līdz 0,40 mm ± 0,01 mm (2.10. tab., Nr. 1 – 11).

B) Karsēšanas parametri jeb termiskā pēcapstrāde

Karsēšanas temperatūra robežās no 200 līdz 220 °C ar apstrādes ilgumu pat 2 minūtes ir nepiemērota gan neapstrādātiem materiāliem, gan ar dažādu sastāvu solu apstrādātām kokvilnas tekstilijām, tā kā notiek tekstilmateriāla destrukcija, šķiedras daļēji sadeg, izmainās virsmas krāsa.

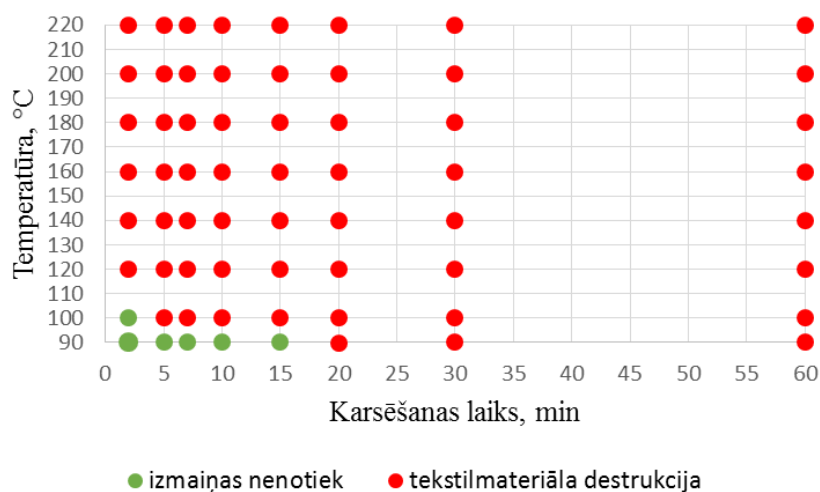
Karsējot ar *CAD* solu apstrādātus tekstilmateriālu paraugus 2 minūtes pie temperatūras 180 °C netiek novērota tekstilmateriāla destrukcija, toties līdzīgi kā Chao-Xia Wang un citu darbā [152] palielinās tekstilijas dzeltēšanas intensitāte, palielinot apstrādes laiku, sākas tekstilijas destrukcija. Arī temperatūras ietekme uz nepārklāto tekstiliju ir līdzīga: piemērojot karsēšanas temperatūras robežās no 140 līdz 160 °C paraugu apstrādes ilgums nevar pārsniegt 2 minūtes; palielinot apstrādes laiku kokvilnas tekstilijas dzeltēšanas intensitāte pieaug. Karsēšanas temperatūras robežās no 100 līdz 120 °C ir vairāk piemērotas kokvilnas tekstiliju apstrādei variējot laiku robežās no 2 līdz 10 minūtēm; šajās robežās temperatūras un laika kombinācijas neietekmē apstrādāto un neapstrādāto paraugu vizuāli konstatējamas īpašības. Ja tehnoloģiskais process ļauj vēl pazemināt temperatūru līdz 90 °C, karsēšanu var veikt intervālā no 30 līdz 60 minūtēm nemainot tekstilijas vizuālo izskatu.

Iespējamo termiskās pēcapstrādes režīmu sakopojumu modificēšanai ar *CAD* solu, var redzēt 3.15. att., kur ar zaļu krāsu atzīmēti termiskās apstrādes režīmi, kas neietekmē tekstilmateriāla vizuālo izskatu un var tikt lietoti kokvilnas tekstiliju termiskajā pēcapstrādē.



3.15. att. Termiskās pēcapstrādes režīmu ietekme uz ar CAD solu modificētām kokvilnas tekstilijām

Karsējot *ar CSH solu* apstrādātus tekstiliju paraugus konstatēts, ka darba ietvaros iegūtās sola sastāva un koncentrācijas variācijas nav piemērotas kokvilnas tekstilmateriālu apstrādei, jo karsēšanas temperatūras nevar pārsniegt 100 °C un apstrādes ilgums 2 minūtes. Palielinot temperatūru virs 100 °C notiek kokvilnas destrukcija, par ko liecina paraugu dzeltēšana; sākot ar temperatūru 120 °C un apstrādes ilgumu līdz 5 minūtēm uz paraugu virsmas parādās tumši brūni traipi, tātad sākusies intensīva šķiedru destrukcija. Palielinot termiskās apstrādes laiku, kā arī $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (CSH) koncentrāciju, palielinās tumši brūno traipu laukumi un to skaits. Termiskās pēcapstrādes režīmu apskats ar CSH solu redzams grafikā 3.16. att., kur ar zaļu krāsu atzīmēti termiskās apstrādes režīmi, kas neietekmē tekstilijas vizuālo izskatu.



3.16. att. Termiskās pēcapstrādes režīmu ietekme uz ar CSH solu modificētām kokvilnas tekstilijām

Attēlos 3.17. – 3.20. ir redzamas atšķirības tekstilmateriālu paraugu vizuālajā izskatā pēc 5 minūtes ilgstošas termiskās pēcapstrādes 120 °C temperatūrā: nepārklāta parauga un ar 7,5 mas.% CAD solu apstrādāta parauga virsmas gandrīz neatšķiras, bet uzreiz redzama būtiska atšķirība ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CSH solu modificētiem paraugiem - ir mainījies gan krāsa, gan uz virsmas redzami tumši brūni traipi.



3.17. att. Neapstrādātas tekstilijas virsma (Nr. 4)



3.18. att. Ar 7,5 mas.% CAD solu modificētas tekstilijas virsma (Nr. 4)



3.19. att. Ar 5 mas.% CSH solu modificētas tekstilijas virsma (Nr. 4)



3.20. att. Ar 7,5 mas.% CSH solu modificētas tekstilijas virsma (Nr. 4)

Attēlos 3.21. – 3.23. var redzēt tekstilmateriālu paraugu vizuālā izskata izmaiņas atkarībā no sola sastāva pēc termiskās pēcapstrādes 120 °C temperatūrā 2 minūtes. Var redzēt, ka atšķirības starp nepārklāto un apstrādāto ar 7,5 mas.% CAD solu ir nebūtiskas, paraugam apstrādātam ar 7,5 mas.% CSH solu uzreiz redzamas krāsas izmaiņas kā arī defekti uz parauga virsmas.



3.21. att. Neapstrādāts tekstilmateriāls (Nr. 3)



3.22. att. Ar 7,5 mas.% CAD solu modificētas tekstilijas virsma (Nr. 3)



3.23. att. Ar 7,5 mas.% CSH solu modificētas tekstilijas virsma (Nr. 3)

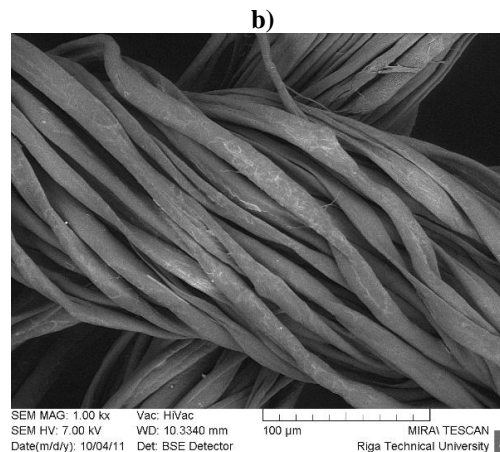
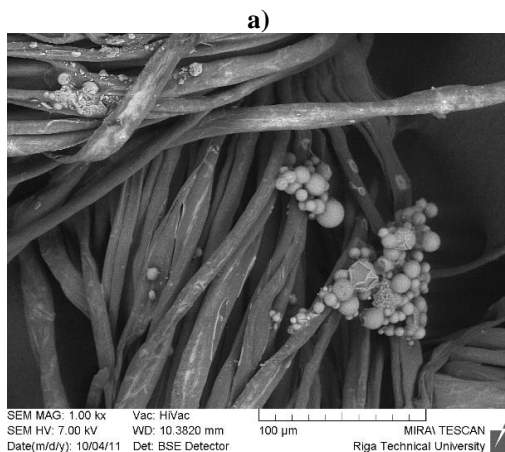
Pārējo solu komponentu koncentrācijas izmaiņas paraugu ārējo izskatu pēc termiskās pēcapstrādes eksperimenta parametru robežās neietekmē.

3.2.2. Tekstiliju virsmas mikrostruktūra (SEM)

A) Pārklājuma struktūra atkarībā no sola pagatavošanas metodikas

UV aizsardzības spējas palielināšanai modifikācijai ar dažādu sastāvu soliem pakļauta tekstilija Nr. 3 (2.10. tab.).

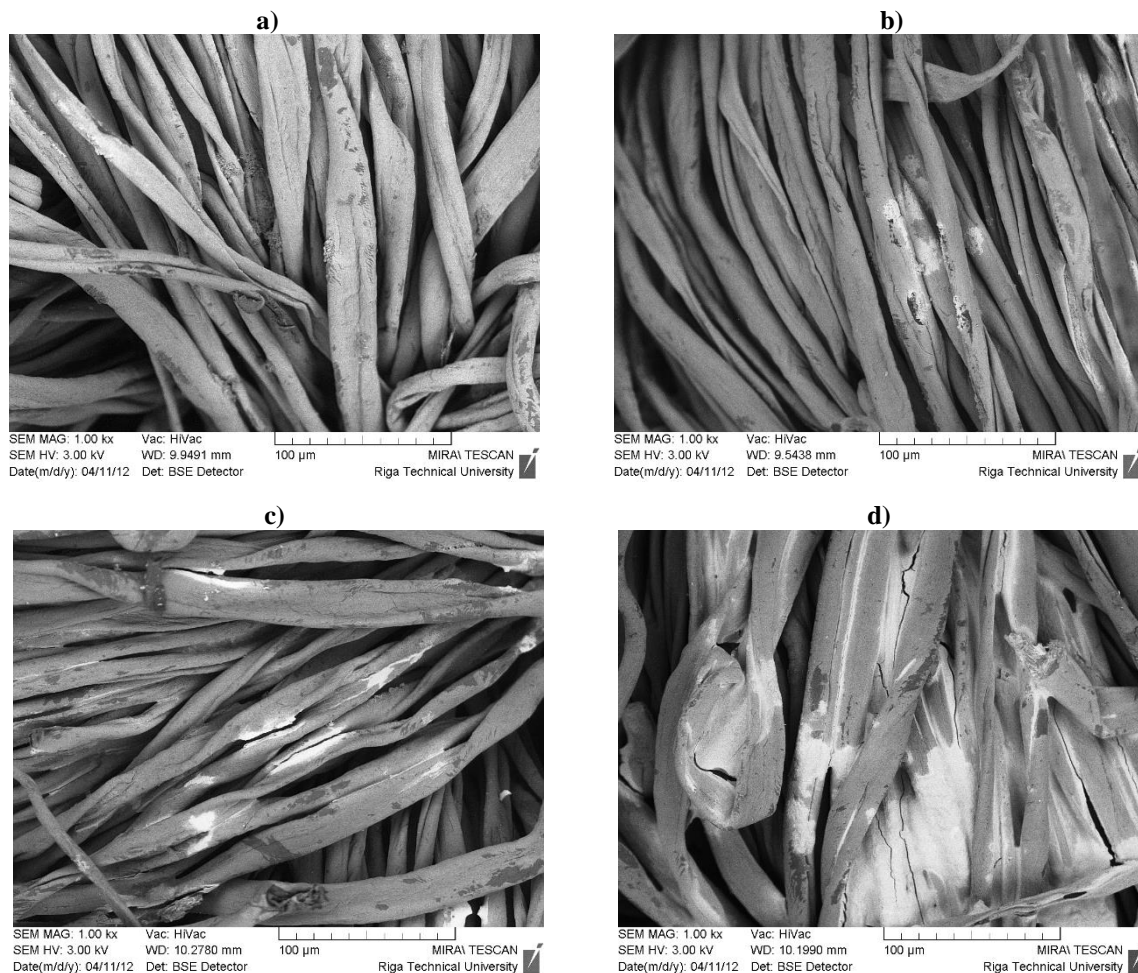
3.24. attēla SEM mikrofotogrāfijās redzamas pārklājumu struktūras, kas iegūtas apstrādājot ar pirmajai izgatavošanas metodei atbilstošu solu (2.2.1. apakšnodaļa, 1. metode). Sākotnēji 0.2 M TEOS sols modificēts mainot cinka acetāta dihidrāta (CAD) un cinka sulfāta heptahidrāta (CSH) koncentrāciju robežās no 2,5 mas.% līdz 10 mas.%. Apstrādāto paraugu mikrofotogrāfijas liecina, ka modificējot ar 0.2 M TEOS solu uz šķiedru virsmas veidojas sfēriski aglomerāti (3.24. att., a), to sadalījums un izmēri nedaudz variē atkarībā no CAD vai CSH koncentrācijas.



3.24. att. Ar 2,5 mas.% CAD solu apstrādāta kokvilnas tekstilmateriāla virsmas struktūra (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)

a) 0.2 M TEOS, b) 0.1 M TEOS

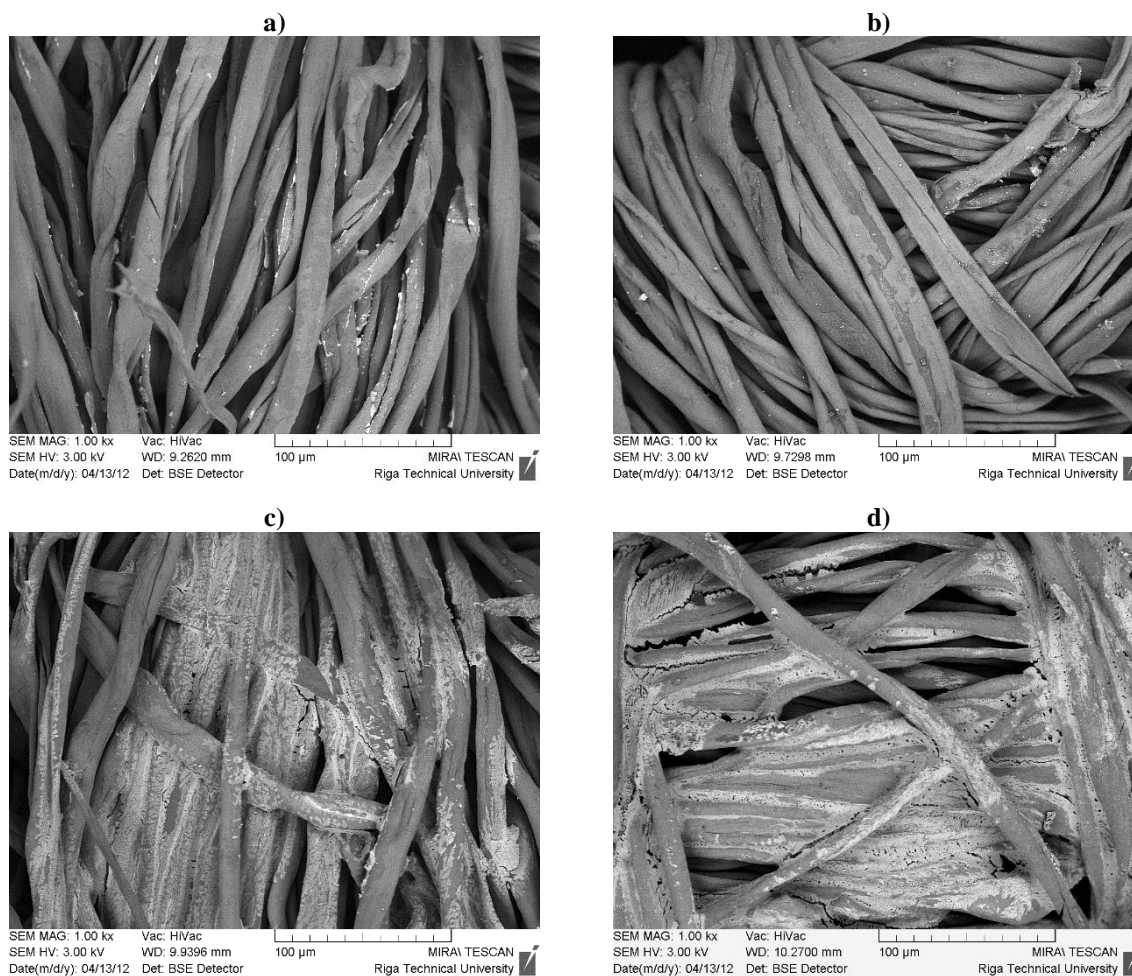
Sfērisko daļiņu EDS analīze liecina, ka iegūto aglomerātu galvenā komponente ir silīcijs (Si) un tā procentuālā masa vidēji ir 36,34 mas.%. Tā kā silīcija avots ir TEOS, tā koncentrāciju solā tika samazināta līdz 0.1 M, ļaujot iegūt pārklājumu bez sfērisko daļiņu aglomerātiem (3.24. att., b).



3.25. att. CAD koncentrācijas ietekme uz modificētas kokvilnas tekstilijas virsmas struktūru (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)

a) 2,5 mas.% CAD sols (0.1 M TEOS), b) 5 mas.% CAD sols (0.1 M TEOS), c) 7,5 mas.% CAD sols (0.1 M TEOS), d) 10 mas.% CAD sols (0.1 M TEOS)

Modificējot 0.1 M TEOS solu ar 2,5 mas.% un 5 mas.% CAD (3.25. att., a un b) vai CSH (3.26. att., a un b) iegūtie pārklājumi ir diezgan vienmērīgi, bet ar dažiem mikrodefektiem uz šķiedrām, redzamas arī nepārklātas vietas. Savukārt ar 7,5 mas.% un 10 mas.% CAD (3.25. att., c un d) vai CSH (3.26. att., c un d) modificētām virsmām raksturīgi tilti un salauzti tilti starp šķiedrām, kas var radīt pārklājuma defektus pēc hidrotermiskās apstrādes un ekspluatācijas laikā.



3.26. att. CHS koncentrācijas ietekme uz apstrādātas kokvilnas tekstilijas virsmas struktūru (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)

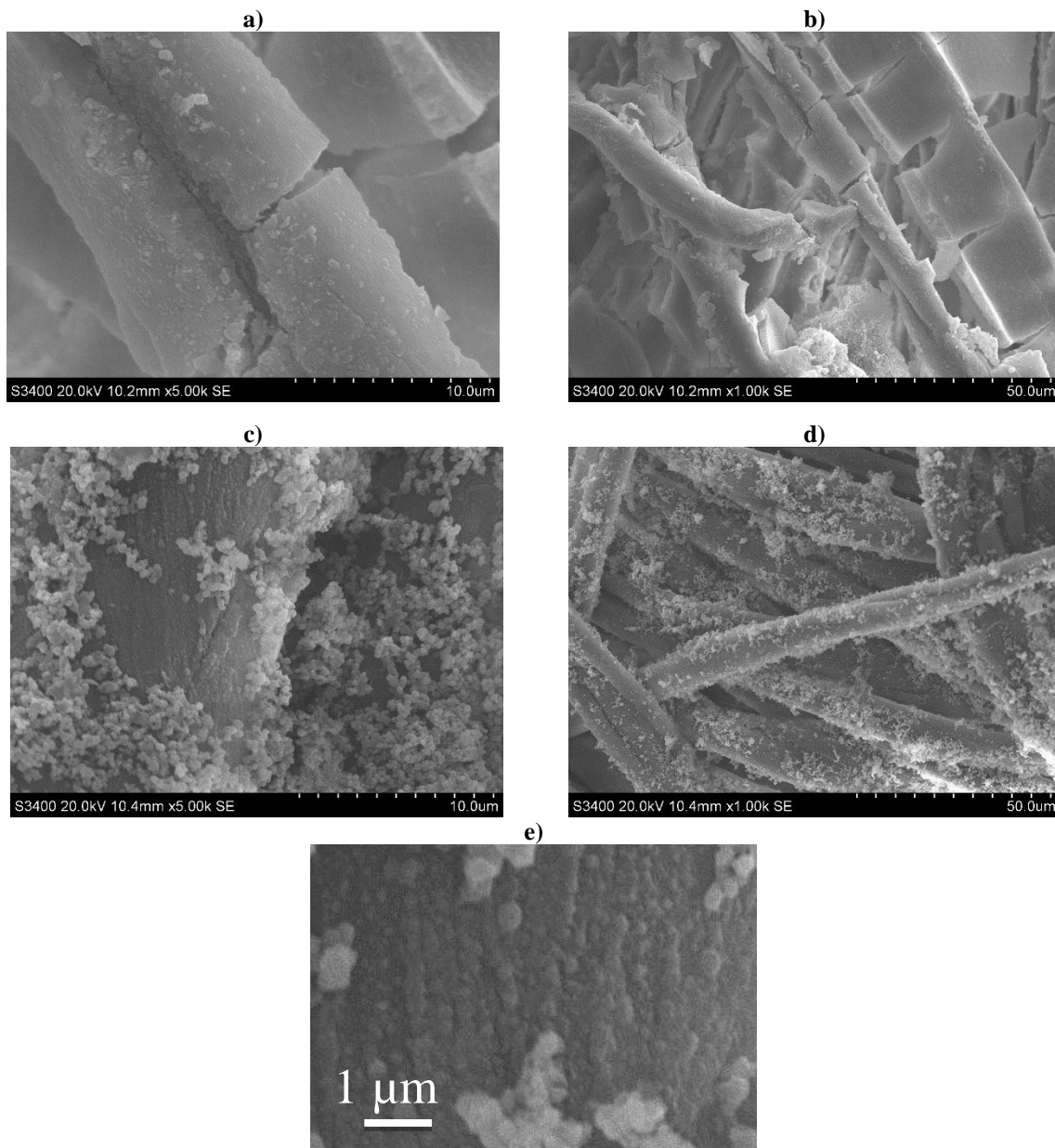
a) 2,5 mas.% CSH sols (0.1 M TEOS), b) 5 mas.% CSH sols (0.1 M TEOS), c) 7,5 mas.% CSH sols (0.1 M TEOS), d) 10 mas.% CSH sols (0.1 M TEOS)

Tā kā neviena no apskatītajām sola modifikācijām nenodrošina optimālu virsmas pārklājuma struktūru, kā arī nepieciešamo UV aizsardzības intensitāti un virsma joprojām ir hidrofila (3.6. apakšnodaļa), jāuzskata, ka, nepieciešama sola pagatavošanas metodes (2.2.1. apakšnodaļa, 1. metode) optimizācija, lai iegūtu pārklājumus ar plānotajām īpašībām.

Iepazīstoties ar publicētiem pētījumu rezultātiem [1], konstatēts, ka, sildot solu maisīšanas procesā, iespējams kompensēt nepietiekošas temperatūras efektu sekojošā termiskajā pēcapstrādē, ļaujot iegūt stabilu pārklājumu uz virsmām ar zemu termisko izturību. Optimizējot tehnoloģiju, sola izgatavošanas procesā šķīduma komponentes maisītas 50 °C temperatūrā (2.2.1. apakšnodaļa, 2. metode).

B) Pārklājuma struktūra atkarībā no TEOS un CAD koncentrācijas solā

Pēc sola pagatavošanas metodes optimizācijas, paraugu apstrāde ir veikta ar 0.2 M TEOS solu modificētu ar dažādām CAD un CSH koncentrācijām. Modificēto tekstiliju virsmas mikrogrāfijas tomēr liecina, ka iegūtais pārklājums ir pārāk biezs un nekvalitatīvs (3.27. att., a un b) neatkarīgi no CAD vai CSH koncentrācijas. EDS analīze rāda, ka silīcija procentuālā masa pārklājumā pārsniedz 7 %, kas acīmredzot ir pārklājuma sliktās kvalitātes cēlonis.

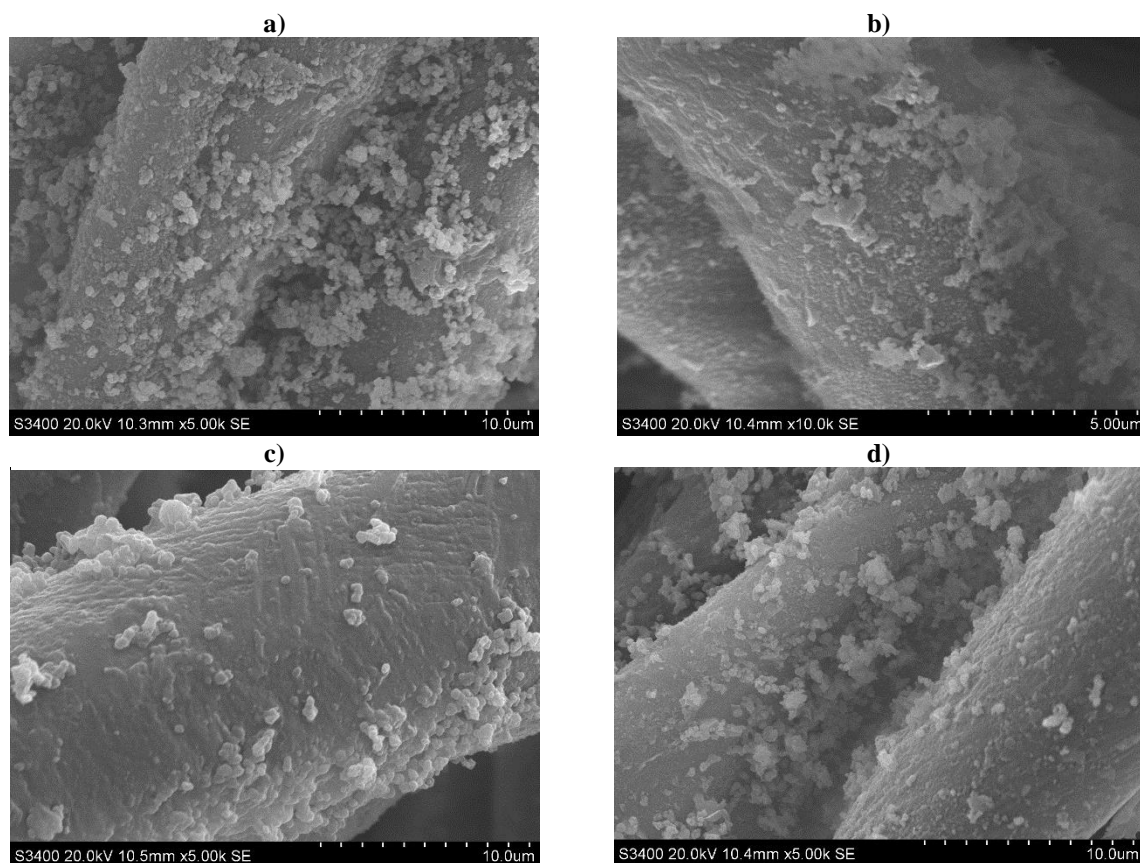


3.27. att. Pārklājuma struktūras izmaiņas atkarībā no TEOS koncentrācijas (5 mas.% CAD sols, termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)
a-b) 0.2 M TEOS, c-e) 0.1 M TEOS

Samazinot TEOS koncentrāciju līdz 0.1 M, iegūts plāns, vienmērīgs pārklājums, ko veido atsevišķas nanodaļiņas un to aglomerāti (3.27. att., c un e). Skenējot modificētās virsmas ar lielāku palielinājumu redzams, ka vietām aglomerāti apvienojas grupējumos veidojot uz virsmas pārklājuma neregulārus, vairākus mikrometrus platus un/vai garus klasterus (3.27. att., e).

C) Pārklājuma struktūra atkarībā no CAD koncentrācijas

0.1 M TEOS pamatsolu modificējot gan ar 5 mas.%, gan 7,5 mas.% CAD uz tekstilmateriālu virsmas iegūts plāns, vienmērīgs pārklājums ar atsevišķiem daļiņu aglomerātiem uz tā (3.28. att., a un d). Tai pat laikā ar 7,5 mas.% CAD solu modificēta tekstilmateriāla pārklājuma virsma ir salīdzinoši gludāka, noklāta ar sīkiem aglomerātiem un tikai ar atsevišķiem lielāka izmēra aglomerātu klasteriem uz tās (3.28. att., b un d). Iegūtie secinājumi korelē ar ASM topogrāfijās redzamo virsmas struktūru (apakšnodaļa 3.3.4.).

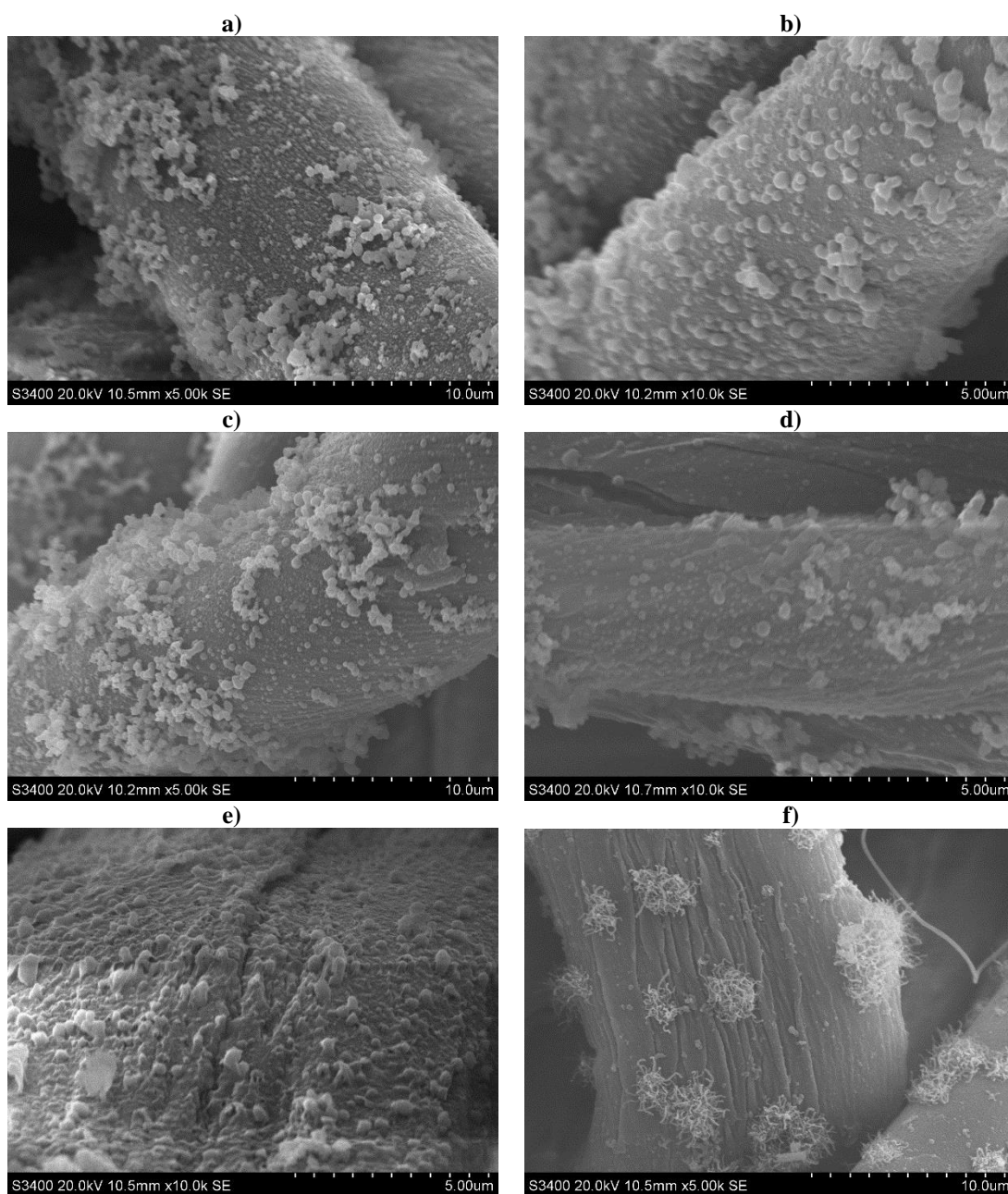


3.28. att. Pārklājuma virsmas struktūras izmaiņas atkarībā no CAD koncentrācijas (0.1 M TEOS)

Termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.: a) 5 mas.% CAD sols, b) 7,5 mas.% CAD sols
Termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 min.: c) 5 mas.% CAD sols, d) 7,5 mas.% CAD sols

D) Pārklājuma struktūra atkarībā no termiskās pēcapstrādes

Kā konstatēts iepriekš, termiskās pēcapstrādes parametri mijiedarbojas ar sola sastāvā ietilpstošo komponentu īpatsvaru, kas jāņem vērā projektējot tehnoloģiju kopumā. 3.29. attēlā redzamajās virsmu mikrofotogrāfijās iespējams izsekot ar 7,5 mas.% CAD solu modificētas kokvilnas tekstilijas (2.10. tabula, Nr. 3.) virsmas pēc 2 min. ilgstošas termiskās pēcapstrādes temperatūru diapazonā 100 - 160 °C (3.29. att., a-d), kā arī pēc 30 un 60 min. ilgstošas apstrādes 90 °C temperatūrā.



3.29. att. Pārklājuma virsmas struktūras izmaiņas atkarībā no termiskās pēcapstrādes parametriem 7,5 mas.% CAD sols (0.1 M TEOS)

a) 100 °C temperatūrā 2 min., b) 120 °C temperatūrā 2 min., c) 140 °C temperatūrā 2 min., d) 160 °C temperatūrā 2 min., e) 90 °C temperatūrā 30 min., f) 90 °C temperatūrā 60 min.

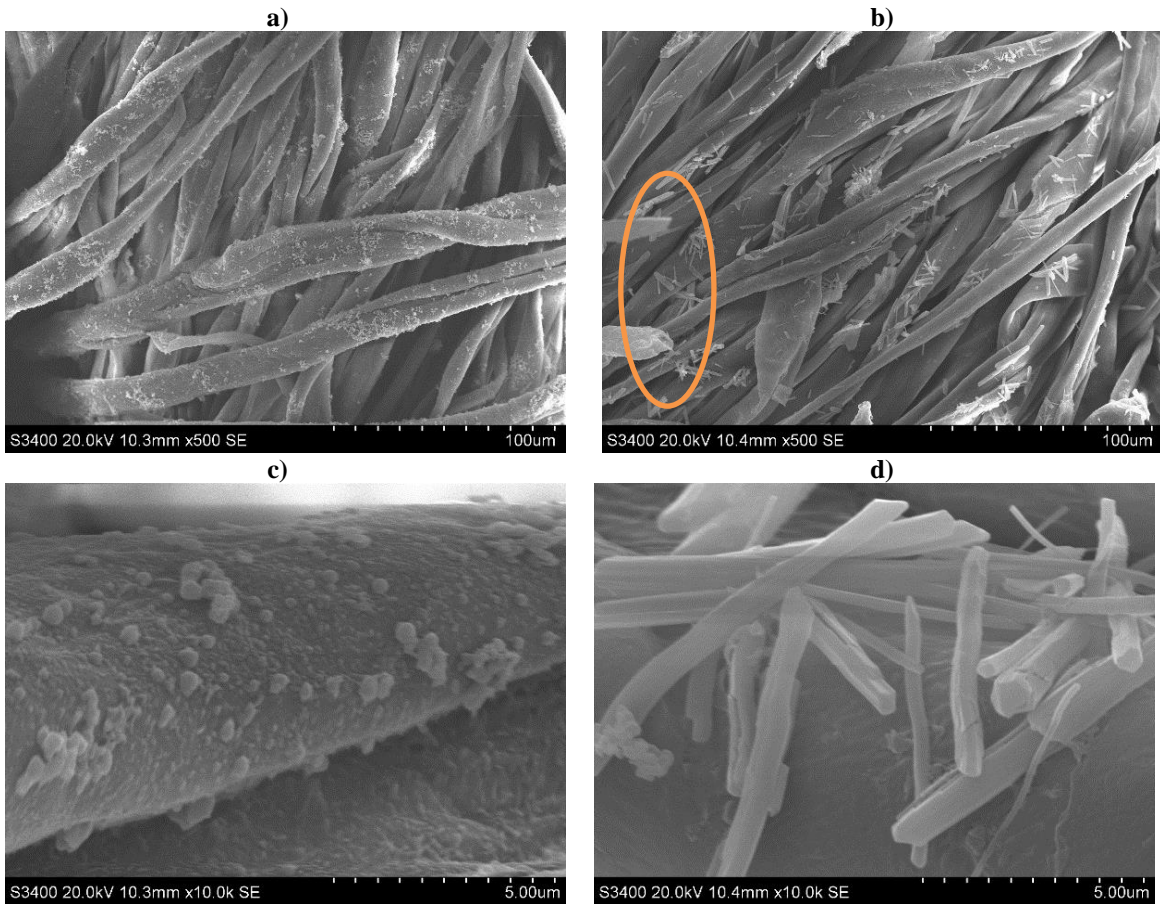
Samērā vienmērīgu virsmas pārklājumu bez liela aglomerātu klasteru īpatsvara nodrošina 2 min. ilgstoša termiskā apstrāde 120 °C un 160 °C temperatūrā, tai pat laikā kokvilnas tekstilmateriālu pakļaušana 160 °C temperatūrai nav ekonomiski izdevīgs variants, līdz ar to tas nav pieņemams, par optimālu uzskatot pēcapstrādi 120 °C temperatūrā. Praktiski labāko virsmas struktūras variantu nodrošina 30 min. ilgstoša termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā, jo šajā variantā maza izmēra aglomerāti ir cieši saistīti ar pārklājumu (3.29. att., e) un sekojošās hidrotermiskās apstrādēs varēs vienmērīgi izkliedēties pa pārklājuma virsmu.

Palielinot termiskās pēcapstrādes laiku līdz 60 minūtēm pie temperatūras 90 °C, pārklājuma struktūra ir vēl vienmērīgāka, bet uz tā virsmas vietām veidojas kristāliskas struktūras nanomatiņu formā, kas apvienoti rozetēs (3.29. att., f) radot uz virsmas ziedu veida (flower-like) struktūras.

E) Pārklājuma struktūra atkarībā no sola modificēšanas ar CAD vai CSH

Tekstiliju virsmas apstrādei ar amorfu Si un Zn saturošu pārklājumu testēti 7,5 mas.% CAD un 7,5 mas.% CSH soli ar darba ietvaros izveidotu sola pagatavošanas metodi. Lai nodrošinātu iespēju objektīvi salīdzināt, fiksēta TEOS koncentrācija (0.1 M TEOS) un termiskās pēcapstrādes režīms (120 °C temperatūrā 2 min.). No 3.29. attēla mikrofotogrāfijām redzams, ka ar CAD un CSH soliem modificēto paraugu virsmu struktūras atšķiras, atšķiras arī apstrādāto tekstilmateriālu īpašības un sola ietekme uz kokvilnas šķiedrām: tekstiliju modifikācija ar CSH solu vāji uzlabo to UV aizsardzības spējas (3.6. apakšnodaļa), kā arī pēc pakļaušanas termiskajai pēcapstrādei sākas šķiedru destrukcija (3.31. apakšnodaļa).

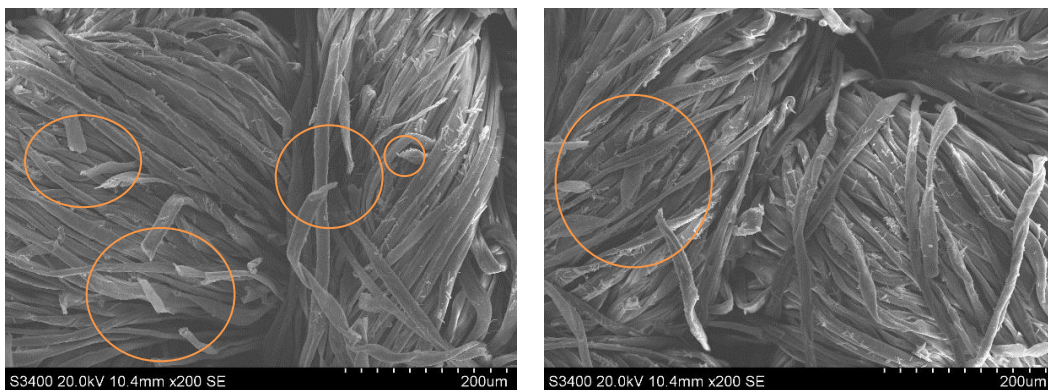
Atšķirībā no virsmām, kas apstrādātas ar CAD solu, kuru pārklājumu veido plāna, vienmērīga modificējošā kārtiņa un ar to saistītie, pārsvarā neliela izmēra aglomerāti bez šķiedru bojājumiem (3.30. att., a un c), ar CSH solu modificētajās tekstilijās uz šķiedru virsmas redzamas nanonūjiņas (3.30. att., b un d) un izteiktas šķiedru destrukcijas pazīmes (3.30. att., b), kas savukārt var izskaidrot šo tekstiliju vājākas UV aizsardzības spējas.



3.30. att. Ar CAD un CHS solu apstrādāto kokvilnas tekstilmateriālu virsmu/šķiedru mikrofotogrāfijas (0.1 M TEOS, termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)

a) un c) 7,5 mas.% CAD sols, b) un d) 7,5 mas.% CSH sols

Lai gan 3.3. nodaļā (3.31. apakšnodaļa) secināts, ka ar CSH solu modificētas kokvilnas tekstilijas pēc 2 min. ilgstošas termiskās pēcapstrādes pie 100 °C neuzrāda dzeltēšanas intensitātes palielinājumu un, tāpat, destrukcijas pazīmes, mikrofotogrāfijas pārlicinoši rāda, ka sākusies šķiedru destrukcija (3.31. att.), kas turpinās sekojošajos hidrotermiskās apstrādes ciklos - šo paraugu vizuāli konstatējama destrukcija notiek pēc 5 apstrādes cikliem (3.6. apakšnodaļa). Tādējādi pētījumā lietotajās sola-gēla tehnoloģijās un to parametru robežās CSH soli nav piemēroti celulozes bāzes dabisko tekstiliju virsmu modificēšanai.

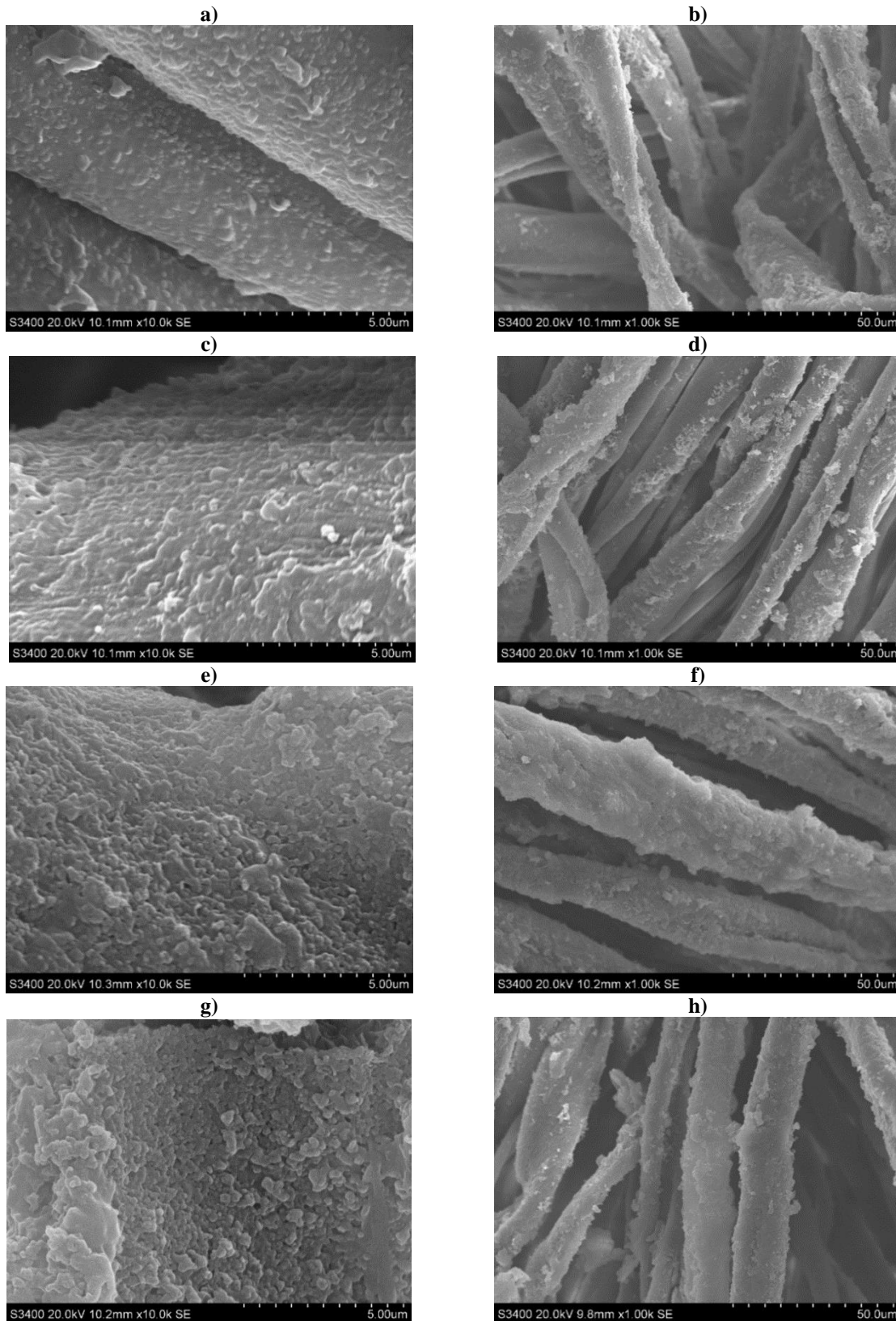


3.31.att. Ar 5 mas.% CSH solu apstrādāts tekstilmateriāls (0.1 M TEOS, termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)

F) Pārklājuma struktūras izmaiņas hidrotermiskās apstrādes rezultātā

Pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla sākas pārklājuma konsolidācijas process pārklājuma virsmas aglomerātiem pakāpeniski saplūstot ar virsmu, līdz ar to palielinās pārklājuma biezums, mainās virsmas struktūra un, iespējams, arī ķīmiskā uzbūve, par ko liecina EDS analīze (3.3.3. apakšnodaļa). Pārklājuma izmaiņas varēja notikt pateicoties tam faktam, ka pie termiskās apstrādes temperatūras, kas zemāka par 200 °C, tiek iegūti amorfi pārklājumi. Kā noskaidrots no literatūras analīzes [1], amorfiem pārklājumiem salīdzinājumā ar kristāliskajiem piemīt daudz mazāka stabilitāte, tāpēc hidrotermiskā apstrāde vārēja izraisīt neatgriezeniskas pārklājuma izmaiņas.

Ja pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla uz pārklājuma virsmas vēl redzami daļēji ar pārklājumu saplūduši aglomerāti (3.32. att., a-d), tad pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem tie ir pilnībā saplūduši ar modificējošo slāni (3.32. att., e-h). Arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem uz virsmas saredzami agregāti, kas izveidojušies no aglomerātu klasteriem (3.32. att., e-h) un liecina par ļoti stipru sasaisti pārklājumā un savukārt, stipru pārklājuma sasaisti ar tekstilmateriālu. Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem mikrofotogrāfijās ir grūti atšķirt termiskās pēcapstrādes parametru ietekmi.



3.32. att. Ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādāto tekstiliju virsmas struktūra Pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla: a-b) termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min., c-d) termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 min. Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem: e-f) termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min., g-h) termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 min.

3.2.3. Tekstiliju paraugu EDS analīzes rezultāti

Enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas (EDS) analīzei pakļauta ar solu pārklāto paraugu atlase, kurā iekļauti varianti, kas nodrošina fizikālo, antimikrobiālo un ekspluatācijas īpašību kompleksu.

Nepārklāta un ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas kokvilnas tekstilijas virsmas EDS uzrādīto ķīmisko elementu vidējais masas procentuālais sastāvs pirms pārklāšanas, pēc pārklāšanas, pēc vienreizēja hidrotermiskās apstrādes cikla un pēc piecdesmit hidrotermiskās apstrādes cikliem parādīts 3.4. tab.

3.4. tabula

Uz kokvilnas tekstilijas virsmas konstatēto ķīmisko elementu vidējā procentuālā masas koncentrācija

Paraugi		Elementi paraugu sastāvā					
CAD koncentrācija, mas. %	Termiskā pēcapstrāde	Masas, %					
		C	O	F	Si	Ca	Zn
Nepārklāts paraugs							
-	-	50,32	49,68	-	-	-	-
Pēc pārklāšanas							
5	120 °C 2 min.	45,32	42,28	4,48	2,60	0,60	4,74
5	90 °C 30 min.	44,67	34,19	6,09	4,04	0,41	10,47
7,5	120 °C 2 min.	47,28	39,29	5,06	1,26	0,34	6,80
7,5	90 °C 30 min.	43,02	39,80	5,40	2,41	0,48	8,90
Pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla							
5	120 °C 2 min.	43,69	44,08	4,41	3,08	0,86	3,89
5	90 °C 30 min.	41,88	40,45	6,06	3,75	0,95	6,93
7,5	120 °C 2 min.	55,96	31,80	3,31	1,71	1,02	6,23
7,5	90 °C 30 min.	57,67	29,07	3,75	1,57	1,25	6,72
Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem							
5	120 °C 2 min.	60,08	34,42	0,52	0,36	3,27	1,30
5	90 °C 30 min.	64,68	29,83	0,22	0,42	3,02	1,84
7,5	120 °C 2 min.	61,33	28,70	2,59	0,58	2,28	4,53
7,5	90 °C 30 min.	62,23	28,00	1,62	0,81	2,30	5,06

Kā redzams no 3.4. tabulā sakopotajiem datiem, tekstilmateriāla virsmu modificējošajā slānī pēc sola procesa konstatēta salīdzinoši līdzīga fluora (F) un cinka (Zn) procentuālā koncentrācija gan pēc modifikācijas ar 5 mas.%, gan 7,5 mas.% CAD solu, kā arī silīcija (Si) klātbūtne. Visi trīs minētie elementi ir sola sastāvā un to klātbūtne nodrošina pārklājuma funkcionālās īpašības. Samērā negaidīta ir konstatētā kalcija (Ca) klātbūtne, kas sola sastāvā nav. Iespējams destilēts ūdens var tikt uzskatīts par piesaistītā Ca avotu. Šo

pieņēmumu apstiprina pakāpenisks Ca procentuālās koncentrācijas palielinājums pēc kārtējā hidrotermiskās apstrādes cikla.

3.5. tabula

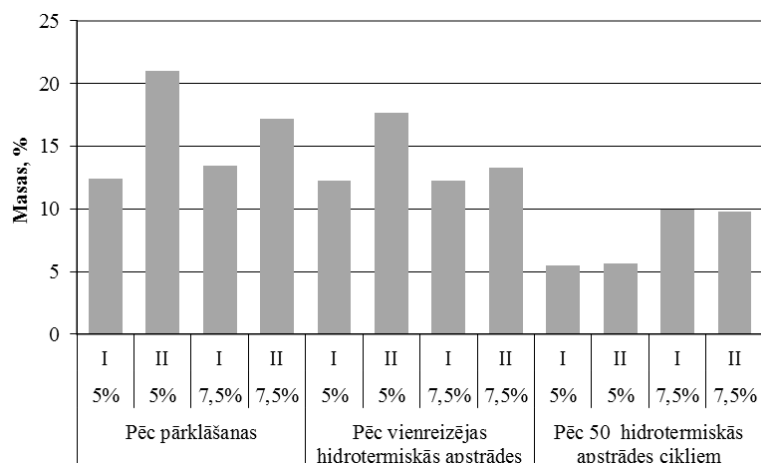
Uz kokvilnas tekstilijas virsmas konstatēto ķīmisko elementu relatīvā procentuālā masas koncentrācija

CAD koncentrācija, mas. %	Termiskā pēcapstrāde	C + O	C/O	F, Si, Ca, Zn	F	Si	Ca	Zn
%		%		%	%	%	%	%
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Pēc pārklāšanas								
5	I *	87,6	1,07	12,4	36,1	20,9	4,8	38,2
5	II**	78,9	1,31	21,0	29,0	19,2	2,0	49,8
7,5	I	86,6	1,20	13,5	37,6	9,4	2,5	50,5
7,5	II	82,8	1,08	17,2	31,4	14,0	2,8	51,8
Pēc hidrotermiskās apstrādes cikla								
5	I	87,8	0,99	12,2	36,0	25,2	7,0	31,8
5	II	82,3	1,04	17,7	34,3	21,2	5,4	39,2
7,5	I	87,8	1,76	12,3	27,0	13,9	8,3	50,8
7,5	II	86,7	1,98	13,3	28,2	11,8	9,4	50,6
Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem								
5	I	94,5	1,75	5,5	9,5	6,6	60,0	23,9
5	II	94,5	2,17	5,7	3,9	6,4	57,9	31,9
7,5	I	90,0	2,14	10,0	26,0	5,8	22,8	45,4
7,5	II	90,3	2,23	9,8	16,5	8,3	23,5	51,7

* Termiskās pēcapstrādes režīms I: 120 °C temperatūrā 2 min.

** Termiskās pēcapstrādes režīms II: 90 °C temperatūrā 30 min.

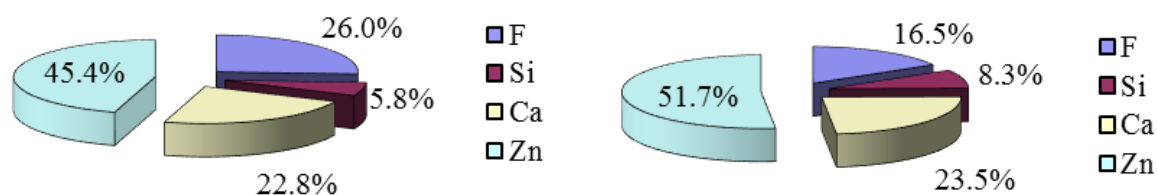
Uz pārklāto tekstilmateriāla šķiedru virsmas konstatēto elementu F, Si, Ca un Zn kopējā procentuālā koncentrācija pēc pārklāšanas un 30 min. ilgstošas termiskās pēcapstrādes 90 °C temperatūrā ir lielāka gan pēc modifikācijas ar 5 mas.%, gan 7,5 mas.% CAD solu (3.5. tab., 3.33. att.); šis pārsvars, gan mazākā mērā, saglabājas arī pēc vienreizējas hidrotermiskās apstrādes, tomēr kļūst vairāk jūtama CAD koncentrācijas ietekme (3.5. tab., 3.33. att.). Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem kopējo kokvilnai svešo elementu procentuālo koncentrāciju nosaka tikai CAD koncentrācija, termiskās pēcapstrādes režīma ietekme ir salīdzinoši niecīga (3.5. tab. un 3.33. att.). Līdztekus jākonstatē, ka sākot jau ar pirmo hidrotermiskās apstrādes ciklu konsolidācijas procesā notiek modificētās virsmas ķīmiska pārstrukturēšanās palielinoties C procentuālajai un samazinoties O procentuālās masas koncentrācijai, bet reizē palielinoties to kopējam īpatsvaram (3.4. un 3.5. tab.).



3.33. att. Kokvilnas tekstilmateriāla virsmu modificējošo elementu procentuālās masas koncentrācijas pēc pārklāšanas un hidrotermiskās apstrādes (Zn, Si, F un Ca)

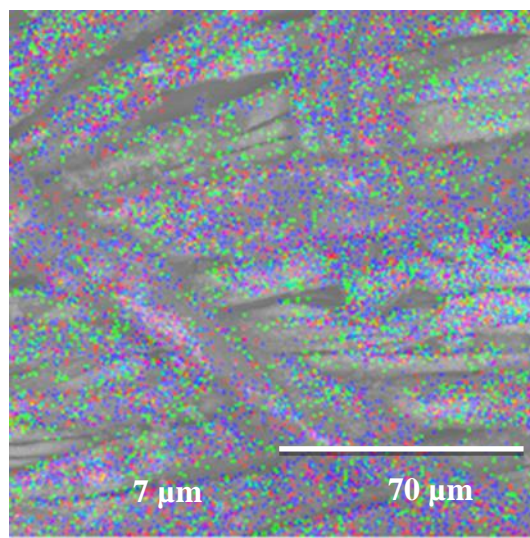
Īpaši jūtams šīs koncentrācijas pieaugums pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem, kad uz ar 5 mas.% CAD solu apstrādātām virsmām neatkarīgi no termiskās pēcapstrādes F, Si, Ca, Zn elementu kopas procentuālā koncentrācija konstatēta tikai nedaudz virs 5 mas.% (3.35. att.).

Izsekojot F, Si, Ca un Zn savstarpējo (relatīvo) masas procentuālo koncentrāciju izmaiņas, redzams, ka pēc hidrotermiskās apstrādes palielinās relatīvā Ca masas procentuālā koncentrācija, pie tam straujāk, ja apstrāde veikta ar 5 mas.% CAD solu un samazinās Si relatīvā koncentrācija (3.5. tab., 7. stab.). Arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem saglabājas salīdzinoši liela Zn relatīvā masas procentuālā koncentrācija, kas nodrošina ļoti labu antimikrobiālu aktivitāti (3.5. nodaļa) un UV aizsardzību (3.6. nodaļa); arī F koncentrācija uz virsmas, kas modificēta ar 7,5 mas.% CAD solu, ir pietiekoši liela, lai nodrošinātu virsmas hidrofobitāti (3.5. tab., 9 un 6. stab., 3.34. att., a un b).



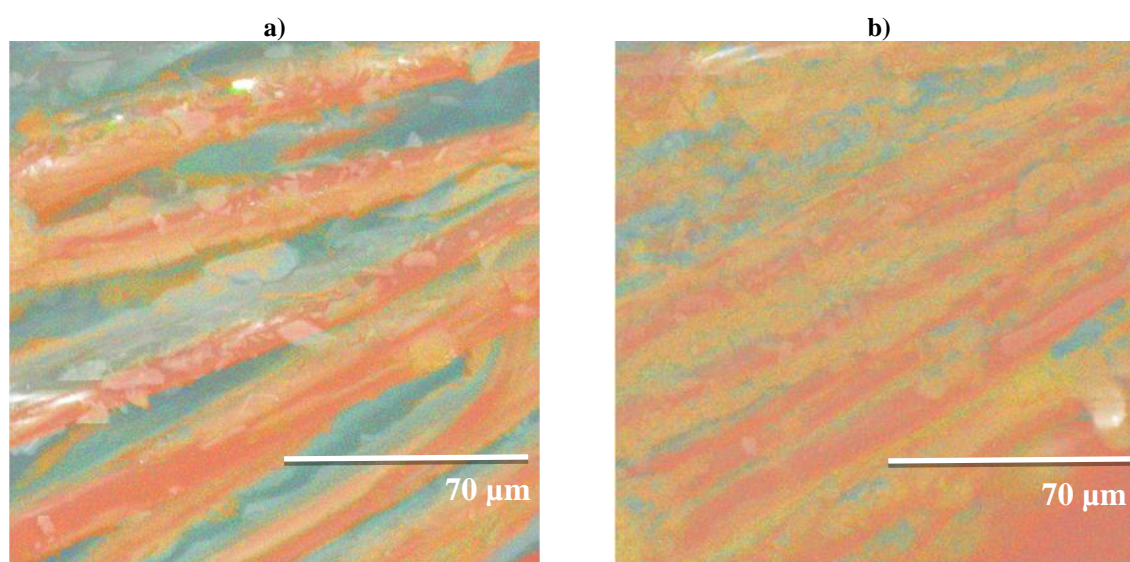
3.34. att. Ķīmisko elementu relatīvās masas procentuālās koncentrācijas uz paraugu virsmas ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sola apstrādi pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem Termiskā pēcapstrāde: a) 120 °C temperatūrā 2 min.; b) 90 °C temperatūrā 30 min.

3.35. attēla mikrofotogrāfijās savukārt redzams, ka modificējošos elementus F, Si un Zn saturošās funkcionālās grupas modificēšanas procesā ir vienmērīgi sadalītas uz šķiedru virsmām pēc apstrādes ar 5 mas.% CAD solu un 30 min ilgstošas termiskās pēcapstrādes 90 °C temperatūrā.



3.35. att. Pārklājuma sastāvdaļu sadalījumus uz tekstilmateriāla šķiedru virsmas: **F, Si, Zn** 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols; termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 min.

Salīdzinot ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādāto tekstiliju F, Si un Zn saturošu funkcionālo grupu sadalījumu uz šķiedru virsmas (3.35. un 3.36., att., b un c) redzams, ka dominē Zn saturošās grupas. Ja ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādātajā virsmā (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min) konstatējama samērā liela F koncentrācija, tad uz virsmas, kas modificēta ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, laukumi, kuros dominē F, ir salīdzinoši mazi, bet pārliecinoši dominē Zn saturošas funkcionālās grupas.



3.36. att. Pārklājuma ķīmisko elementu **F, Si, Zn** sadalījums uz kokvilnas tekstilijas šķiedrām (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)
a) 5 mas.% CAD sols (0.1 M TEOS), b) 7,5 mas.% CAD sols (0.1 M TEOS)

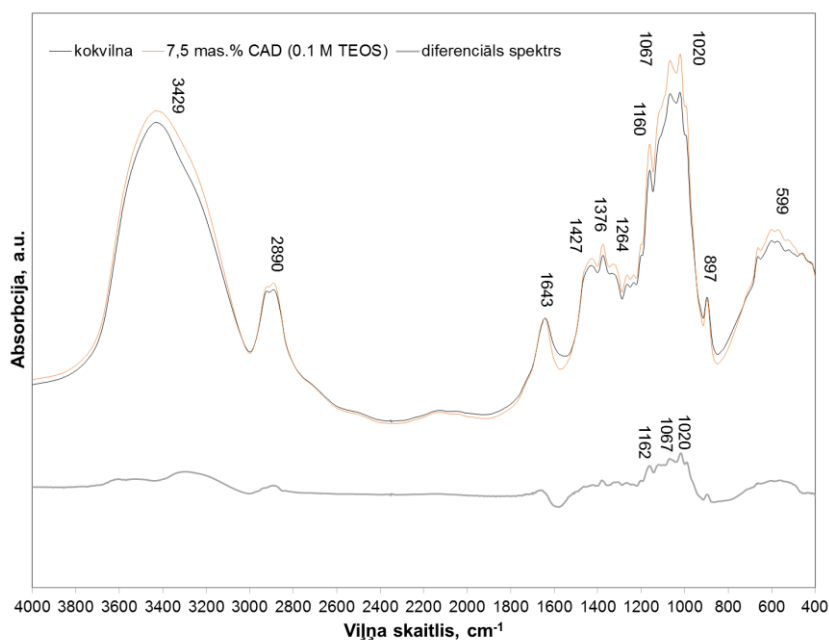
No pārējiem analīzē iegūtajiem datiem konstatēts, ka ar 0.2 M TEOS solu modificētu ar 5 mas.% CAD koncentrāciju apstrādāto paraugu (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 minūtes un 90 °C temperatūrā 30 minūtes) virsmās ir salīdzinoši liela silīcija procentuālā masas koncentrācija (vidēji 7 %), kas 2 reizes pārsniedz ar 0.1 M TEOS solu modificētu ar 5 mas.% CAD koncentrāciju apstrādātas virsmas (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 minūtes un 90 °C temperatūrā 30 minūtes) attiecīgo rādītāju un izskaidro, kāpēc pārklājums ir ievērojami biežāks, ja piemērota 0.2 M TEOS koncentrācija solā.

Savukārt ar 5 mas.% CSH (0.1 M TEOS) solu (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 minūtes un 90 °C temperatūrā 30 minūtes) modificēto virsmu pārklājumos konstatēta sēra (S) vidēji 1,4 mas.% koncentrācija, kas izskaidro CSH sola izraisīto tekstilmateriālu destrukciju.

3.2.4. Modificēto paraugu Furjē transformāciju infrasarkanās spektroskopijas (FTIR) analīze

Neapstrādātā un ar 7,5 mas.% (0.1 M TEOS) modificētā kokvilnas tekstilija galvenās absorbcijas joslas redzamas 3.37. attēlā. Galveno absorbcijas joslu interpretācija:

- 1) plata absorbcijas josla frekvenču diapazonā no 3690 līdz 3000 cm^{-1} ar maksimumu pie 3429 cm^{-1} ir attiecināma uz OH grupu starpmolekulārajām ūdeņraža saitēm [156-158];
- 2) maksimums pie 2890 cm^{-1} ir attiecināms uz C-H un CH_2 valentām svārstībām [159-161],
- 3) maksimums pie 1643 cm^{-1} atbilst absorbētā ūdens OH [162];
- 4) maksimums pie 1427 cm^{-1} ir attiecināms uz celulozes C-H [6] vai CH_2 [163, 164];
- 5) maksimumam pie 1376 cm^{-1} atbilst celulozes C-H deformācijas svārstības [161, 164];
- 6) maksimums 1264 cm^{-1} atbilst celulozes OH deformācijas svārstībām un C-O valentās svārstības raksturo absorbcijas maksimumi pie 1160, 1067 un 1020 cm^{-1} [161, 164, 165], kā arī, iespējams, Si-O pie 1020 cm^{-1} [166-168] un Si-O-(Si) pie 1162, 1160 un 1067 cm^{-1} [164];
- 7) maksimums 897 cm^{-1} atbilst C-O-C saitēm glikozīda savienojumos [169];
- 8) 599 cm^{-1} ir attiecināms uz saitēm C-C-C [170].



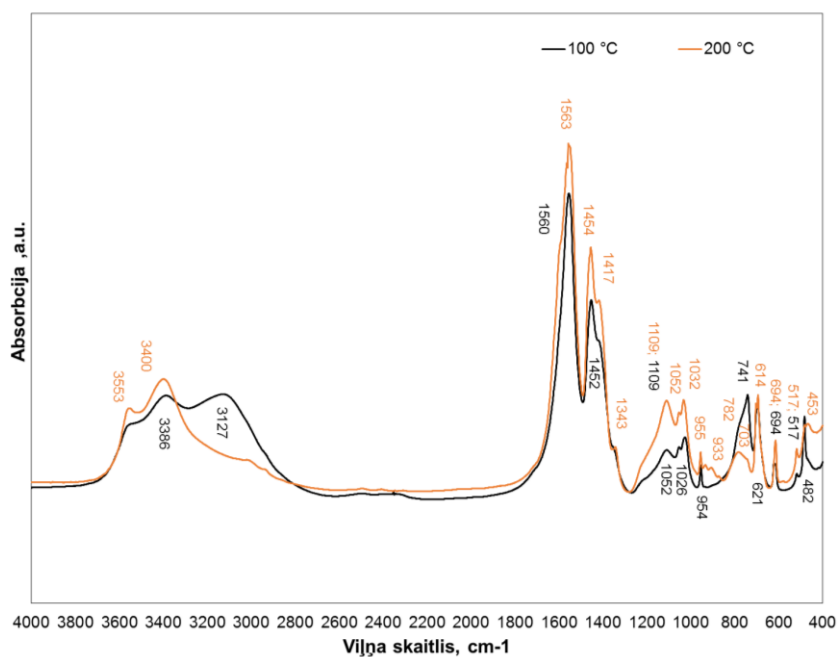
3.37. att. FTIR spektroskopija

Analizējot 3.37. att. grafikus var redzēt, ka atšķirības starp neapstrādātas kokvilnas un ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādātas kokvilnas spektriem ir grūti nolasāmas, ko var izskaidrot ar to, ka uznestais pārklājums ir plāns un modificējošās funkcionālas grupas sastāda vidēji 16% no modificētās tekstilijas virsmas ķīmiskiem elementiem (EDS dati 3.2.3. apakšnodaļā). Tāpēc tika aprēķināts diferenciālais spektrs (3.37.att.), kas apstiprina Si savienojumu klātbūtni ar absorbcijas maksimumiem pie 1162, 1067 un 1020 cm^{-1} [164, 166-168, 171].

Pie 100 un 200 °C temperatūras iztvaicētu un pulveros sasmalcinātu solu ķīmisko funkcionālo grupu absorbcijas joslas parādītas 3.39. att. Galveno absorbcijas joslu interpretācija:

- 1) absorbcijas maksimumi pie frekvencēm 3553, 3400 un 3386 cm^{-1} ir attiecināmi uz OH grupu svārstībām [156-158];
- 2) maksimums pie 3127 cm^{-1} ir attiecināms uz OH ūdeņraža saites un, iespējams, daļēji uz C-H valentām svārstībām [156, 172];
- 3) asimetriskas un simetriskas acetāta COO- grupas svārstības vērojamas pie frekvencēm 1563, 1560 un 1417 cm^{-1} [161];
- 4) maksimumi pie 1454, 1452, 1417 cm^{-1} atbilst cinka acetātam [173];
- 5) maksimums pie 1343 cm^{-1} atbilst CH_2 [174];
- 6) maksimums pie 1109 cm^{-1} ir attiecināms uz C-H [175];

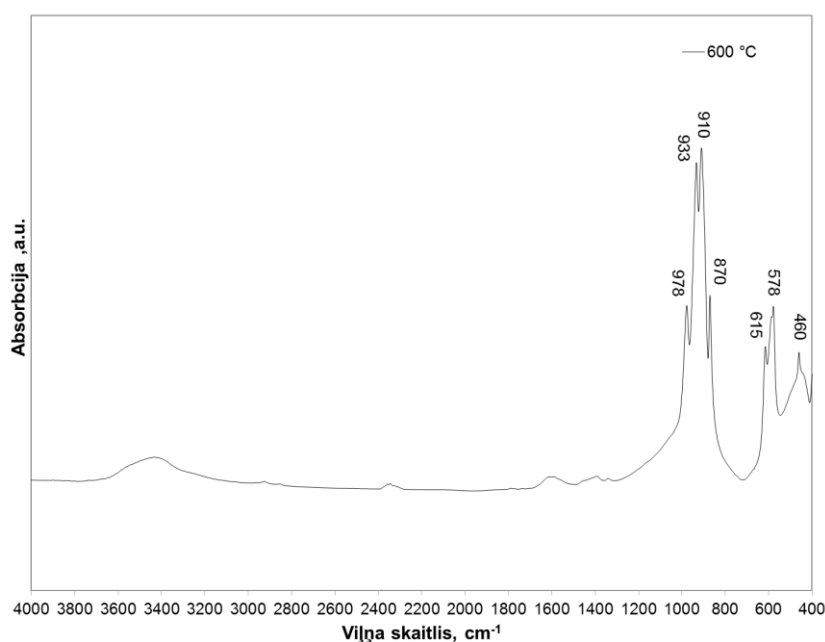
- 7) $1052\text{-}933\text{ cm}^{-1}$, iespējams, attiecas uz asimetriskām un simetriskām Si-O valentām svārstībām [161], maksimums pie 1052 cm^{-1} var būt attiecināms uz Si-O-Si valentām svārstībām [176];
- 8) $782, 741, 703, 694, 621$ un 614 cm^{-1} atbilst Si-O svārstībām [177];
- 9) 517 cm^{-1} , iespējams, atbilst Zn-O saitei [178];
- 10) 453 [2] un 482 cm^{-1} , iespējams, atbilst Zn-O saitēm [178].



3.39. att. 7,5 mas.% CAD (0.1MTEOS) sola FTIR spektrogrammas

Pie 600 °C temperatūras iztvaicētu un pulverī sasmalcinātu solu ķīmisko funkcionālo grupu absorbcijas joslas parādītas 3.40. att Galveno absorbcijas joslu interpretācija:

- 1) 978 cm^{-1} atbilst Si-O saites valentās svārstības SiO_4 grupā [179, 180];
- 2) $933, 910, 870\text{ cm}^{-1}$ ir SiO_4 grupas svārstības [180];
- 3) 615 cm^{-1} identificējamās kā Zn-O [14] vai SiO_4 [180];
- 4) 578 cm^{-1} identificējamās kā ZnO_4 simetriskās valentās svārstības [177] vai ZnO [181], vai SiO_4 [180];
- 5) 460 cm^{-1} ir Si-O-Si saite [182] un, iespējams, ir attiecināms uz Zn-O valentām svārstībām ZnO [180, 181].



3.40. att. FTIR spektroskopija

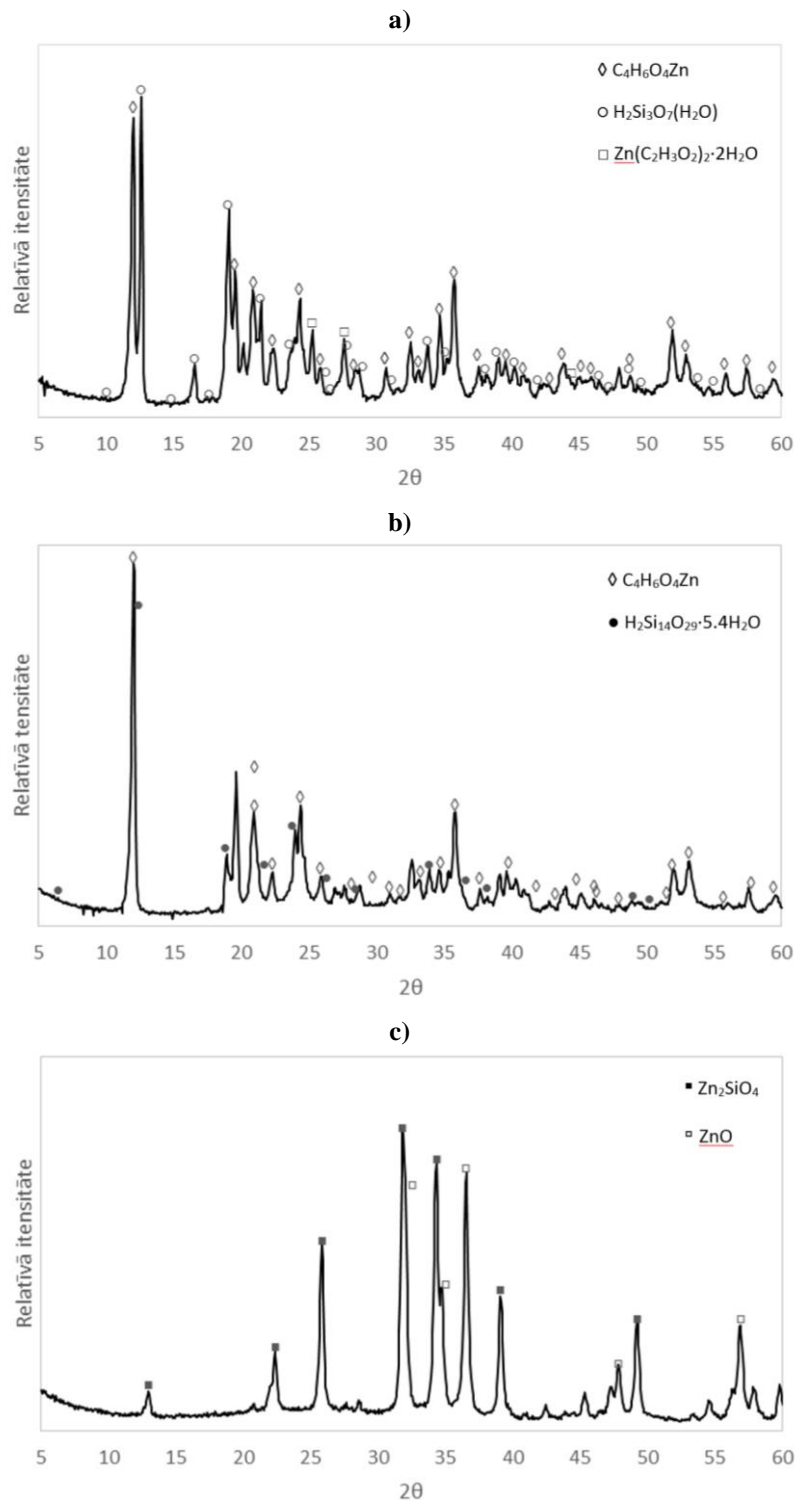
Kopumā no iegūtajiem datiem var secināt, ka izmantojot sola-gēla metodi ar darba ietvaros piemērotajiem termiskās pēcapstrādes režīmiem robežās no 90 °C līdz 200 °C, iespējams, notiek daļēja cinka acetāta dihidrāta sadalīšanās un bāzisku cinka savienojumu veidošanās. Funkcionālā pārklājuma sastāvā galvenokārt ir cinka acetāts⁴ un, iespējams, nešķīstoši cinka bāziskie savienojumi vai cinka oksīds amorfā fāzē. FTIR analīze apstiprina Si savienojumu klātbūtni iegūtajā materiālā. Atšķirībā no EDS datiem (3.2.3 apakšnodaļa), fluora savienojumu klātbūtne apstrādātajos kokvilnas paraugos un iztvaicētajos sola pulveros (100 un 200 °C) ar FTIR ir grūti identificēt. Lai noteiktu paraugu precīzu ķīmisko sastāvu nepieciešami turpmāki padziļināti pētījumi.

3.2.5. Modificēto paraugu rentgenstaru difrakcijas (XRD) analīze

Rentgenstaru difrakcijas analīzei pakļauti neapstrādāta un ar 7,5 mas.% CAD (0.1MTEOS) solu apstrādāta kokvilnas tekstilija un sola pulveri iztvaicēti pie temperatūrām: 100, 200, 300, 400, 500 un 600 °C.

Nācās konstatēt, ka neapstrādātas un apstrādātas kokvilnas paraugu atšķirības ar XRD nav identificējamas, ko var izskaidrot ar to, ka uznestais pārklājums ir plāns un modificējošie funkcionālo grupu ķīmiskie elementi sastāda vidēji 16% no modificētas tekstilijas (EDS dati 3.2.3. apakšnodaļā).

⁴ Izmanto medicīnā un kosmētikā – losjonus un krēmos aknes ārstēšanai [182, 183]



3.41. att. Solu pulveru rentgenogrammas

a) 100 °C; b) 200 °C un c) 600 °C

No XRD analīzē iegūtajām rentgenogrammām redzams, ka ZnO kristāliskajā fāzē parādās sākot ar apstrādes temperatūru 300 °C, temperatūras robežās no 300 līdz 500 °C ir iegūts arī SiO₂, sākot ar 400 °C veidojas arī villemīts - Zn₂(SiO₄). Pie zemākām temperatūrām - 100 un 200 °C - notiek daļēja cinka acetāta dihidrāta sadalīšanās, no 3.41. att. a un b


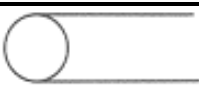
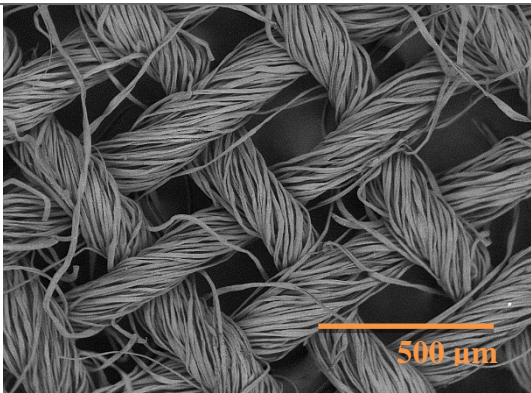
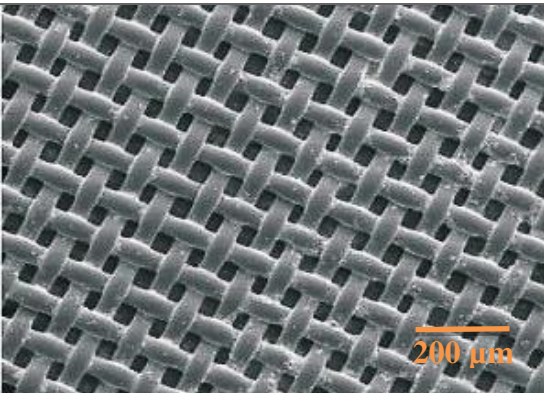
grafikiem redzams, ka funkcionālā pārklājuma sastāvā galvenokārt ir cinka acetāts ($C_4H_6O_4Zn$), silīcija savienojumi: $H_2Si_3O_7(H_2O)$ un $H_2Si_{14}O_{29} \cdot 5.4H_2O$ un, iespējams, nešķīstoši cinka bāziskie savienojumi amorfā fāzē. Līdzīgi FTIR analīzei, fluora savienojumu klātbūtne apstrādātajos kokvilnas paraugos un pulveros (iztvaicēti pie 100 un 200 °C) ar XRD ir grūti identificējama. Lai noteiktu paraugu precīzu sastāvu nepieciešami turpmāki padziļināti pētījumi. Jāatzīmē, ka iegūti dati korelē ar FTIR analīzē iegūtiem rezultātiem.

3.2.6. Modificēto tekstiliju virsmas topogrāfija (ASM)

Lai varētu salīdzināt dažādu CAD koncentrāciju solu ietekmi uz pārklājumu, kā arī rast skaidrojumu atšķirīgām modificētu tekstiliju virsmu īpašībām, izpētei ar atomspēka mikroskopu (ASM) pakļauti modificētie paraugi (no 2,5 mas.% līdz 10 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols) piemērojot darba ietvaros noteiktos optimālos termiskās apstrādes režīmus. Lai būtu iespējams veikt ASM analīzi, apstrādei ar dažāda sastāva soliem un turpmākai ASM analīzei pakļautas poliamīda (neilona) tekstilijas (2.10. tab., Nr. 7), kas atšķirībā no kokvilnas (3.6. tab.) veidotas no monolītiem, cilindriskiem vienāda diametra pavedieniem (3.6. tab), tā kā liels šķiedru skaits traucē ASM analīzi. Iegūtie 3.40. – 3.44. attēli ilustrē nepārklāto un pārklāto paraugu virsmas topogrāfijas, kas liecina, ka virsmas struktūra mainās atkarībā no CAD koncentrācijas solā.

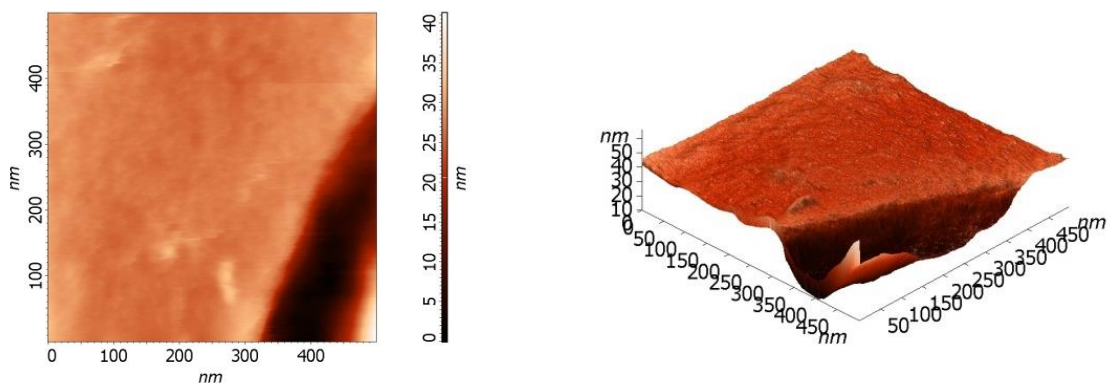
3.6. tabula

Kokvilnas un poliamīda tekstiliju struktūra

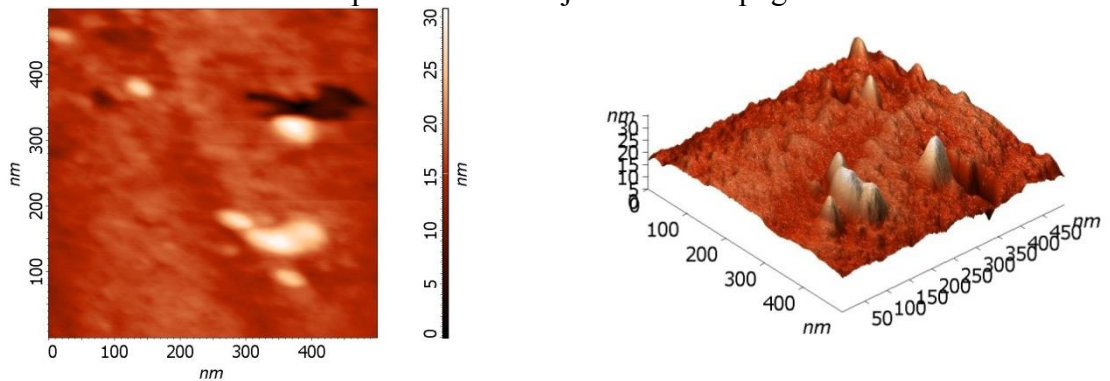
Kokvilna	Nelons, jeb poliamīds
	
Plakanā, ovālveida, savītā*	Apaļveidā, veināda diametrā*
	

* - [185]

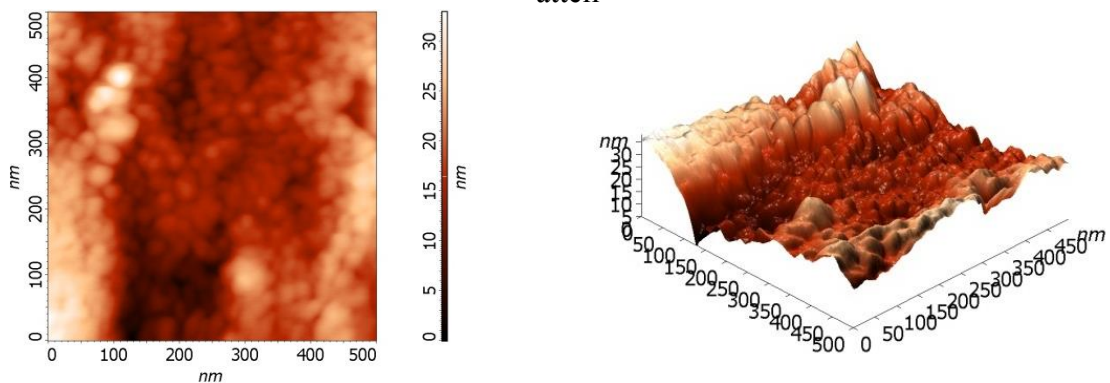
Nemodificēta parauga pavediena virsmas topogrāfiskajā attēlā redzams, ka tā ir samērā gluda ar nelieliem mikrodefektiem (3.42. att.). Pēc parauga apstrādes ar 2,5 mas. % CAD (0.1 M TEOS) solu palielinājies parauga virsmas raupjums, kā arī sastopami atsevišķi aglomerētu daļiņu kompleksi (3.43. att.). Ar 5 mas. % CAD (0.1 M TEOS) solu iegūts pārklājums, ko veido sfēriskas un elipses formas daļiņas ar vidējo diametru 20 - 30 nm (3.44. att.), pēc apstrādes ar 7,5 mas. % CAD (0.1 M TEOS) solu vidējais daļiņu diametrs palielinās līdz 30 -40 nm, kā arī vērojama nanodaļiņu aglomerācija mazākos un lielākos kompleksos ar izmeru virs 50 nm (3.45. att.). Palielinot CAD koncentrāciju līdz 10 mas. %, notiek izteikta daļiņu aglomerācija (3.46. att.).



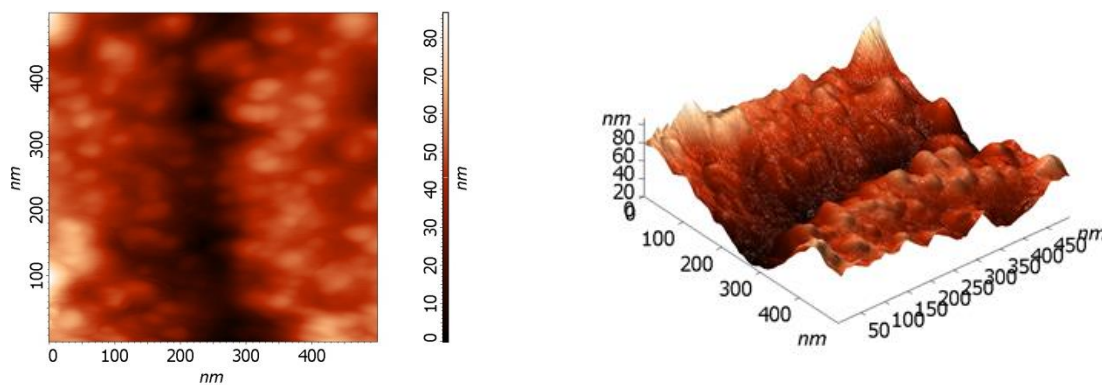
3.42. att. Neapstrādāta tekstilijas virsmas topogrāfiskie attēli



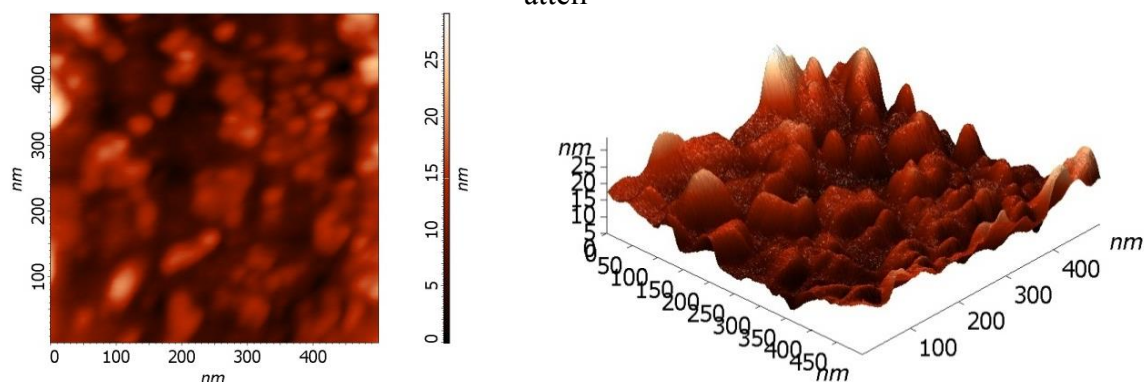
3.43. att. Ar 2,5 mas. % CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas tekstilijas virsmas topogrāfiskie attēli



3.44. att. Ar 5 mas. % CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas tekstilijas virsmas topogrāfiskie attēli



3.45. att. Ar 7,5 mas. % CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas tekstilijas virsmas topogrāfiskie attēli



3.46. att. Ar 10 mas. % CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas tekstilijas virsmas topogrāfiskie attēli

ASM attēli ļauj secināt, ka ar solu iegūto modificējošo tekstilijas virsmas pārklājumu veido sfēriskas un eliptiskas nanodaļiņas, kas ir samērā vienmērīgi sadalītas uz pavedienu virsmas, ja CAD koncentrācija ir robežās no 5 mas.% līdz 7,5 mas.%; CAD koncentrācijai samazinoties zem 5 mas.%, uz paraugu virsmas vietām parādās modificējošo daļiņu aglomerāti vai palielinoties virs 7,5 mas.% parādās izteikti modificējošo daļiņu aglomerāti, kas noklāj virsmu gandrīz pilnībā.

3.3. Modificējošā pārklājuma adhēzija ar tekstilijas virsmu un nodilumizturība

Tekstilmateriāli visvairāk dilst berzes ietekmē, jo tiek sagrauta šķiedru struktūra, zūd atsevišķu šķiedru sasaiste pavedienā līdz pat šķiedru izkrišanai no materiāla struktūras. Nodilumizturības testos var pārbaudīt arī uznesto pārklājumu adhēziju ar tekstiliju veidojošo šķiedru virsmu un to noturību ekspluatācijā.

A) Termiskās iztvaicēšanas procesā modificētu kokvilnas tekstiliju pārklājuma adhēzija

Berzei pakļautu termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklātu tekstiliju paraugu vizuālā izskata izmaiņas novērtētas pēc katriem 100 berzēšanas cikliem. Neatkarīgi no

eksperimentālo tekstilmateriālu veida (2.10. tab., Nr. 1 - 5, 9 – 11) visi paraugi, kas pakļauti no vienas līdz trim sekundēm ilgstošai apstrādei termiskās iztvaicēšanas procesā, līdz vizuāli konstatējamiem virsmas defektiem iztur ne mazāk kā 3000 sausās berzes ciklus (3.7. tab.). Pārklājuma nodilumizturība berzē pieaug palielinoties ekspozīcijas laikam, līdz ar to arī pārklājuma biezumam, bet reizē ar pārklājuma biezumu palielinās arī tā nevienmērība: ja 1 s ilgstošā ekspozīcija iegūtam 60 nm biežam pārklājumam atbilstošā amplitūda ir 100 cikli, tad palielinot ekspozīcijas laiku līdz 3 s, kas palielina vara pārklājumu biezumu līdz 180 nm, amplitūda pieaug līdz 500 cikliem (3.7. tab.).

3.7. tabula

Berzes ciklu skaits līdz vizuāli fiksējamām izmaiņām virsmas pārklājumā

	Termiskās iztvaicēšanas laiks, s		
	1	2	3
Bez priekšapstrādes	3000 - 3100	3200 - 3600	3400-3900
Priekšapstrāde plazmas vidē, 30 s	600 - 900	900 - 1100	900 – 1100

Pakļaujot paraugus pirms pārklāšanas 30 s ilgstošai virsmas attīrīšanai ar zema spiediena gaisa plazmu, vara pārklājuma sasaiste ar auduma virsmu kļūst ievērojami vājāka, par ko liecina priekšapstrādei pakļauto paraugu ievērojams nodilumizturības kritums (3.7. tab) - paraugi ar plazmas priekšapstrādi neatkarīgi no vara uznešanas laika iztur no 3 līdz 5 reizes mazāku berzes ciklu skaitu.

Tā kā līdzīga aina vērojama modificēto paraugu ar plazmas priekšapstrādi nodilumizturības testos pēc hidrotermiskās apstrādes (3.2.1. apakšnodaļa), jāsecina, ka nav mērķtiecīgi iekļaut zema spiediena gaisa plazmas priekšapstrādi dabisko tekstiliju vakuuma termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiskajā secībā.

B) Magnetrona izputināšanas procesā modificētu kokvilnas tekstiliju pārklājuma adhēzija

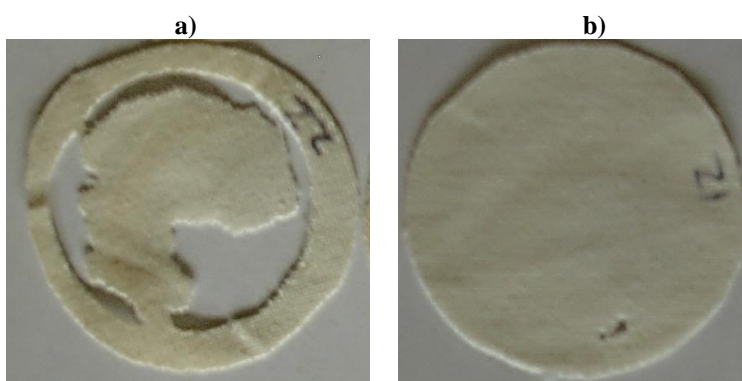
Novērtējot magnetrona izputināšanas procesā pārklāto paraugu nodilumizturību līdz vizuāli fiksējamiem virsmas defektiem pēc katriem 100 berzēšanas cikliem konstatēts, ka neatkarīgi no tekstilmateriāla veida (2.10. tab., Nr. 1 - 5, 9 – 11), ja vara pārklājuma biezums ir 60 nm (viena parauga ekspozīcijas laiks 3 s), paraugi iztur 2000 – 2200 berzes ciklus; ja vara pārklājuma biezums ir 90 nm (viena parauga ekspozīcijas laiks ir 4,5 s), paraugi iztur 2300 – 2700 berzes ciklus, ar 120 nm (viena parauga ekspozīcijas laiks 6 s) biezu pārklājumu - 2700 līdz 3100 ciklus un ar 180 nm (viena parauga ekspozīcijas laiks 9 s) biezu pārklājumu – no 3300 līdz 3500 berzes cikliem, kas salīdzinoši ir mazāk nekā termiskās

iztvaicēšanas procesā pārklāto paraugu nodilumizturība, īpaši, ja apstrāde nav pietiekoši ilgstoša (apstrādes laiku ierobežo destrukcijas sliekšnis). Izputināšanas apstrādes cikls 120 s vai 9 s ilgstoša ekspozīcija uz vienu paraugu nodrošina praktiski līdzvērtīgu, bet stabilāku vara pārklājuma adhēziju, tā kā palielinās pārklājuma biezums un vara daudzums uz tekstilmateriālu virsmas.

Iegūtie testu rezultāti rāda, ka ar termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas tehnoloģijām iegūto vara pārklājumu adhēzija ir samērā vāja un ar to jāreķinās nosakot atbilstošas lietojumu jomas. Bez tam mikrobioloģiskie pētījumi liecina, ka vara pārklājums mikroorganismu nomākšanas laikā zūd no tekstilijas virsmas. Tas nozīmē, ka ar varu pārklāto tekstiliju niša ir vienreizēji lietojamos medicīnas izstrādājumos ar antimikrobiālu aktivitāti.

C) Ar solu modificētu kokvilnas tekstiliju nodilumizturība

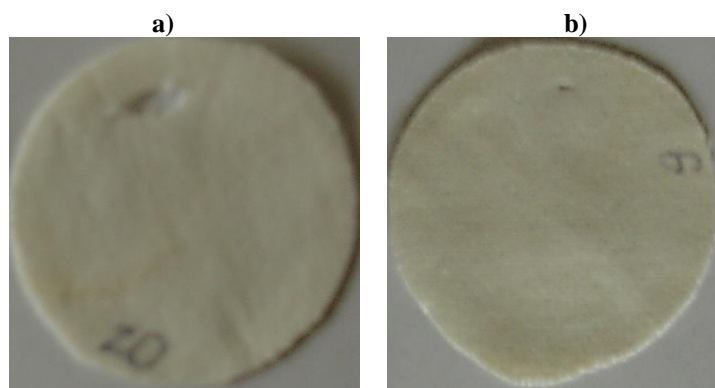
Ar CSH solu apstrādātu eksperimentālo tekstiliju virsmu destrukcija sākas jau pēc pirmajiem 100 berzes cikliem (3.47. att., a) neatkarīgi no CSH koncentrācijas solā. Nedaudz labāku nodilumizturību uzrāda paraugi ar salīdzinoši zemu termiskās pēcapstrādes temperatūru: paraugu, kas pakļauti 2 min. ilgstošai termiskai pēcapstrādei 100 °C temperatūrā, virsmas pārklājumu bojājumi parādās vēlāk - pēc 300 līdz 500 berzes cikliem (3.47. att., b), kas liecina par to, ka apstrāde ar CSH solu izraisa kokvilnas tekstilijas destrukciju, līdz ar to par CSH neatbilstību celulozes bāzes tekstiliju virsmu modifikācijai darba ietvaros izskatītajos sola sastāvos, rezultāti korelē ar iegūto informāciju no SEM attēliem (3.2.2. apakšnodaļa).



3.47. att. Ar 5 mas.% CSH (0.1 M TEOS) solu modificētu tekstiliju nodilums
a) termiskā pēcapstrāde 140 °C temperatūra 2 min. (100 berzes cikli) un b) termiskā pēcapstrāde 100 °C temperatūrā 2 min. (400-500 berzes cikli)

Tā kā neapstrādātas tekstilijas nodiluma pazīmes (saskaņā ar standartu - 3 sabrukuši diegi) ir vizuāli konstatējamas pēc 44000 līdz 48000 berzes cikliem, ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD solu modificētu paraugu nodiluma vērtēšana saskaņā ar standartu (aprakstīts 2.6.

apakšnodaļā) veikta pēc katriem 4000 berzes cikliem. Iegūti rezultāti rāda, ka pie abām eksperimenta CAD koncentrācijām virsmas nodilums fiksēts pēc 40000 līdz 44000 cikliem paraugiem, kas pakļauti 2 min. ilgstošai termiskai pēcapstrādei pie temperatūras 140 līdz 160 °C (3.48. att., a). Modificēto virsmu nodilumizturība ievērojami palielinās, ja termiskās pēcapstrādes temperatūras ir zemākas: divas min. ilgstoša apstrāde pie temperatūras robežās no 100 līdz 120 °C vai 30 līdz 60 min. ilgstoša apstrāde 90 °C temperatūrā nodrošina bezdefektu virsmas robežās no 52000 līdz 56000 cikliem (3.48. att., b), kas liecina par to, ka pie noteiktiem termiskās pēcapstrādes režīmiem paraugu apstrāde ar CAD solu uzlabo kokvilnas tekstilmateriāla nodilumizturību.



3.48. att. Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētu tekstiliju nodilums
a) termiskā pēcapstrāde 140 °C temperatūrā 2 min. (40000-44000 berzes cikli) un b) termiskā pēcapstrāde 100 °C temperatūrā 2 min. (52000-56000 berzes cikli)

Nodilumizturības testi berzē liecina, ka kokvilnas tekstiliju priekšapstrāde pirms pārklāšanas ar varu zema spiediena plazmas vidē pazemina sekojošo termiskās iztvaicēšanas procesa efektivitāti, ievērojami pasliktinot pārklājuma sasaisti ar tekstilijas virsmu.

Termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesā modificēto kokvilnas tekstiliju pārklājumu noturība pret berzi ir salīdzinoši zema, līdz ar to modificētās tekstilijas piemērotas vienreizēja lietojuma izstrādājumos kā aktīvas komponente antimikrobiālo efektu nodrošināšanai.

Ar CSH solu modificēto tekstiliju nodilumizturība ir pārāk zema, lai to lietotu darba ietvaros sintezētajos sola sastāvos celulozes bāzes tekstiliju modifikācijai.

Kokvilnas tekstiliju virsmas apstrāde ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu neietekmē vai pat uzlabo tekstilmateriālu nodilumizturību; nodilumizturības pakāpe regulējama mainot termiskās pēcapstrādes temperatūru vai arī palielinot pēcapstrādes laiku un reizē radot iespēju pazemināt pēcapstrādes temperatūru.

3.4. Modificētu kokvilnas tekstiliju antimikrobiālās īpašības

Pie antimikrobiālām tekstilijām pieskata šķiedru materiālus, kas apstrādāti ar līdzekļiem, kas nogalina vai kavē mikroorganismu (baktēriju, mikroskopisko sēņu un raugu) augšanu [186, 187].

3.4.1. Patogēnie mikroorganismi

Eksperimentālo tekstilmateriālu paraugu antimikrobiālā aktivitāte noteikta pret tādiem sertificētiem patogēniem mikroorganismiem kā: grampozitīvā baktērija *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, gramnegatīvā baktērija *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145, gramnegatīvā baktērija *Escherichia coli* ATCC 25922, mikroskopiskā sēnīte *Candida albicans* ATCC 60193. Grampozitīvo organismu šūnas sieniņa ir daudz biezāka par gramnegatīvo, tā satur peptidoglikānu un teihoskābes, gramnegatīvo šūnu sieniņa ir plānāka un satur vairāk dažādu komponentu ieskaitot toksīnus [188].

Testa kultūru koncentrācijas varianti:

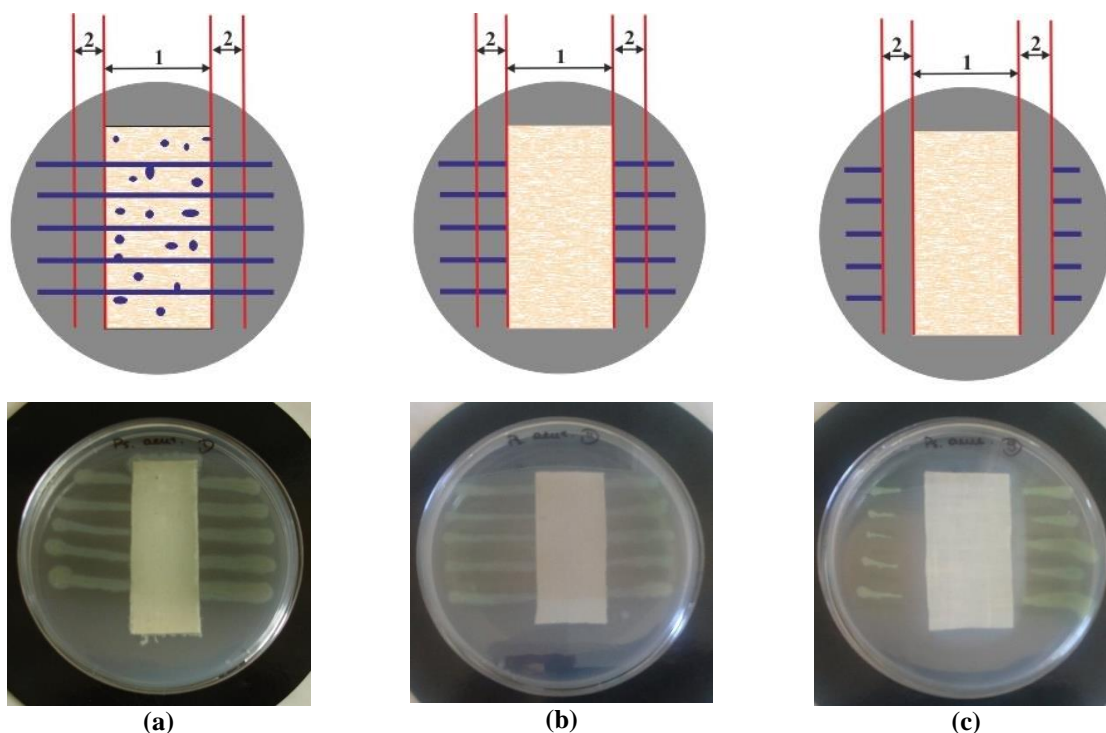
- kultūru maksimālā koncentrācija (kultūru buljons) *S. aureus* ATCC 25923 $4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹, *P. aeruginosa* ATCC 10145 $3,9 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹, *E. coli* ATCC 25922 $7,1 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹, *C. albicans* ATCC 60193 $8,2 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹,
- ar sāls peptona šķīdumu atšķaidītas testa kultūras 10 reizes samazinātā koncentrācijā *S. aureus* ATCC 25923 $4,3 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹, *P. aeruginosa* ATCC 10145 $3,9 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹, *E. coli* ATCC 25922 $7,1 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹, *C. albicans* ATCC 60193 $8,2 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹.
- testos izmantoti medicīnas praksē biežāk veselības problēmas izsaucošie patogēni. *Staphylococcus aureus* ir cilvēka patogēns, kas pateicoties tā virulences faktoriem spēj nokļūt organisma sterilajās vidēs un izsaukt smagas hospitālas (nozokomiālās) un sabiedriskās vidēs iegūtas infekcijas [189], izraisa nozokomiālās infekcijas saistītas ar asinsvadu katetriem, ko galvenokārt izraisa mikroorganismi, kas atrodas uz ādas ap katetra lūmenu [190], kā arī ir biežāk sastopams aerobs mikroorganisms pacientiem ar brūču infekcijām, sastrutojumiem un iekaisumiem [191].

Pseudomonas aeruginosa ir praktiskajā medicīnā plaši pazīstams mikroorganisms, kas atrodas gan ārvides objektos, gan slimnīcu iekšvidē, gan atsevišķu cilvēku mikroflorā; tas uzrāda lielu aktivitāti dažādu implantu kolonizēšanā, rada paaugstinātu hospitālo (nozokomiālo) infekciju risku; ir strutojošu brūču infekciju izraisītājs [190, 192].

Escherichia coli var izraisīt urīnceļu un kuņģa-zarnu trakta infekcijas, brūču infekcijas un hospitālas (nozokomiālās) infekcijas [191].

Candida albicans - izraisa hospitālas (nozokomiālās) infekcijas [190].

Antimikrobiālo iedarbību novērtē (3.49. att.): 1) ja apkārt paraugam redzama inhibīcijas, jeb nomākuma (tīra) zona (3.49. att., c) paraugam piemīt ļoti laba antimikrobiālā iedarbība; 2) ja nav inhibīcijas zonas, bet nav arī novērota mikroorganismu augšana zem parauga, tam piemīt antimikrobiālā iedarbība (3.49. att., b); 3) ja zem parauga ir novērota mikroorganismu augšana (3.49. att., a), tam nepiemīt antimikrobiālā iedarbība (2.7.1. apakšnodaļa).



3.49. att. Paralelo svītru metodes antimikrobiālās iedarbības novērtējuma shēmas un tām atbilstoša paraugu reakcija

a - paraugs apaudzis ar testa mikroorganismiem, inhibīcijas zonas nav, b - nav novērota testa mikroorganismu augšana zem parauga, inhibīcijas zonas nav, c - nav novērota mikroorganismu augšanas zem parauga, ir redzama un izmērāma inhibīcijas zona

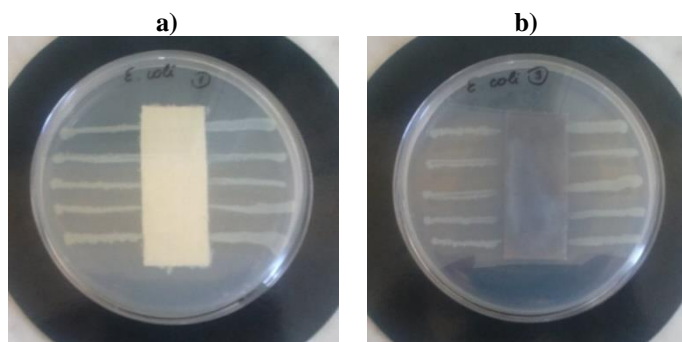
A) Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas procesā pārklāto paraugu antimikrobiālās aktivitāte

3.45. attēlā ilustrēti ar vara pārklājumu modificēto kokvilnas tekstiliju antimikrobiālo testu rezultāti, kas iegūti pakļaujot paraugus augšminēto testa kultūru iedarbībai. Zem un apkārt nepārklātajiem paraugiem pēc inkubācijas novērota visu testos izmantoto kultūru augšana, kas liecina par to, ka nepārklātajiem paraugiem nepiemīt antimikrobiāla iedarbība (3.50. att., a).

Pie maksimālām kultūru koncentrācijām paraugiem ar vara uznešanas laiku 2 s un pārklājumu biezumu 120 nm arī novērota kultūru augšana zem paraugiem, tātad tiem nepiemīt

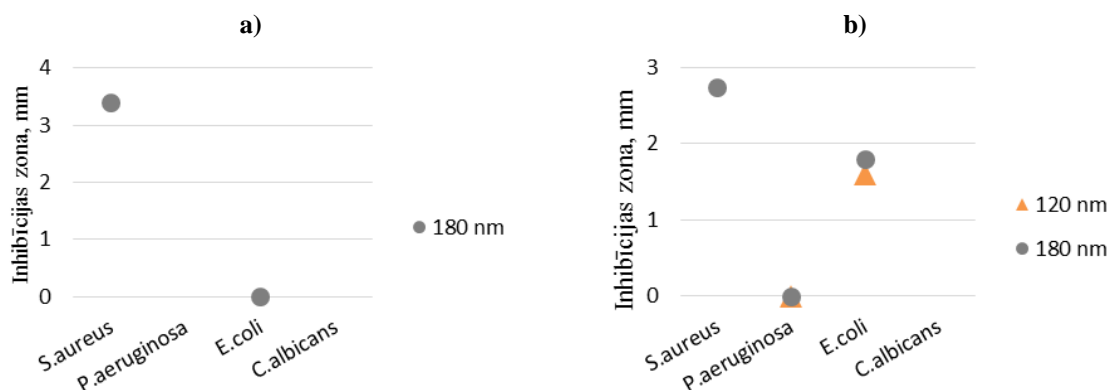
antimikrobiālā iedarbība vai tā ir nepietiekoša, lai nomāktu mikroorganismu augšanu testētajā koncentrācijā.

Salīdzinot *E.coli* ATCC 2592 iedarbībai pakļautu termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklātu paraugu reakciju ar parauga reakciju bez pārklājuma (3.50. att., a) redzams, ka apkārt pārklātajam paraugam ir inhibīcijas zona (3.50. att., b), bez tam konstatēti vara zudumi no tekstilijas virsmas (3.50. att., b).



3.50. att. Mikroorganisma *E. coli* ATCC 2592 iedarbībai pakļauta metālpārklāta parauga vizuāli novērtējamās izmaiņas
a) nepārklāts paraugs, b) termiskās iztvaicēšanas procesā pārklāts paraugs vara pārklājuma biezums 180 nm, vara uznešanas laiks 3 s

Pieaugot iztvaicēšanas laikam antimikrobiālā aktivitāte uzlabojas, jo līdz ar uznešanas laiku palielinās vara pārklājuma biezums, arī vara daudzums uz tekstilijas virsmas. Lielākā antimikrobiālā vara pārklājuma aktivitāte konstatēta pret *S. aureus* ATCC 25923 un *E. coli* ATCC 25922 pie abām koncentrācijām (3.51. att., a un b), bet samazinot kultūru koncentrāciju netika novērota arī *P. aeruginosa* ATCC 10145 baktērijas augšana zem paraugiem (3.51. att., b), kas saskaņā ar ATCC 147-2004 standartu liecina par paraugiem piemītošu antimikrobiālu iedarbību (aprakstīts 2.7.1. apakšnodaļā).



3.51. att. Inhibīcijas zonas

a) maksimālā mikroorganismu koncentrācija, b) 10 reizes samazināta mikroorganismu koncentrācija. 0 - apkārt paraugiem nav inhibīcijas zonas, zem parauga nav novērota testa mikroorganismu kultūru koloniju augšana, paraugam piemīt antimikrobiālā iedarbība

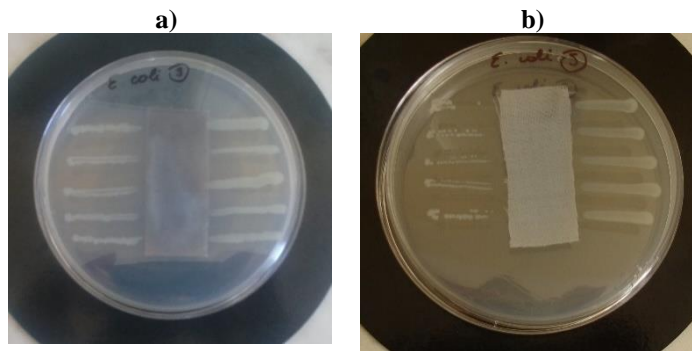
3.46. attēlā grafiki rāda, ka termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklāti paraugi nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret *S. aureus* ATCC 25923 un *E. coli* ATCC 25922, ja vara uznešanas laiks ir 3 sekundes, pārklājuma biezums 180 nm un piemērotas maksimālās patogēnu koncentrācijas; pret *S. aureus* ATCC 25923, *P. aeruginosa* ATCC 10145 un *E. coli* ATCC 25922, ja vara uznešanas laiks ir 3 sekundes vara biezums 180 nm un piemērota 10 reizes samazināta patogēnu koncentrācija; pret *P. aeruginosa* ATCC 10145 un *E. coli* ATCC 25922, ja vara uznešanas laiks ir 2 sekundes un pārklājuma biezums 120 nm un piemērota 10 reizes samazināta patogēnu koncentrācija (3.51. att., b). Savukārt kultūras *C. albicans* ATCC 60193 mikroorganismi uzrādīja rezistenci pret vara pārklājumu, kas iegūts ar termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiju (3.51. att., a un b).

B) Magnetrona izputināšanas tehnoloģijas procesā pārklāto paraugu antimikrobiālās aktivitātes novērtējums

3.47. tabulā sakopoti un 3.52. attēlā ilustrēti ar magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklāto kokvilnas tekstiliju testu rezultāti, kas iegūti pakļaujot paraugus augšminēto testa kultūru iedarbībai. Zem un apkārt nepārklātiem paraugiem pēc inkubācijas ir novērota visu testos izmantoto kultūru augšana, kas liecina par to ka nepārklātiem paraugiem nepiemīt antimikrobiālā iedarbība.

Pie maksimālām kultūru koncentrācijām zem paraugiem ar 90 nm biezu vara pārklājumu (uznešanas laiks 60 s, ekspozīcija vienam paraugam 4,5 s) arī novērota *E. coli* ATCC 25922 un *C. albicans* ATCC 60193 augšana liecinot, ka tiem nepiemīt antimikrobiāla iedarbība pret minētam kultūrām vai arī tā ir nepietiekoša lai nomāktu mikroorganismu augšanu testa koncentrācijā.

Salīdzinot 3.52. attēla a un b Petri platēs konstatēto redzams, ka ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju (vara uznešanas laiks 100 s, viena parauga eksponēšanas laiks 7,5 s) modificētais kokvilnas tekstilijas paraugs ar 150 nm biezu vara pārklājumu pēc inkubācijas ar *E. coli* ATCC 25922 ir kavējis baktēriju augšanu zem parauga un vērojama samērā plaša inhibīcijas zona (3.52. att., b). Bez tam ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju pārklātiem paraugiem salīdzinājumā ar termiskās iztvaicēšanas procesa paraugiem (3.52. att., a) novērots pilnīgs vara pārklājuma zudums no tekstilijas virsmas (3.52. att., b).

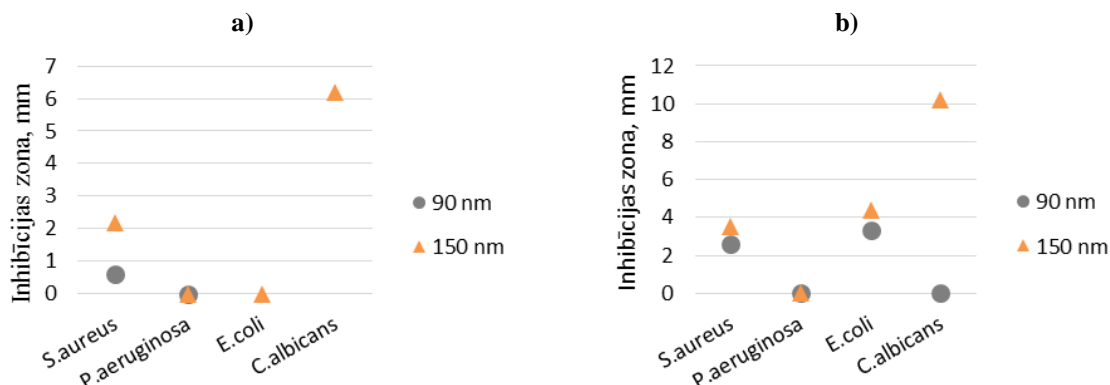


3.52. att. Mikroorganisma *E. coli* ATCC 2592 iedarbībai pakļautu metālpārklātu paraugu salīdzinošas izmaiņas

a) termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas inkubēts paraugs, vara pārklājuma biezums 180 nm, vara uznešanas laiks 3 s, b) magnetrona izputināšanas tehnoloģijas inkubēts paraugs, vara pārklājuma biezums 150 nm, vara uznešanas laiks 100 s

Analizējot 3.53. attēla grafiku datus kopumā redzams, ka ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju pārklātie paraugi salīdzinājumā ar termiskās iztvaicēšanas procesā iegūtajiem, nodrošina lielāku antimikrobiālo aktivitāti. Pie maksimālas patogenu koncentrācijas magnetrona izputināšanas procesā ar 60 s (viena parauga eksponēšanas laiks 4,5 s) eksponēšanas laiku iegūtais 90 nm pārklājuma biezums ir nepietiekošs, lai nepieļautu *E. coli* ATCC 25922 un *C. albicans* ATCC 60193 baktēriju augšanu, bet nodrošina antimikrobiālo iedarbību pret *S. aureus* ATCC 25923 un *P. aeruginosa* ATCC 10145 (3.53. att., a). Palielinot eksponēšanas laiku uzputināšanas procesā līdz 100 s ar 150 nm biezu vara pārklājumu (viena parauga eksponēšanas laiks 7,5 s) nodrošināta paraugu antimikrobiālā iedarbība pret visām eksperimentālajām kultūrām ar maksimālo koncentrāciju (3.53. att., a). Pret 10 reizes samazinātu patogenu koncentrāciju pietiekamu antimikrobiālo iedarbību nodrošina visi magnetrona izputināšanas procesā modificētie paraugi (3.53. att., b). Visefektīvāk uz *C. albicans* ATCC 60193 kultūru iedarbojas paraugi ar 100 s ilgstošu kopējo (uz vienu paraugu 7,5 s) ekspozīciju un 150 nm biezu pārklājumu nodrošina plašu inhibīcijas zonu, īpaši, ja patogēnu koncentrācija ir 10 reizes samazināta (3.53. att., a-b). Mikroskopiskās sēnītes *C. albicans* ATCC 60193 nomākšanu nodrošina 150 nm biezs vara pārklājums, kas iegūts ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju, bet antimikrobiālo aktivitāti pret šo kultūru nerada termiskās iztvaicēšanas procesā iegūts pat biezāks (180 nm) pārklājums, ko var izskaidrot ar faktu, ka magnetrona izputināšanas procesā vara pārklājums vairāk oksidējas, pateicoties faktam, ka kopā ar izputinātajām daļiņām no mērķa uz tekstiliju virsmas nonāk arī gāzes molekulas, kas viedo oksīdu savienojumus, līdz ar to pārklājumā salīdzinājuma ar termiskās iztvaicēšanas procesu veidojas vairāk vara oksīda. Atšķirībā no termiskās iztvaicēšanas procesā pārklātiem paraugiem, magnetrona izputināšanas procesā pārklātie paraugi uzrāda antimikrobiālu iedarbību pret *P. aeruginosa* ATCC 10145 arī pie maksimālās

kultūru koncentrācijas neatkarīgi no vara uznešanas laika. Pie abām kultūru koncentrācijām nav novērota baktēriju augšana zem parauga, kas atbilstoši ATCC 147-2004 standartam liecina par paraugiem piemītošu antimikrobiālu iedarbību (aprakstīts 2.7.1. apakšnodaļā).

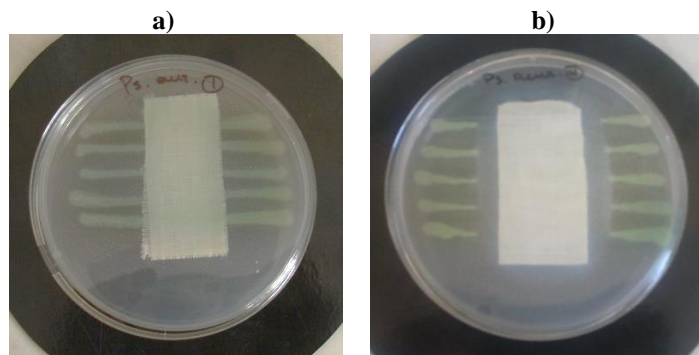


3.53. att. Inhibīcijas zonas

a) Maksimālā mikroorganismu koncentrācija, b) 10 reizes samazināta mikroorganismu koncentrācija. 0 - apkārt paraugiem nav inhibīcijas zonas, zem parauga nav novērota testa mikroorganismu kultūru koloniju augšana, paraugam piemīt antimikrobiālā iedarbība

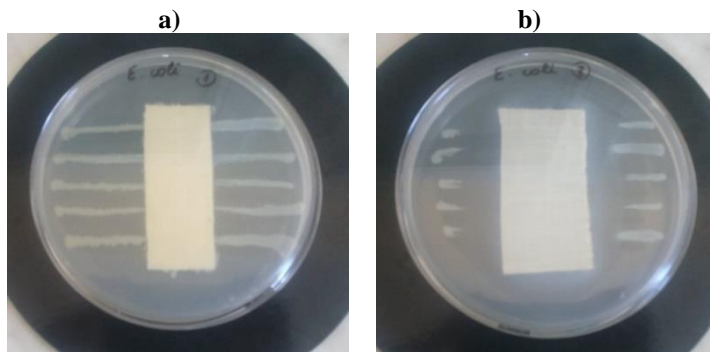
C) Ar sola-gēla tehnoloģiju modificēto paraugu antimikrobiālā aktivitāte

3.54. - 3.57. attēlos ilustrēti ar CAD solu modificētu kokvilnas tekstiliju antimikrobiālo testu rezultāti pakļaujot paraugus augšminēto testa kultūru iedarbībai.



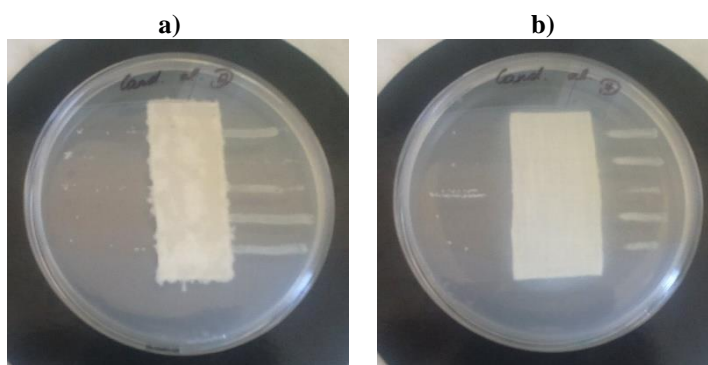
3.54. att. Sola-gēla procesā modificētas kokvilnas tekstilijas aktivitāte pret *P. aeruginosa* ATCC 10145

a) neapstrādāts materiāls, b) tekstilmateriāls apstrādāts ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu



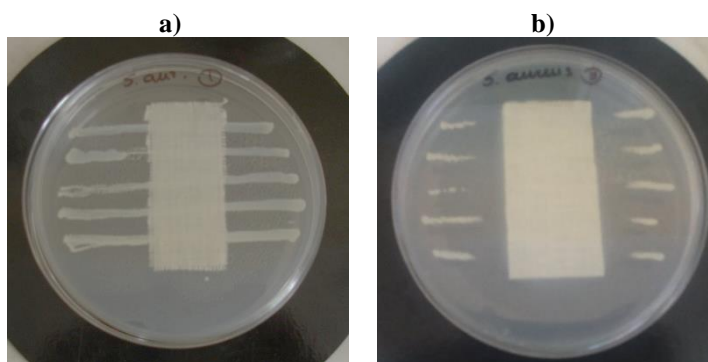
3.55. att. Sola-gēla procesā modificētas kokvilnas tekstilijas aktivitāte pret *E. coli* ATCC 25922

a) neapstrādāts materiāls, b) tekstilmateriāls apstrādāts ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu



3.56. att. Sola-gēla procesā modificētas kokvilnas tekstilijas aktivitāte pret *C. albicans* ATCC 60193

a) neapstrādāts materiāls no attēla var redzēt, ka kokvilna ir labvēlīgā vide sēnītes augšanai, jo mikroorganismu spēcīga augšana novērota tieši uz kokvilnas virsmas, b) tekstilmateriāls apstrādāts ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu



3.57. att. Sola-gēla procesā modificētas kokvilnas tekstilijas aktivitāte pret *S. aureus* ATCC 25923

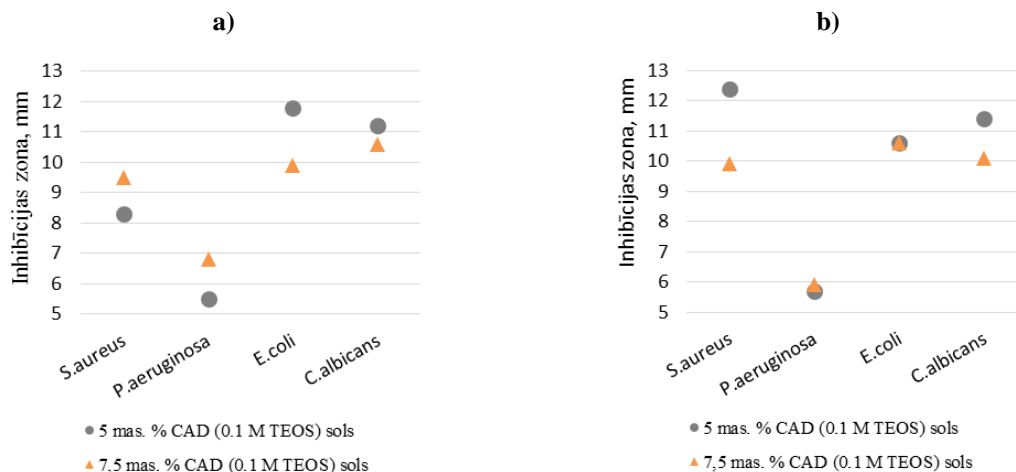
a) neapstrādāts materiāls, b) tekstilmateriāls apstrādāts ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

Visiem ar CAD solu modificētajiem paraugiem piemīt antimikrobiāla iedarbība pret eksperimentālajiem mikroorganismiem gan maksimālajā, gan 10 reizes samazinātajā patogēnu koncentrācijā nepieļaujot mikroorganismu augšanu zem parauga (3.61. att.), kā arī vērojamas plašas inhibīcijas zonas (3.54. att., b. – 3.57. att., b.; 3.58. att.). Ar sola-gēla metodi modificēto tekstiliju antimikrobiālās īpašības ir samērā maz atkarīgas no CAD koncentrācijas solā robežās no 5 mas.% līdz 7,5 mas.%. Tas nozīmē, ka 5 mas.% aktīvās vielas koncentrācija ir pietiekoša modificētās tekstilijas antimikrobiālās iedarbības nodrošināšanai pret testa mikroorganismiem (3.58. att.).

Analīzei pakļautie kokvilnas tekstiliju paraugi uzrāda vienlīdz intensīvu antimikrobiālo aktivitāti gan pret grampozitīvo baktēriju *S. aureus* ATCC 25923, gan gramnegatīvo baktēriju *E. coli* ATCC 25922, kā arī pret mikroskopisko sēnīti *C. albicans* ATCC 60193 (3.54. – 3.57. att., 3.58. att.); relatīvi vājāka antimikrobiālā iedarbība

salīdzinājumā ar pārējiem testa mikroorganismiem vērojama pret gramnegatīvu baktēriju *P. aeruginosa* ATCC 10145 (3.58. att.).

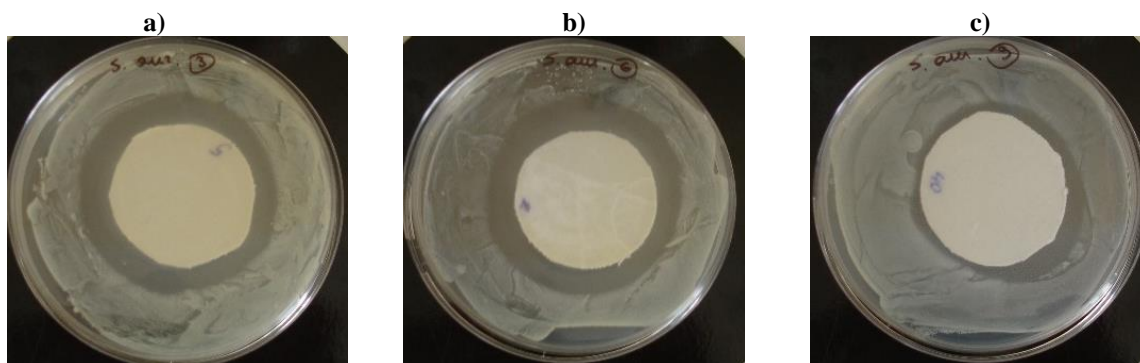
Ar sola-gēla metodi modificēto paraugu antimikrobiālās īpašības, t.sk. inhibīcijas zonas pēc izplatības ārpus parauga ievērojami pārsniedz ar varu pārklāto paraugu attiecīgos radītājus (3.51. att., 3.52. att., 3.58. att.)



3.58. att. Ar sola-gēla metodi modificēto tekstiliju inhibīcijas zonas
a) maksimālā mikroorganismu koncentrācija, b) 10 reizes samazināta mikroorganismu koncentrācija

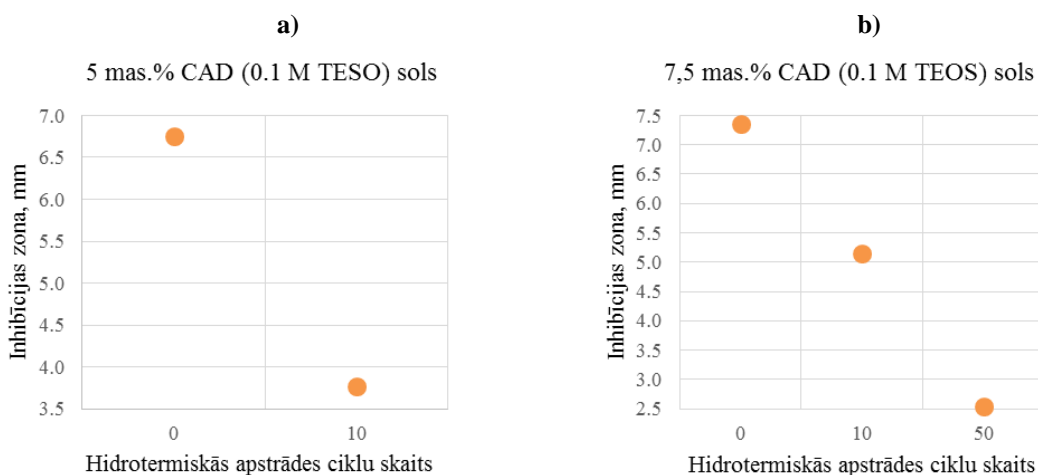
D) sola-gēla procesā modificētu kokvilnas tekstiliju antimikrobiālā aktivitāte pret *S. aureus* ATCC 25923 pēc hidrotermiskās apstrādes un berzes

3.59. attēlā ilustrēti ar CAD solu apstrādāti kokvilnas tekstiliju, kas pakļautas hidrotermiskai apstrādei un berzei, antimikrobiālo testu rezultāti pret *S. aureus* ATCC 25923 kā biežāk sastopamo aerobo mikroorganismu pacientiem ar brūču infekcijām, sastrutojumiem un iekaisumiem [191].



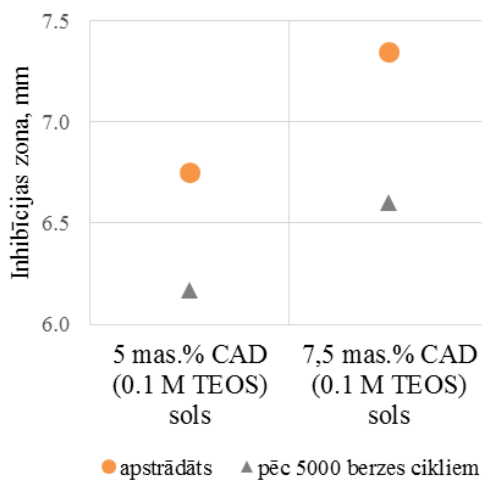
3.59. att. Ar sola-gēla metodi modificēto tekstiliju antimikrobiāla testa rezultātu pret *S. aureus* ATCC 25923 vizuālizācija, inhibīcijas zonas
a) apstrādāts materiāls, b) pēc 5000 berzes cikliem, c) pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem

Ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādātiem paraugiem piemīt antimikrobiāla iedarbība pret *S. aureus* ATCC 25923, ap visiem apstrādātajiem paraugiem vērojamas plašas inhibīcijas zonas pēc apstrādes, kā arī pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem (3.60. att., a. un b.). Paraugiem, kas apstrādāti ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, inhibīcijas zona saglabājas arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem, kas liecina gan par labu pārklājuma adhēziju, gan par spēcīgu antimikrobiālu iedarbību (3.59. att., c.; 3.60. att., b.).



3.60. att. Ar sola-gēla metodi modificēto tekstiliju antimikrobiālā aktivitāte pret *S. aureus* ATCC 25923 atkarībā no hidrotermiskās apstrādes ciklu skaita

No 3.61. att. grafika var redzēt, ka ar CAD solu modificētiem paraugiem saglabājas antimikrobiālā iedarbība pret *S. aureus* ATCC 25923 arī pēc 5000 berzes cikliem, par ko liecina inhibīcijas zonas un arī labu pārklājuma adhēzija ar tekstilijas virsmu



3.61. att. Modificēto tekstiliju antimikrobiālā aktivitāte pret *S. aureus* ATCC 25923 pēc nodiluma testiem berzē

Novērtējot baktēriju auguma vidējo nomākumu ar testa kultūrām *S. aureus* ATCC 25923 $4,3 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹, *P. aeruginosa* ATCC10145 $3,9 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹, *E. coli* ATCC 25922 $7,1 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹, *C. albicans* ATCC60193 $8,2 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹ konstatēts, ka vislielāko antimikrobiālo aktivitāti uzrāda ar CAD solu modificētie tekstiliju paraugi, ar varu termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesā modificētu tekstiliju antimikrobiālā iedarbība ir vājāka. Ar sola-gēla tehnoloģiju iegūtie pārklājumi uzrāda vislielāko antimikrobiālo aktivitāti arī pie 10 reizes lielākas patogēno kultūru koncentrācijas.

C. albicans ATCC60193 mikroskopiskā sēnīte pie abām patogēnu koncentrācijām uzrādīja rezistenci pret termiskās iztvaicēšanas procesā uznesto vara pārklājumu. .

Tā kā sola-gēla tehnoloģija tekstilmateriālu modifikācijai ir samērā vienkārši integrējama tradicionāli lietotās tekstilmateriālu apdares tehnoloģiskajās līnijās, ar modificētas tekstilijas var gūt plašu lietojumu spektru gan medicīnas, gan citos tekstilizstrādājumos, kuros nepieciešamas antimikrobiālās papildīpašības.

Testu rezultāti demonstrē, ka relatīvi augsta amorfu Si un Zn saturošu pārklājumu antimikrobiālā iedarbība ir novērota pret *S. aureus* ATCC 25923 baktēriju pie koncentrācijas $4,3 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹. Tekstiliju antimikrobiālās aktivitātes samazinājums novērots pēc paraugu hidrotermiskās apstrādes, tomēr antimikrobiālā iedarbība saglabājas arī pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem paraugiem, kas apstrādāti ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu un pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētiem paraugiem vēl joprojām ir vērojama inhibīcijas zona. Atšķirības var izskaidrot ar EDS analīzē iegūtajiem datiem (3.3.3.apakšnodaļā), kas liecina, ka ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto tekstiliju virsmā pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem ir no 3 līdz 4 reizēm samazinājusies Zn procentuālā koncentrācija salīdzinot ar attiecīgo rādītāju pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla..

Paraugiem apstrādātiem Ar 5 mas.% CAD un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētu tekstiliju antimikrobiālā iedarbība saglabājas pēc 5000 berzes cikliem, kas liecina par labu pārklājuma adhēziju..

3.4.2. Celulozes tekstiliju destrukciju izraisošie mikroorganismi

Testos izmantoti tekstilmateriālu biodestrukciju izraisošie mikroorganismi, kas plaši izplatīti apkārtējā vidē.

Gramnegatīvā aeroba nūjiņveida baktērija *Pseudomonas fluorescens* pieder pie *fluorescent pseudomonad* grupas, tā aktīvi piedalās bioplēves veidošanā [193]. Baktērijai piemērota dzīves vide ir augsne un ūdens. Tā izraisa ēdiena (olu, žāvētas gaļas, zivju, piena)

bojāšanos. Bieži vien izolējama no klīniskiem paraugiem, bet tai ir neliela klīniskā nozīme [193]. Daži *P. fluorescens* celmi izolēti no slimiem augiem [194].

P. fluorescens izsauc celulozes tekstiliju destrukciju ekstracelulāro hidrolītisko enzīmu veidošanas rezultātā. Turklāt šīs baktērijas degradē un izmanto augu audu sastāvdaļas, t.i., ogļhidrātus, taukskābes un eļļas [26, 195, 196].

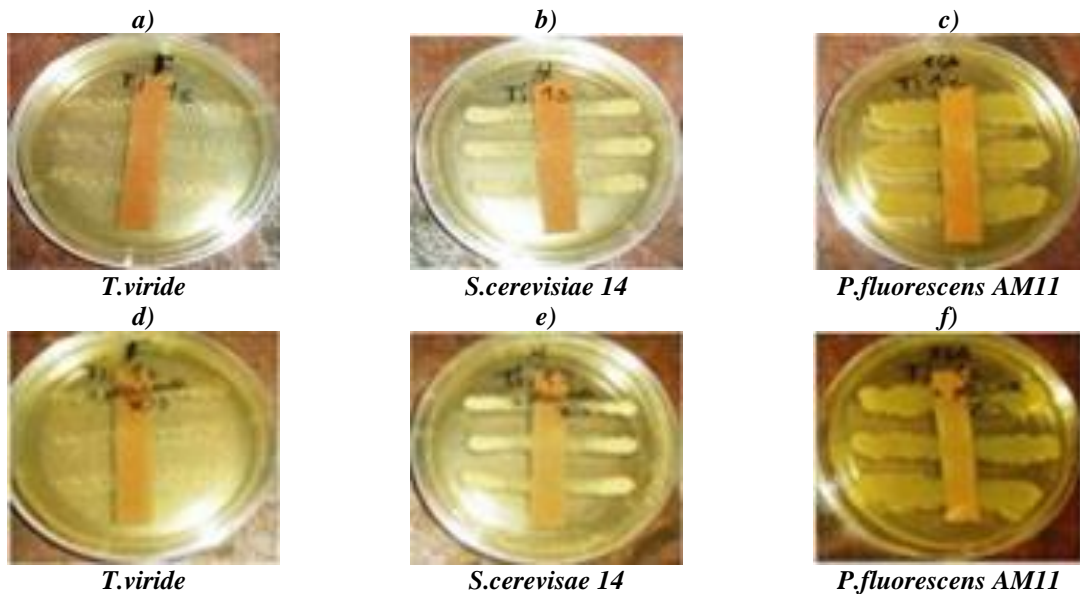
Trichoderma viride ir mikroskopiska sēnīte, kas arī izsauc celulozes tekstilmateriālu destrukciju [23, 26]. *T. viride* micēlijs var veidot tādus enzīmus, kā celulāzes un hitināzes, kas noārda attiecīgi celulozi un hitīnu [197, 198].

Saccharomyces cerevisiae ir raugs, mikroorganisms, kas pieder sēņu valstij un ir zināms ar ilgu drošas lietošanas vēsturi [196]. Fermentācijas procesā raugs sadala ogļhidrātus līdz CO₂ un spirtiem. *S. cerevisiae* kultūru pēta kā eikariotiskā organisma modeli [199].

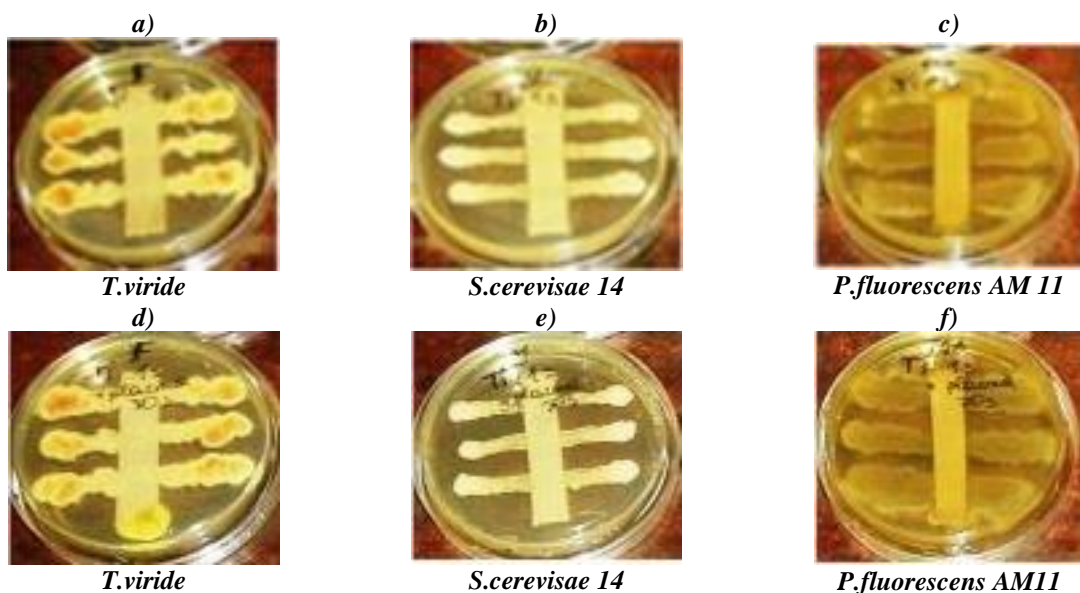
A) Termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklāto tekstiliju pretestība destrukciju izraisošiem mikroorganismiem

No testos iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka neatkarīgi no mikroorganismu kultūras un inkubācijas laika ap paraugiem nav novērota inhibīcijas zona. Tomēr, variantos ar rauga un sēnītes kultūrām pēc 24 h inkubācijas, mikroorganismu augšana uz agara zem tekstilmateriāla nav konstatēta paraugiem ar vara uznešanas laiku no 1 s līdz 3 s un pārklājuma biezumu robežās no 60 nm līdz 180 nm ar 30 s ilgstošu plazmas jonu priekšapstrādi un bez tās, kas savukārt liecina par paraugiem piemītošu īslaicīgu antimikrobiālu iedarbību (3.62. att., a un b, d un e). Pēc 96 h ilgas inkubācijas termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu modificētiem paraugiem vairs nepiemīt antimikrobiālā iedarbība, par ko liecina mikroorganismu aktīva augšana zem paraugiem (3.63. att., a-f), . pret *P. fluorescens AM11* antimikrobiālā iedarbība nav novērota vispār, jo paraugi apauguši ar mikroorganismiem (3.62. att., c un f).

Aplūkojot ar varu modificētu tekstilmateriālu virsmas pēc 24 h inkubācijas konstatēti nelieli vara zudumi (3.62. att., a-f), bet pēc 96 h inkubācijas vērojams pilnīgs pārklājuma zudums (3.63. att., a-f). Salīdzinot modificētos paraugus ar plazmas priekšapstrādi un bez tās, nav konstatētas būtiskas atšķirības antimikrobiālajās aktivitātēs un paraugu ārējā izskatā (3.62. att. un 3.63. att., a-f).

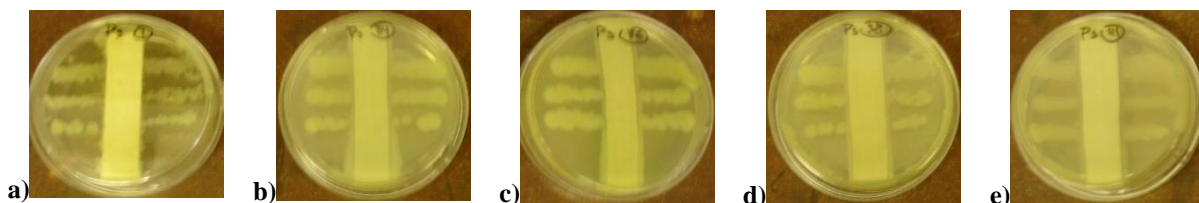


3.62. att. Termiskās iztvaicēšanas procesā modificētu tekstiliju nntimikrobiālo testu vizuālāzīcija pēc 24 stundu inkubācijas. (a-c) pārklājuma biezums 60 nm, vara uznešanas laiks 1 s, (d-f) pārklājuma biezums 60 nm, plazmas apstrāde 30 s un vara uznešanas laiks 1 s



3.63. att. Termiskās iztvaicēšanas procesā modificētu tekstiliju nntimikrobiālo testu vizuālāzīcija pēc 96 h inkubācijas. (a-c) pārklājuma biezums 60 nm, vara uznešanas laiks 1 s, (d-f) pārklājuma biezums 60 nm, plazmas apstrāde 30 s un vara uznešanas laiks 1 s

Balstoties uz pētījumu rezultātiem, var secināt, ka apstrāde ar gaisa plazmas joniem no 30 s līdz 5 minūtēm veicina mikroorganismu augšanu. kokvilnas tekstilijām: 3.64. attēlā redzams baktērijas *P.fluorescens AM11* vairošanās pieaugums atkarībā no apstrādes laika salīdzinājumā ar neapstrādātu paraugu; tādu pat parādību vērojama attiecībā uz mikroorganismu kultūrām *S.cerevisiae 14* un *T.viride*. Tas ir interesants rezultāts, ko var izmantot biodegradējamās pamatnes radīšanai, kas veicina „labo” mikroorganismu augšanu, piem., izmantošanai lauksaimniecībā.



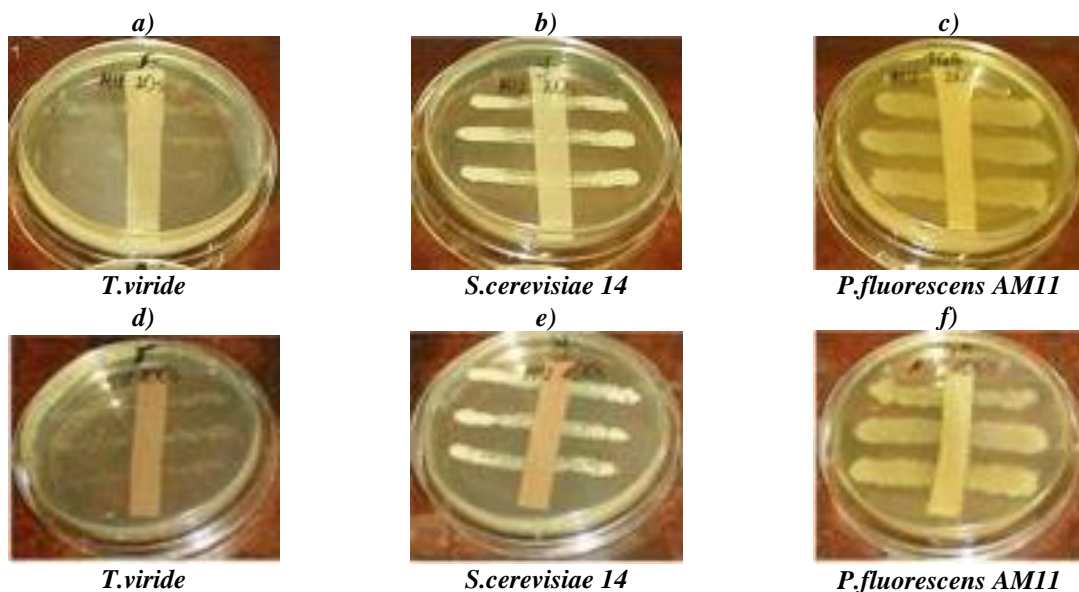
3.64. att. Ar zema spiediena gaisa plazmas joniem apstrādāto kokvilnas tekstiliju antimikrobiālo testu vizuālizācija pret *P. fluorescens AM11*. a) neapstrādāts, b) apstrādes ilgums 30 s, c) apstrādes ilgums 1 min., d) apstrādes ilgums 3 min., e) apstrādes ilgums 5 min.

B) Magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklātu tekstiliju pretestība destrūkciju izraisošiem mikroorganismiem

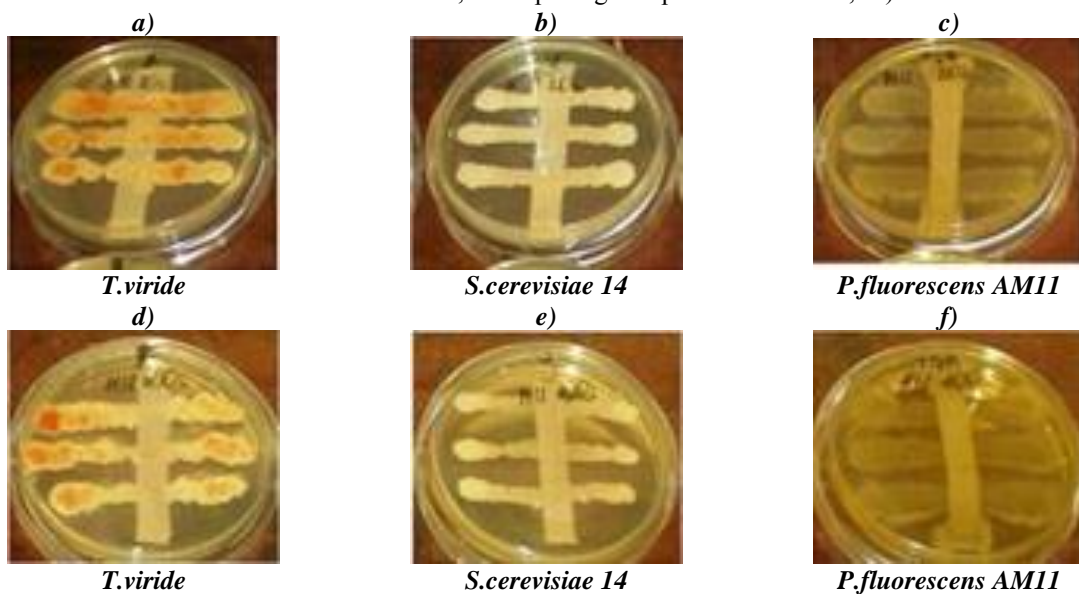
No 30 nm līdz 60 nm biezu pārklājumu antimikrobiālā iedarbība nav novērota, tā kā visā diapazonā notikusi mikroorganismu augšana zem paraugiem (3.65. att., a-f). Sākot ar vara pārklājuma biezumu 90 nm līdz 200 nm *T. viride* un *S. cerevisiae* 14 mikroorganismu augšana zem parauga virsmas nenotiek (3.65. att., d un e), bet sākot ar biezumu 150 nm līdz 200 nm nenotiek arī *P. fluorescens AM11* augšana zem paraugiem (3.65. att., f), kas liecina, ka uznestā pārklājuma biezums ir pietiekošs, lai nodrošinātu antimikrobiālu aktivitāti un katrai testa kultūrai tas jānosaka atsevišķi..

Atšķirībā no termiskās iztvaicēšanas procesā pārklātiem paraugiem (3.62. att. – 3.63. att.), magnetrona izputināšanas procesā modificētu paraugu virsmas jau pēc 24 h inkubācijas ar *P. fluorescens AM11* pilnībā zaudē vara pārklājumu neatkarīgi no uznestās kārtiņas biezuma. Magnetrona izputināšanas procesā modificētiem paraugiem ar 30 nm biezu vara kārtiņu vara pārklājums pilnībā pazūd no tekstilijas virsmas pēc 24 h inkubācijas (3.65. att., a-c) neatkarīgi no mikroorganismu kultūras.

Pēc 96 stundu ilgas inkubācijas neatkarīgi no pārklājuma biezuma tekstilijas virsmām vairs nepiemīt antimikrobiālā iedarbība, par ko liecina aktīva mikroorganismu augšana zem paraugiem (3.66. att., j-s).



3.65. att. Ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju modificētas kokvilnas tekstilijas antimikrobiāla testa rezultātu vizuālizācija pēc 24 h inkubācijas. (a-c) pārklājuma biezums 30 nm (vara uznešanas laiks 20 s, viena parauga eksponēšanas laiks 1,5 s), (d-f) pārklājuma biezums 150 nm (vara uznešanas laiks 100 s, viena parauga eksponēšanas laiks 7,5 s)



3.66. att. . Ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju modificētas kokvilnas tekstilijas antimikrobiāla testa rezultātu vizuālizācija pēc 96 h inkubācijas. (a-c) pārklājuma biezums 30 nm (vara uznešanas laiks 20 s, viena parauga eksponēšanas laiks 1,5 s), (d-f) pārklājuma biezums 150 nm (vara uznešanas laiks 100 s, viena parauga eksponēšanas laiks 7,5 s)

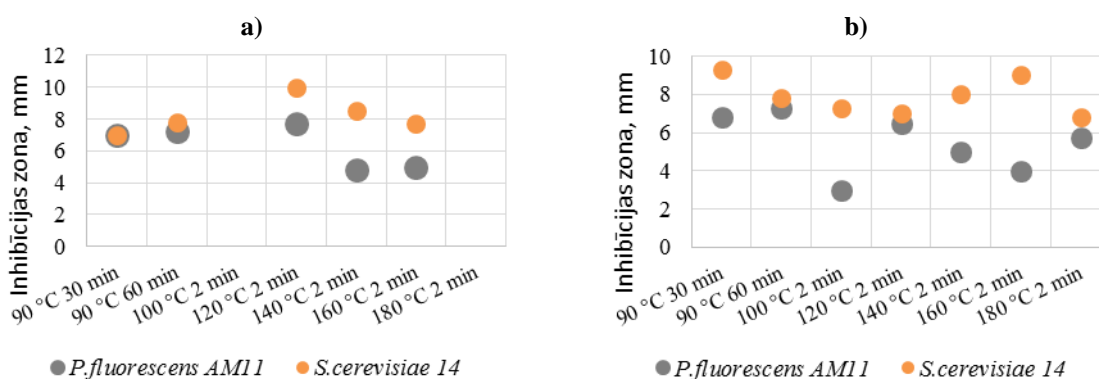
Kopumā jāsecina, ka pie eksperimentā izmantotajām mikroorganismu kultūru koncentrācijām pēc 24 stundu inkubācijas nav novērota mikroorganismu augšana zem paraugiem, ja vara uznešanas laiks ir robežās no 100 un pārklājuma biezums 150 nm līdz 140 sekundēm un pārklājuma biezumu 200 nm, kas atbilstoši ATCC 147-2004 standartam liecina par paraugiem piemītošu antimikrobiālu iedarbību (aprakstīts 2.7.1. apakšnodaļā).

C) Ar solu apstrādātu tekstiliju pretestība destrukciju izraisošiem mikroorganismiem

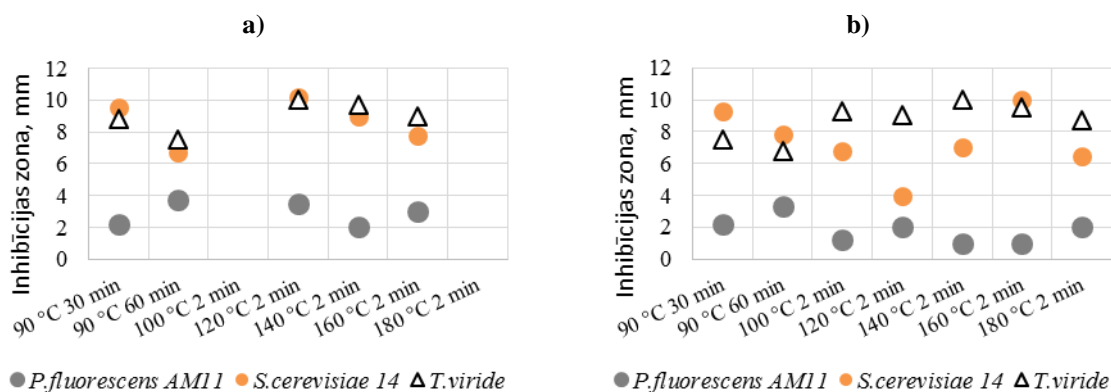
Ar solu modificētu kokvilnas tekstiliju paraugi testēti pēc modifikācijas un pēc 1, 10 un 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem. Ar CAD solu modificēti paraugi uzrāda vienlīdz intensīvu antimikrobiālu aktivitāti gan pret prokariotiem, t.i. *P. fluorescens AM11*, gan pret eikariotiem, t.i. *S. cerevisiae 14* un *T. viride*. Visi ar sola-gēla tehnoloģiju modificētie paraugi nepieļauj mikroorganismu augšanu zem parauga, kā arī veido ap paraugiem inhibīcijas (nomākuma) zonu, kas norāda uz augstu antimikrobiālu iedarbību.

Pēc 24 h inkubācijas un pēc 96 h inkubācijas modificēto tekstiliju paraugi uzrāda stipru antimikrobiālu iedarbību pret *P. fluorescens AM11*, *S. cerevisiae 14* paraugiem, uz to norāda nomākuma zona ap paraugiem. Sakarā ar to, ka mikroorganismu kultūrai *T. viride* ir nepieciešams ilgāks inkubācijas laiks, uz agara ir redzamas atsevišķas kolonijas, bet nevar izmērīt inhibīcijas zonu, līdz ar to modifikācijas ietekme uz *T. viride* augšanu tiek novērtēta pēc 96 stundu inkubācijas: rezultāti rāda, ka sēnītes augšana ir kavēta un ap paraugu izveidojusies nomākuma zona. Salīdzinot Petri plates ar pārklātiem paraugiem un bez pārklājuma, kur *T. viride* kultūra ir izaugusi pēc 24 h inkubācijas, var domāt, ka paraugi ar amorfu Si un Zn saturošu pārklājumu aizkavējuši *T. viride* kultūras augšanu.

Pētījuma rezultātā iegūtie dati skaidri demonstrē, ka ap CAD solu apstrādātiem paraugiem ir plašas inhibīcijas zonas, kas liecina par to, ka pie testētām CAD koncentrācijām tiek nodrošināta modificētās kokvilnas tekstilijas spēcīga mikroorganismu augšanas inhibīcija (3.67. att., a un b; 3.68. att., a un b).



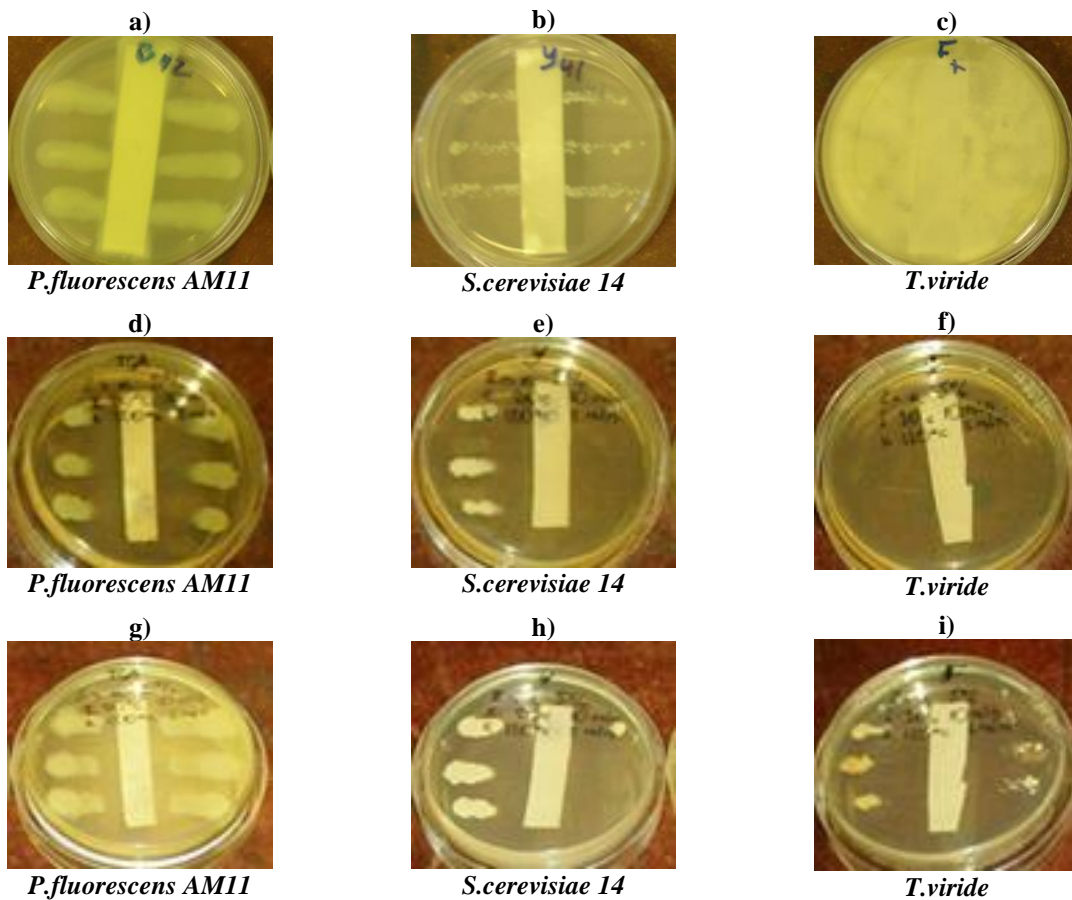
3.67. att. Ar CAD solu modificētu paraugu inhibīcijas zonas pēc 24 h inkubācijas
a) 5 mas.% CAD solu (0.1 M TEOS), b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu



3.68. att. Ar CAD solu modificētu paraugu inhibīcijas zonas pēc 96 h inkubācijas
a) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

3.67. un 3.68. attēlu grafikos parādīti iinhibīcijas zonu izmēri un mikroorganismu augšanu zem paraugiem atkarībā no CAD koncentrācijas solā un termiskās pēcapstrādes režīma, kas ļauj secināt, ka modificēto tekstiliju antimikrobiālā iedarbība ir sugas specifiska. Tā, vidēja inhibīcijas zona *P. fluorescens AM11* (prokarioti) baktērijai ir mazāka salīdzinot ar testā izmantotajām rauga un mikroskopisko sēņu (eikarioti) kultūrām. Mikroorganismu *P. fluorescens AM 11* un *S. cerevisiae 14* augšanas inhibīcijas efekts korelē ar paraugu inkubācijas laiku saglabājoties pēc paraugu 96 h inkubācijas, kas viennozīmīgi ir ļoti labs rezultāts, jo arī pēc 4 diennaktīm saglabājās antimikrobiālā iedarbība. Ar sola-gēla tehnoloģiju apstrādāto paraugu antimikrobiālās īpašības ievērojami pārsniedz ar varu modificēto paraugu attiecīgos radītājus.

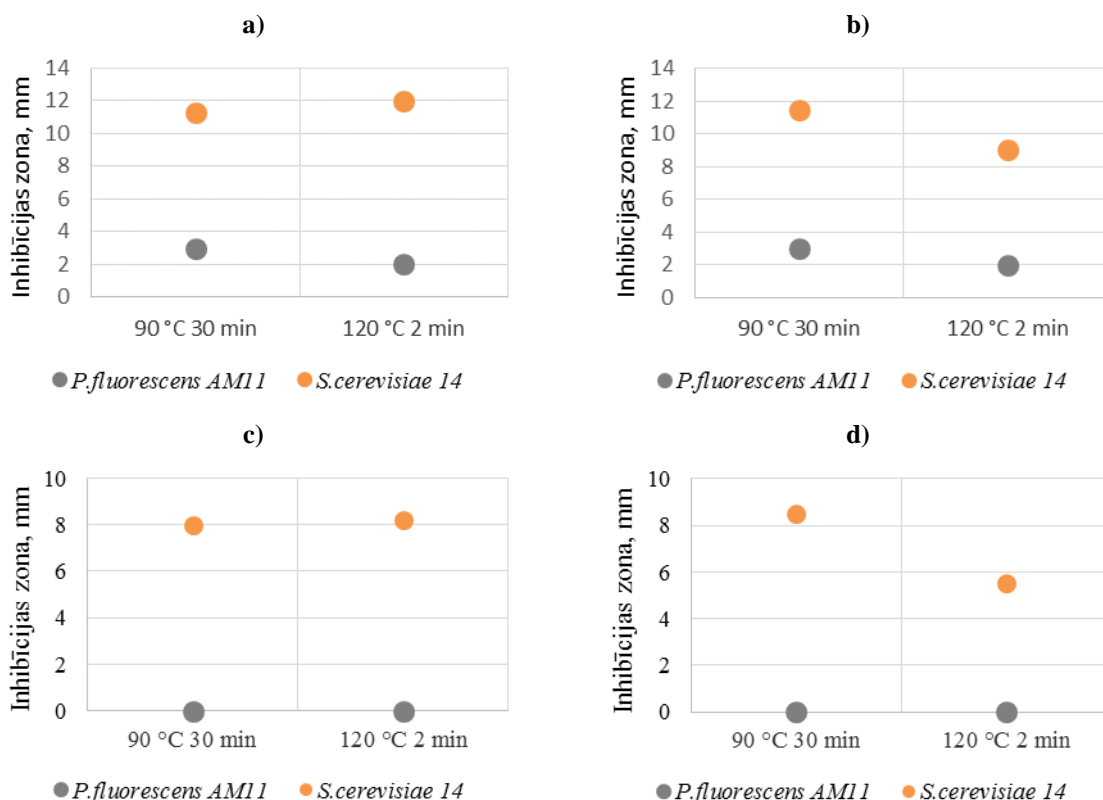
Testa rezultāti rāda, ka sola-gēla procesā modificēto paraugu inhibīcijas zona ir vērojamas attiecībā uz visiem testu mikroorganismiem, bet nepārklāto paraugu klātbūtnē nav nomāktas un ir novērota augšana arī uz paraugu virsmas (3.69. att., a, b un c).



3.69. att. Ar CAD solu modificētu paraugu inhibīcijas zonas.

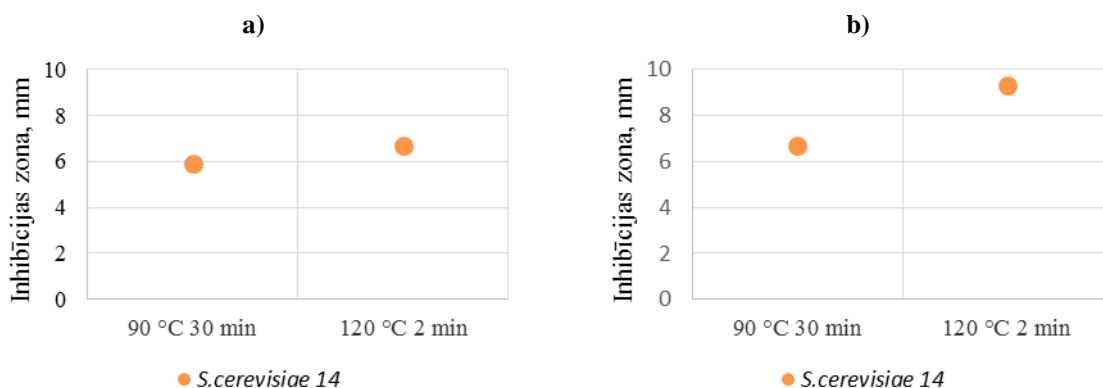
Viršējā rinda (a-b): nepārklāti paraugi pēc 24 h inkubācijas un c) pēc 96 h inkubācijas; vidus rinda (d-f): paraugi apstrādāti ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu pēc 24 h inkubācijas; apakš rinda (g-i): paraugi apstrādāti ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu pēc 96 h inkubācijas

Veiktie testi pēc modificēto paraugu 1, 10 un 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem un 24 h inkubācijas demonstrē, ka hidrotermiskā apstrāde samazina antimikrobiālo efektu. *P. fluorescens AM11* inhibīcijas zona joprojām novērota pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla, bet pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem nav novērota nomākuma zona, tomēr nav arī novērota baktērijas augšana zem paraugu virsmas; pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem baktēriju augšana ir novērota arī zem paraugiem - tas nozīmē, ka tiem vairs nepiemīt antimikrobiālā iedarbība (3.70. att., a-c un 3.71. att., a un b).



3.70. att. Ar CAD solu modificētu tekstiliju inhibīcijas zonas pēc hidrotermiskās apstrādes Pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla paraugi apstrādāti ar: a) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu.
Pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem paraugi apstrādāti ar: c) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, d) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

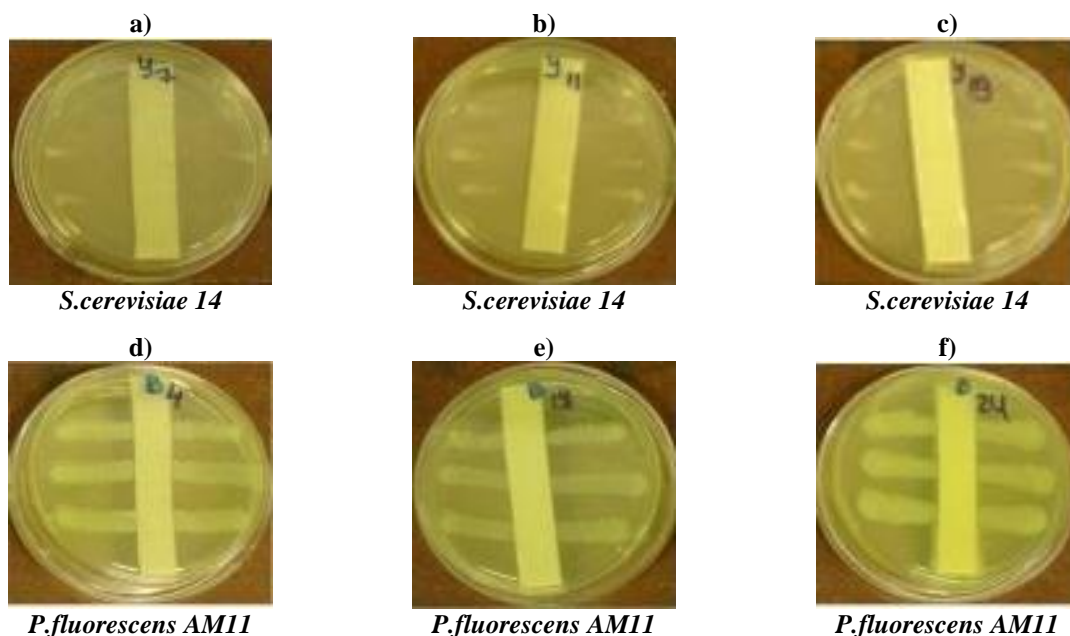
Labāki rezultāti iegūti testā ar *S. cerevisiae 14*: pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem ap paraugiem ir inhibīcijas zona un nav novērota augšana zem parauga (3.71. att., a un b).



3.71. att. Ar CAD solu modificētu tekstiliju inhibīcijas zonas pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem. a) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu; b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

Testu vizualizācijās (3.72. att.) redzams, ka ar solu pārklātiem paraugiem pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla inhibīcijas zona ir novērota attiecībā uz *P. fluorescens AM11*

un *S. cerevisiae* 14, pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem inhibīcijas zona joprojām novērota attiecībā uz *S. cerevisiae* 14, bet attiecībā uz *P. fluorescens* AM11 nav novērota baktērijas augšana zem parauga; pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem attiecībā uz *P. fluorescens* AM11 paraugiem vairs nepiemīt inhibēšanas spēja, toties attiecībā uz *S. cerevisiae* 14 joprojām ir novērota inhibīcijas zona.



3.72. att. Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētu tekstiliju antimikrobiālā aktivitāte pēc hidrotermiskās apstrādes
(a-d) pēc 1 hidrotermiskās apstrādes cikla; (b-e) pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem; (c-f) pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem

Sola-gēla procesā ar amorfiem Si un Zn saturošiem pārklājumiem modificētās tekstilijas uzrādīja vislielāko antibakteriālu aktivitāti uz mikroorganismu augšanu; ar termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas tehnoloģijām iegūto vara pārklājumu novērotā aktivitāte ir daudz zemāka.

Testu rezultāti demonstrē relatīvi augstu ar sola-gēla metodi apstrādāto paraugu antimikrobiālo iedarbību pret visiem testa mikroorganismiem - *P. fluorescens* AM11, *S. cerevisiae* 14 un *T. viride*. Lielāka jutība pret pārklājumiem piemīt eikariotiskiem mikroorganismiem, tas ir raugam *S. cerevisiae* 14 un mikroskopiskajai sēnei *T. viride*.

Paraugu antimikrobiālo īpašību reducēšana ir novērota pēc paraugu hidrotermiskās apstrādes. Eksperimentos pierādīts, ka modificēto tekstiliju hidrotermiskās apstrādes efekts ir atkarīgs no testa mikroorganisma - raugu šūnām piemīt lielākā jutība pret sola-gēla procesa modificētām tekstilijām arī pēc to hidrotermiskās apstrādes. Inhibīcijas zona pret *S. cerevisiae* 14 augšanu novērota arī pēc paraugu 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem. Labi

antimikrobiālās iedarbības rezultāti ir iegūti arī pret *P. fluorescens AM11* baktēriju kultūru, kur antimikrobiālā iedarbībā saglabājas arī pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem.

Ar sola-gēla metodi apstrādāto paraugu antimikrobiālās īpašības ievērojami pārsniedz ar varu pārklāto paraugu attiecīgos radītājus.

3.4.3. Mikroorganismu adhēzija

Adhēzija pie organiskiem un neorganiskiem materiāliem ir dabisks process. [200]. Mikrobioloģiskā adhēzija ir sākotnējs solis kolonizācijai un bioplēves veidošanai. Bioplēves ir ārkārtīgi svarīgas mikroorganismiem, jo sadarbojoties baktērijas spēj ne tikai izveidot sev labvēlīgu mikroklimatu, bet arī aizsargāties no apkārtējās vides ietekmes. Bioplēves, kas sastāv no mikroorganismiem un ekstracelulāriem materiāliem, var būt bīstamas gan cilvēkiem, gan industriāliem procesiem. No vienas puses, mikroorganismu adhēzija un tai sekojošā bioplēvju veidošanās rada infekcijas risku, kontaminācijas problēmas un izraisa bojājumus pārtikā, cauruļvadu sistēmās, medicīnā utml., bet no otras puses, imobilizētus mikroorganismus plaši izmanto daudzās tautsaimniecības nozarēs – pārtikas rūpniecībā, vides attīrīšanā, lauksaimniecībā, medicīnā, u. c. [201 - 203].

Komplekso mikroorganismu konsorcijiem ir īpašas priekšrocības, kādu nav vienuļām baktērijām. Mikroorganismu biofilmas uzrāda augstu pretestību pret bīdes spēku iedarbībām, var izturēt barības trūkumu, pH izmaiņas un ķīmisko vielu ietekmi. Baktērijām biofilmā ir labākas izdzīvošanas iespējas, īpaši stresa periodā, jo tās ir aizsargātas matricas ietvaros un var izmantot kopienas sadarbības priekšrocības [204 - 206]. Patogēnās baktērijas inficējot saimnieka organismu, koordinē savu virulenci, lai izvairītos no imūnreakcijas atbildes un varētu izveidot veiksmīgu infekcijas izplatīšanu [207].

Tādi mikroorganismi kā *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* grupa A u. c., nokļūstot brūcē no apkārtējās vides palielina infekciju risku, izraisa strutojošas infekcijas [208].

Pseudomonas aeruginosa – gram-negatīvs aerobs kosmopolīts [46] praktiskajā medicīnā plaši pazīstams mikroorganisms, kas atrodas gan ārējās vides objektos, gan slimnīcu vidē, gan atsevišķu cilvēku mikroflorā; tas uzrāda lielu aktivitāti dažādu implantu kolonizēšanā, rada paaugstinātu hospitālo infekciju risku, ir strutojošu brūču infekciju izraisītājs [163].

Staphylococcus epidermidis ir normālas floras pārstāvis, tam piemīt spēja kolonizēt cilvēka organismā implantētos svešos objektus (sākot no pīrsingiem, beidzot ar mākslīgajiem

sirds vārstuļiem, dažādiem citiem implantiem utml.). Tas pazīstams kā hospitālo infekciju ierosinātājs imūnsupresētiem pacientiem [163].

Patogēno mikroorganismu gramnegatīvās baktērijas *P. aeruginosa* ATCC 27853 un grampozitīvas baktērijas *S. epidermidis* ATCC 12228 (1 ml TSB tilpumā ar koncentrāciju 10^2 KVV ml⁻¹) adhēzijas intensitāte sakopota tabulās: uz kokvilnas tekstilijas virsmām (3.8. tab.), virsmām, kas pārklātas ar varu termiskās iztvaicēšanas (3.9. tab.) un magnetrona izputināšanas procesā (3.10. tab.), kā arī sola-gēla procesā ar amorfu Si un Zn saturošu pārklājumu modificēto tekstiliju virsmām (3.11. tab.). Visos virsmas apstrādei pakļautos variantos, kā arī neapstrādātajā variantā lietota kokvilnas tekstilija Nr.3 (2.10. tab.).

3.8. tabula

Mikroorganismu adhēzijas intensitāte pēc 2 h uz neapstrādātas tekstilijas virsmas

Parauga Nr.	Paraugs	<i>S. epidermidis</i> ATCC 12228	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853
		Adhēzija 10^2 KVV ml ⁻¹	Adhēzija 10^2 KVV ml ⁻¹
1	neapstrādāts	1200	700

3.9. tabula

Mikroorganismu adhēzijas intensitāte pēc 2 h uz termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklātas tekstilijas virsmas

Parauga Nr.	Paraugs	<i>S. epidermidis</i> ATCC 12228	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853
		Adhēzija 10^2 KVV* ml ⁻¹	Adhēzija 10^2 KVV ml ⁻¹
1	pārklājuma biezums 60 nm	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota
2	pārklājuma biezums 180 nm	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota

*KVV – koloniju veidojošās vienības

3.10. tabula

Mikroorganismu adhēzijas intensitāte pēc 2 h uz magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklātas tekstilijas virsmas

Parauga Nr.	Paraugs	<i>S. epidermidis</i> ATCC 12228	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853
		Adhēzija 10^2 KVV ml ⁻¹	Adhēzija 10^2 KVV ml ⁻¹
1	pārklājuma biezums 90 nm	1*	Adhēzija nav novērota
2	pārklājuma biezums 150 nm	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota

* kolonizācijas intensitāte – koloniju veidojošo vienību skaits

Mikroorganismu adhēzijas intensitāte pēc 2 h uz ar CAD solu modificētas tekstilijas virsmas

Parauga Nr.	Paraugi	<i>S. epidermidis</i> ATCC 12228	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853
		Adhēzija 10 ² KVV ml ⁻¹	Adhēzija 10 ² KVV ml ⁻¹
<i>Apstrādāti</i>			
1	5 mas.% CAD sols	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota
2	7,5 mas.% CAD sols	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota
<i>Pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem</i>			
3	5 mas.% CAD sols	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota
4	7,5 mas.% CAD sols	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota
<i>Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem</i>			
5	5 mas.% CAD sols	1*	Adhēzija nav novērota
6	7,5 mas.% CAD sols	Adhēzija nav novērota	Adhēzija nav novērota

* kolonizācijas intensitāte – koloniju veidojošo vienību skaits

Ļoti intensīva ir *S. epidermidis* ATCC 12228 adhēzija ar nepārklāto paraugu virsmām (3.8. tab.), *P. aeruginosa* ATCC 27853 mikroorganisma piesaiste ir 1.7 reizes vājāka, bet tai pat laikā stipri intensīva.

Termiskās iztvaicēšanas procesā modificēto paraugu virsmas pārklājuma biezumu robežās no 60 līdz 180 nm abu mikroorganismu kultūru adhēzija nav novērota (3.9. tab.); tas nozīmē, ka vara pārklājuma uznešanas procesā vakuumā kokvilnas tekstiliju var pakļaut ļoti īslaicīgai augstas temperatūras iedarbībai (1 s), tādējādi saglabājot tai piemītošos struktūras raksturlielumus, līdztekus kavējot pētījumam pakļauto mikroorganismu adhēziju uz virsmas.

Magnetrona izputināšanas procesā ar varu modificētas tekstilijas ar pārklājuma biezumu 90 nm kavē gan *P. aeruginosa* ATCC 27853 3.8., gan *S. epidermidis* ATCC 12228 adhēziju. *S. epidermidis* ATCC 12228 kultūras gadījumā uz paraugu virsmas var novērot tikai vienu koloniju veidojošo vienību (3.10. tab.). Ja uzputināšanas laiku palielina līdz 100 s un pārklājuma biezumu 150 nm, arī *S. epidermidis* ATCC 12228 gadījumā uz paraugu virsmas nav novērota mikroorganismu adhēzija (3.11. tab.).

Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētie paraugi nodrošina visu apskatīto mikroorganismu adhēzijas un augšanas kavēšanu.

Rezultāti liecina, ka visiem apstrādātajiem paraugiem neatkarīgi no apstrādes tehnoloģijas ir novērota *P. aeruginosa* ATCC 27853 mikroorganismu adhēzijas kavēšana, kas savukārt kavēs *P. aeruginosa* ATCC 27853 piestiprināšanos pie tekstilijas un bioplēves veidošanu. Attiecībā uz *S. epidermidis* ATCC 12228 adhēziju ir novērots, ka paraugiem apstrādātiem ar magnetrona izputināšanas tehnoloģiju pie vara uznešanas laika 60 s (viena parauga eksponēšanas laiks 4,5 s) un iegūtā 90 nm biezu pārklājumu novērota vāja baktērijas

kultūras adhēzija, bet palielinoties inkubācijas laikam, adhēzija vairs nav novērota. Paraugiem apstrādātiem ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu novērota *S. epidermidis* ATCC 12228 vāja adhēzija tikai pēc 50 intensīviem hidrotermiskās apstrādes cikliem, ko var izskaidrot ar apstrādāto tekstilmateriālu virsmas struktūras izmaiņām hidrotermiskas apstrādes procesos, piem. plūksnošanās palielinājums, kā arī funkcionālo elementu procentuālās koncentrācijas samazinājums, kas konstatēts EDS analīzē (pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem pārklājumā būtiski samazinās Zn koncentrācija ~ 3reizes salīdzinot ar attiecīgo rādītāju pēc pārklāšana). Paraugiem ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētiem paraugiem arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem nav novērota abu mikroorganismu kultūru adhēzija.

3.5. Modificēto tekstiliju aizsardzība pret ultravioleto starojumu

Promocijas darbā pētīta iespēja ar amorfiem Si un Zn saturošiem pārklājumiem pastiprināt dabisko tekstiliju aizsardzības spēju pret UVA un UVB starojumu. Lai apzinātu metodes ierobežojumus un iespējas, eksperimentā testiem pakļauts kokvilnas tekstilmateriāls Nr. 3 (2.10. tab.).

Praksē tekstilmateriālu aizsardzības spējas novērtēšanai laboratorijas apstākļos pret UV lieto divu veidu kvantitatīvus testus: *in vivo* vai instrumentālos mērījumus *in vitro* [20]. Atbilstoši testa metodei izmanto divus terminus: saulaizsargājošs faktors *in vivo* testos un ultravioletā aizsardzības faktors (UPF) *in vitro* testos [20].

Termins UPF ir pieņemts tekstilmateriālu un apģērbu industrijā visā pasaulē, lai apzīmētu tekstilmateriālu UV aizsardzības spējas balstoties uz instrumentāliem mērījumiem [20, 66, 144]. UPF ir attiecība starp vidēji efektīvu krītošo UV intensitāti (E_{eff}), kas aprēķināta neaizsargātai ādai un vidēji efektīvu krītošo UV intensitāti (E'), kas aprēķināta ar testējamo tekstilmateriālu aizsargātai ādai [20].

Modificēto tekstiliju UPF mērījumi veikti saskaņā ar standartiem (aprakstīti 2.8. apakšnodaļā). Iegūtie rezultāti klasificēti atbilstoši 3.12. tabulas kategorijām [2, 66, 144].

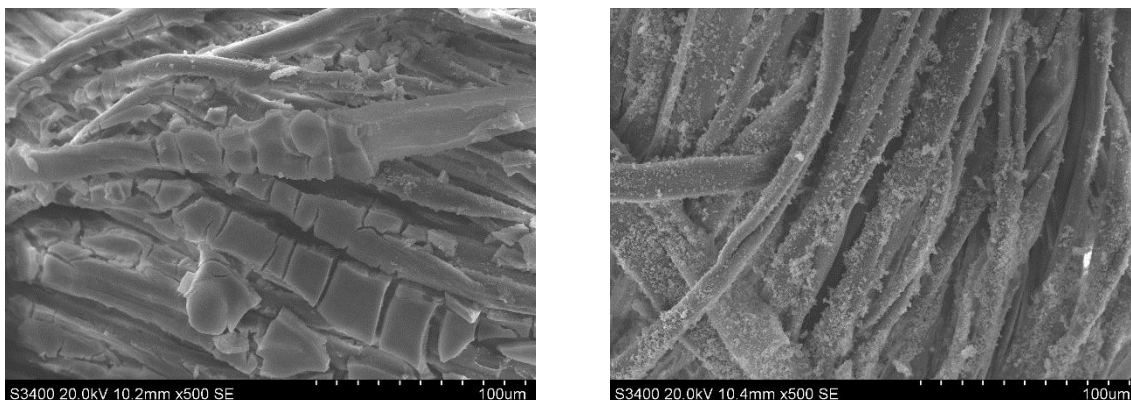
3.12. tabula

UPF klasifikācijas sistēma

UPF diapazons	UPF aizsardzības kategorija	Efektīvā transmisija, %	UVR	UPF kategorija
15 -24	Laba aizsardzība	6,7 – 4,2		15, 20
25-39	Ļoti laba aizsardzība	4,1– 2,6		25, 30, 35
40-50, 50+	Izcila aizsardzība	≤2,5		40, 45, 50 , 50+

A) Sola sastāva optimizācija

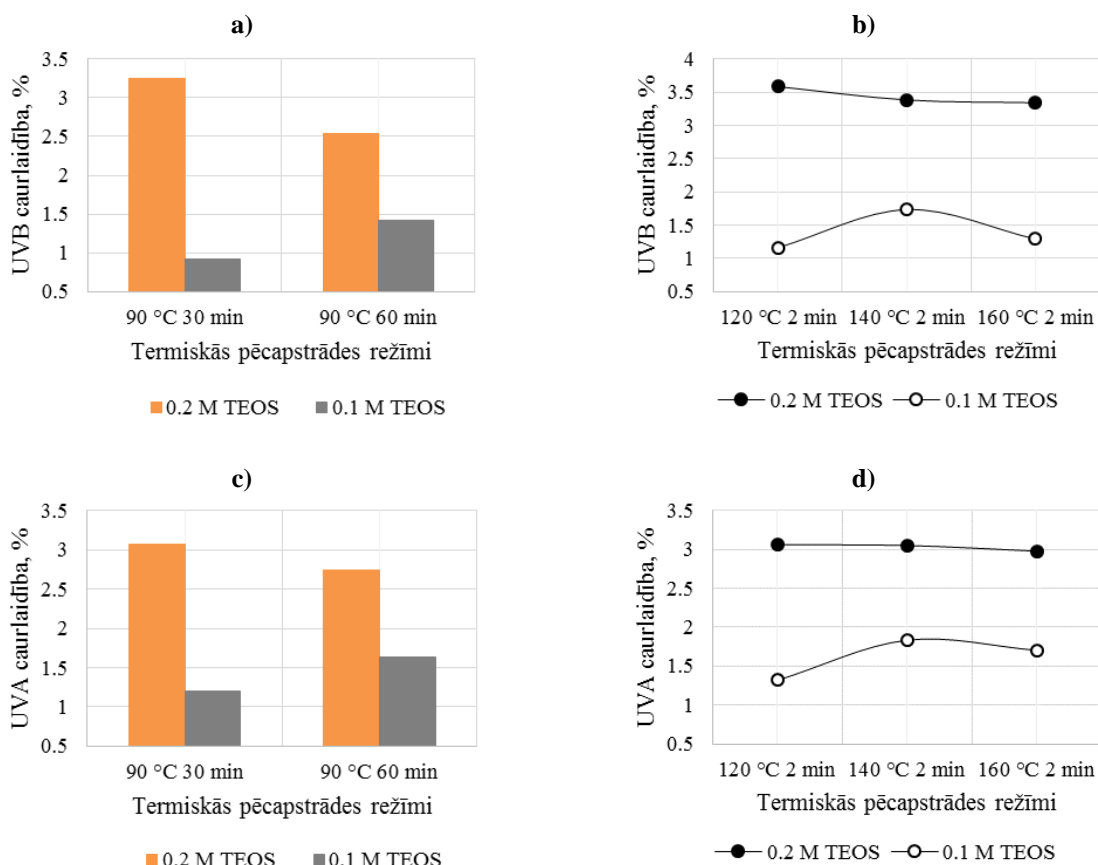
Sākotnēji paraugi apstrādāti ar 0.2 M TEOS solu modificētu variējot CAD vai CSH koncentrācijas. Ar iegūtajiem soliem apstrādāto tekstilmateriāla paraugu mikrofotogrāfijas liecina, ka iegūts nekvalitatīvs, pārāk biezs pārklājums (3.73. att., a). Samazinot TEOS koncentrāciju līdz 0.1 M, iegūtie pārklājumi veidojas plāni, vienmērīgi, tie sastāv no dažādu izmēru individuālām daļiņām un to aglomerātiem (3.73. att., b).



3.73. att. Pārklājuma struktūras izmaiņas atkarībā no TEOSa koncentrācijas (5 mas.% CAD sols)

a) 0.2 M TEOS sols, b) 0.1 M TEOS sols

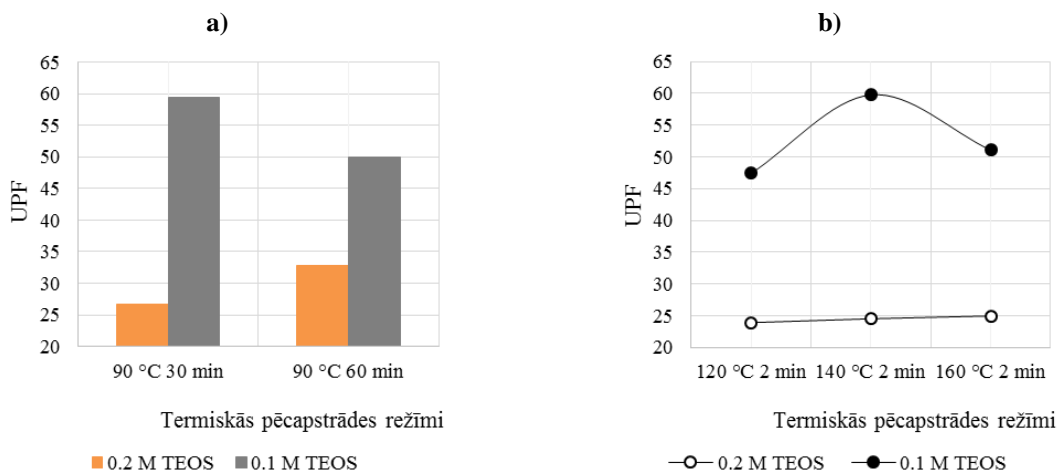
No 3.74. attēla grafikiem (a - d) var redzēt, ka pakļaujot audumu apstrādei ar lielākas TEOS koncentrācijas solu, gan UVB, gan UVA spektra caurlaidība ir lielāka salīdzinājumā ar paraugiem, kas apstrādāti ar 0.1 M TEOS solu. Samazinot par 0.1 M TEOS koncentrāciju UVB caurlaidība samazinājusies ~3 reizes pie vairākiem termiskās pēcapstrādes režīmiem (90 °C temperatūrā 30 minūtes, 120 °C un 160 °C temperatūrā 2 minūtes), pie pārējiem termiskās pēcapstrādes režīmiem UVB caurlaidība samazinās ~2 reizes (90 °C temperatūrā 60 minūtes un 140 °C temperatūrā 2 minūtes) (3.74. att., a-b). Savukārt UVA caurlaidība pie visiem termiskās pēcapstrādes režīmiem samazinās 2 reizes, izņemot 90 °C temperatūrā 30 minūtes, kur UVA caurlaidība samazinājusies 3 reizes (3.74. att., c-d).



3.74. att. UVB un UVA caurlaidība atkarībā no TEOS koncentrācijas (5 mas.% CAD sols) un termiskās pēcapstrādes režīmiem

No 3.75. attēla a grafikiem var redzēt, ka UPF vērtības ar 5 mas.% CAD (0.2 M TEOS) solu (termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 un 60 minūtes) ir attiecīgi 2,2 reizes un 1,5 reizi mazākas nekā ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādāto paraugu UPF (termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 un 60 minūtes).

Arī termiskās pēcapstrādes laiku samazinot līdz 2 min., bet paaugstinot temperatūru robežās no 120 līdz 160 °C, ar 0.1 M TEOS sola sastāvā apstrādātā tekstilmateriāla UPF visā eksperimentālo temperatūru diapazonā ievērojami pārsniedz attiecīgās UPF aprēķinātās vērtības ar 0.2 M TEOS, pie 120 °C un 160 °C – divas reizes, bet veicot termisko pēcapstrādi 140 °C temperatūrā pat 2,4 reizes (3.75. att., b).



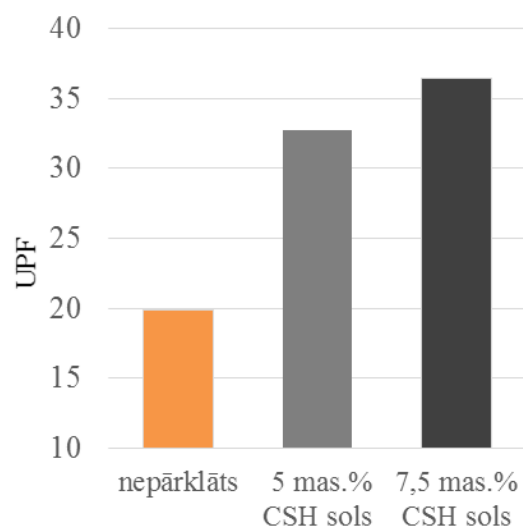
3.75. att. TEOS koncentrācijas ietekme uz paraugu UPF (5 mas.% CAD sols)

Tādējādi samazinot TEOS koncentrāciju līdz 0.1 M, ar 5 mas.% CAD solu apstrādātā kokvilnas tekstilmateriāla iegūta minimālā UPF kategoriju ir 45 UPF, ja termiskā pēcapstrāde ilgst 2 minūtes pie temperatūras 120 °C un 50+ UPF, ja temperatūra sasniedz 140 °C un vairāk, vai arī palielinot termiskās apstrādes laiku robežās no 30 līdz 60 min., bet pazeminot apstrādes temperatūru līdz 90 °C.

B) Ar CSH solu modificēta tekstilmateriāla UV aizsardzība

Kā iepriekš eksperimentāli noskaidrots (3.3.1. apakšnodaļa), tikai divas minūtes ilgstoša termiskā pēcapstrāde pie 100 °C ir pieļaujama, ja tekstilmateriāls modificēts ar CSH solu, jo palielinot to virs 100 °C sākas kokvilnas destrukcija.

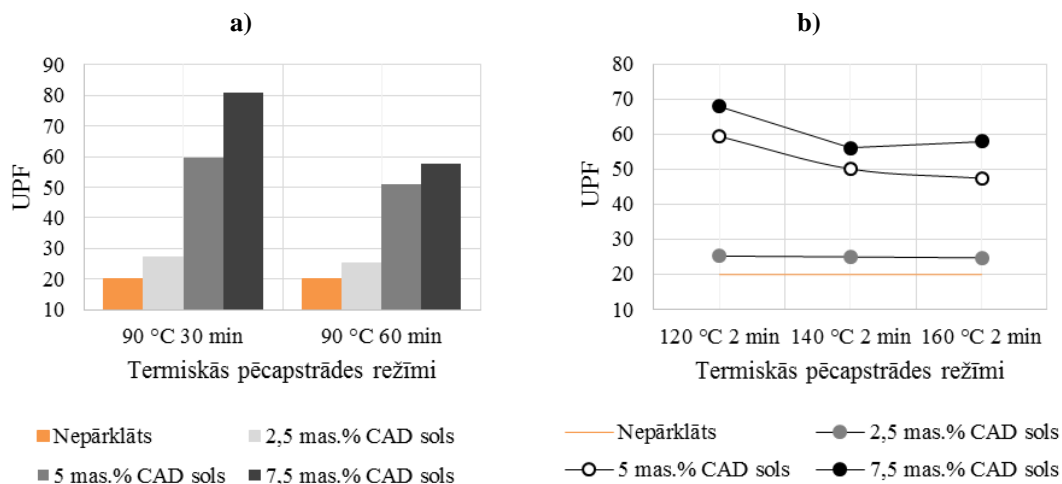
No grafika var redzēt, ka CSH koncentrācijai (0.1 M TEOS) solā robežās no 5 mas.% līdz 7,5 mas.% nav būtiskas ietekmes uz paraugu UPF (3.76. att.), tā kā pēc apstrādes ar 5 mas.% CSH (0.1 M TEOS) solu UPF kategorija ir 30 UPF, bet pēc apstrādes ar 7,5 mas.% CSH (0.1 M TEOS) solu kategorija ir 30 - 40 UPF, abos gadījumos nodrošinātā UPF kategorija sniedz labu UV aizsardzību (3.12. tab.), bet tomēr nenodrošina maksimālo aizsardzību.



3.76. att. Ar CSH (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilmateriāla UPF (termiskā pēcapstrāde 100 °C temperatūrā 2 min.)

C) UV aizsardzība atkarībā no termiskās pēcapstrādes un CAD koncentrācijas

No 3.77. attēlā grafikiem (a-b) redzams, ka ar 2,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētās kokvilnas tekstilmateriāla UPF praktiski neatšķiras no UPF, ko nodrošina nemodificēts tekstilmateriāls. Palielinot sola CAD koncentrāciju līdz 5 mas.%, modificētā tekstilmateriāla UPF strauji palielinās, UPF pieauguma tempu ietekmē gan CAD koncentrācijas palielinājums, gan termiskās pēcapstrādes režīmu kombinācija. Eksperimentu robežās augstākais UPF, kas 4 reizes pārsniedz nemodificēta tekstilmateriāla attiecīgo rādītāju, sasniegts modificējot tekstilmateriālu ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu 30 minūtes pie 90 °C temperatūras. Tas liecina, ka kompensējot augstākas temperatūras ar ilgstošāku apstrādi (30 min.), eksperimentāli ir noteikta zemāka temperatūra (90 °C), kas ļauj iegūt pārklājumus ar izcilām UV aizsardzības īpašībām (3.78. att., a-b). Ja tekstilmateriāla modifikācija jāiekļauj rūpnieciskā tekstilmateriālu apdares tehnoloģiskajā līnijā, tik ilgstošs apstrādes cikls var radīt problēmas, apdares līnijās vairāk piemērotas intensīvas īslaicīgākas apstrādes operācijas ar līdzvērtīgu efektivitāti. Kā redzams no 3.78. attēlā b grafika, gan 5 mas.%, gan 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto paraugu divas minūtes ilgstoša termiskā pēcapstrāde pie temperatūras 120 °C nodrošina izcilu UV aizsardzību (50 + UPF), temperatūru palielinot līdz 140 °C nodrošinātā UPF vērtība samazinās.

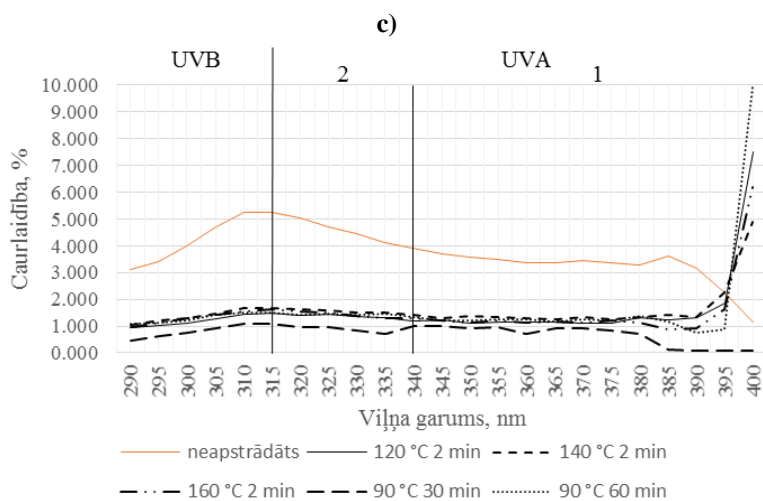
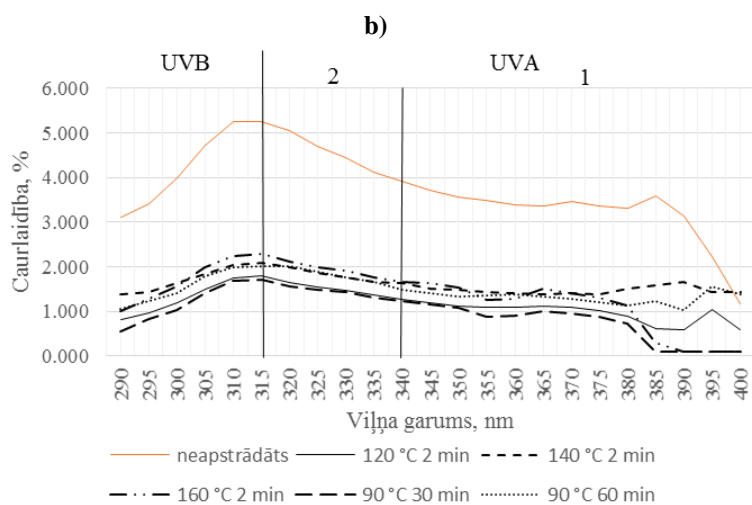
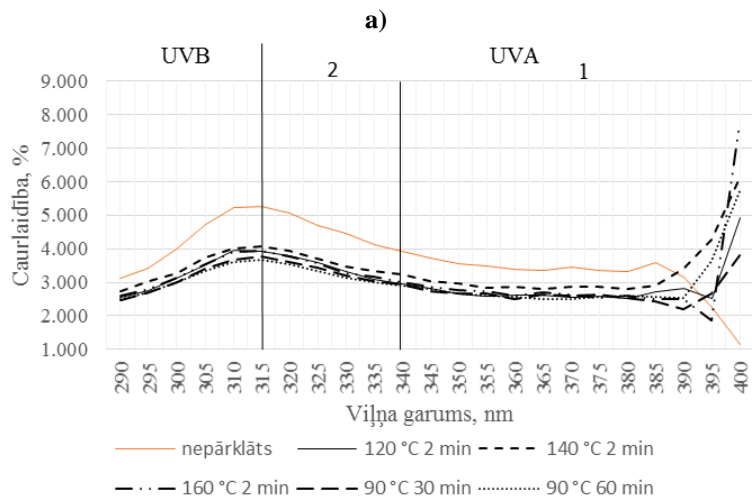


3.77. att. UV aizsardzības spējas atkarībā no CAD koncentrācijas (0.1 M TEOS) solā

No literatūras ir secināts, ka tekstilmateriāliem obligāti jānodrošina aizsardzību no UVB spektra, kas pateicoties lielai enerģijai izraisa ādas apdegumus, līdz ar ko tekstilmateriāliem obligāti jānodrošina UV aizsardzību līdz 315 nm [63, 66]. Tomēr, zinātnieki atklājuši, ka arī UVA spektrs ir bīstams cilvēka veselībai [60, 68]. Līdz ar to tekstilmateriāliem obligāti jānodrošina aizsardzība gan no UVB, gan no UVA.

3.78. attēla (a-c) grafikos redzams, ka mainoties CAD koncentrācijai (0.1 M TEOS) solā robežās no 2,5 mas.% līdz 7,5 mas.% apstrādātā tekstilmateriāla UVB un UVA spektra caurlaidība neatkarīgi no termiskās pēcapstrādes režīma samazinās salīdzinājumā ar neapstrādātu tekstilmateriālu; ar 2,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādātā tekstilmateriāla UVB viļņa garumam 315 nm atbilstošā caurlaidība samazinās par ~ 1,5 % (3.78. att., a), virzoties uz lielākiem viļņa garumiem, samazinājums stabilizējas ~ 0,5 % robežās (UVA I), termiskās pēcapstrādes režīma radītās atšķirības nav uzskatāmas par būtiskām. Līdz ar to jākonstatē, ka 2,5 mas.% CAD koncentrācija nav pietiekoša jūtama UV bloķējoša efekta iegūšanai. Caurleidības palielinājums pie viļņa garumiem 395 un 400 nm paraugiem apstrādātiem ar 2,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu ir novērots pie visiem apstrādes režīmiem (3.78. att., a).

Palielinot CAD koncentrāciju līdz 5 mas.% starojuma caurlaidība UVB un UVA II spektra daļā strauji samazinās no 5,2 % līdz 2 % (3.78. att., b), nostabilizējoties ap 1 % UVA I spektra daļā. Arī šajā gadījumā termiskās pēcapstrādes režīmus nevar uzskatīt par būtiskas ietekmes avotiem līdz viļņa garumam 380 nm. Vadoties no ekonomiskā aspekta par optimāliem uzskatāmi divi pēcapstrādes režīmi: 1) 120 °C temperatūrā 2 min.; 2) 90 °C temperatūrā 30 min. Abi nodrošina izcilu aizsardzību pret UVB un UVA spektriem.



3.78. att. UVB un UVA spektru caurlaidība

a) 2,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols, b) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols, c) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols

Labākie rezultāti iegūti pakļaujot kokvilnas tekstilmateriālu apstrādei ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu ar sekojošu divas minūtes ilgstošu termisko pēcapstrādi 120 °C temperatūrā vai 30 minūtes 90 °C temperatūrā (3.78. att., c). Visā UVB un UVA viļņu garumu diapazonā caurlaidība tikai nedaudz pārsniedz 1 % vai pat ir mazāka par to. Diezgan grūti izskaidrojams straujais visu pārklāto variantu caurlaidības pieaugums pārejot uz redzamās gaismas spektra daļu, izņemot variantu 90 °C 30 min.

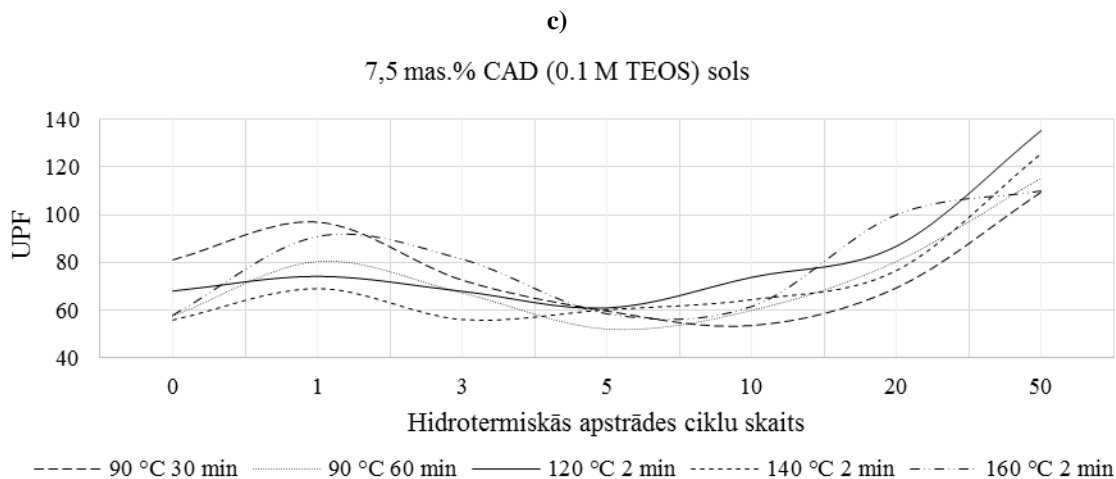
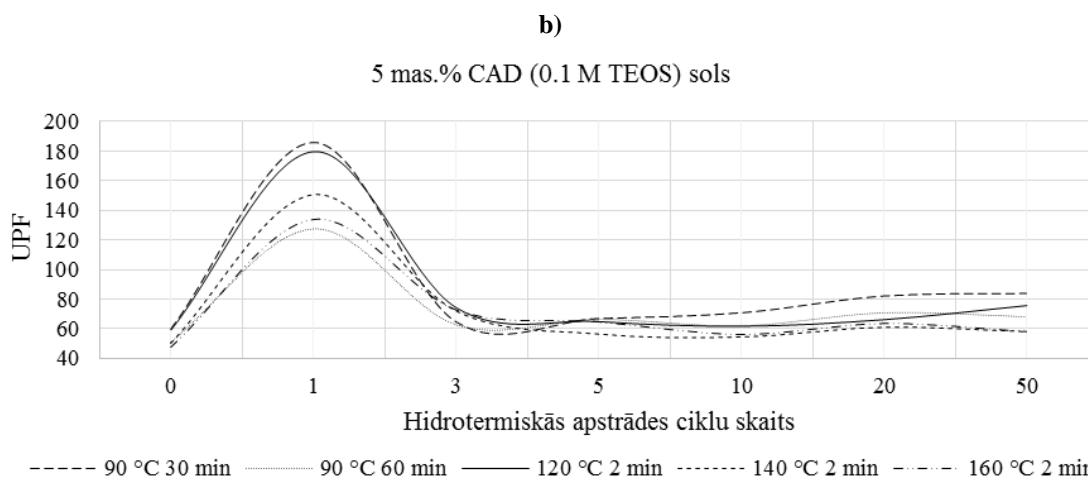
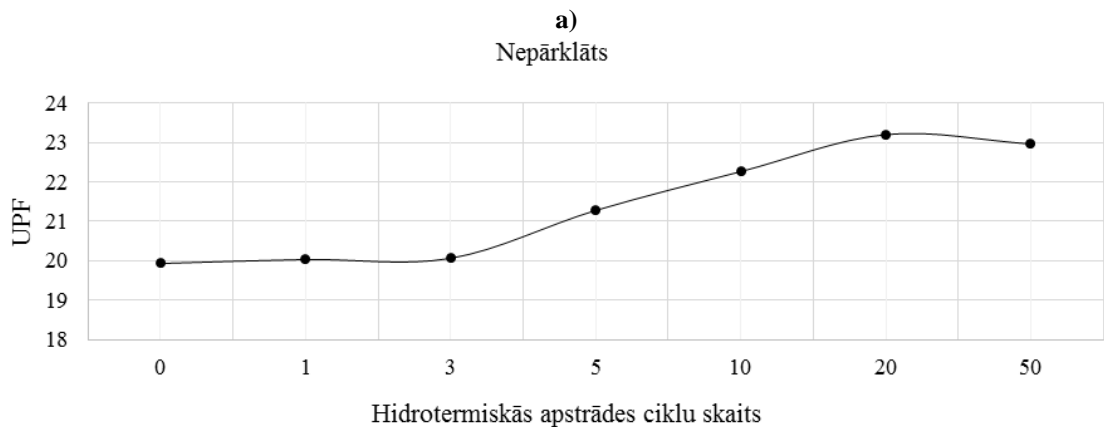
D) Hidrotermiskā apstrādes ietekme uz paraugu UV aizsardzību

Lai novērtētu piešķirto UV filtru efektivitāti lietošanas procesā neapstrādātā un modificēto variantu tekstilmateriāli pakļauti hidrotermiskai apstrādei attiecīgi 1, 3, 5, 10, 20 un 50 apstrādes cikliem.

Pēc pirmajiem trim cikliem neapstrādāta kokvilnas tekstilmateriāla UPF palielinājies tikai nedaudz (0,5 %), bet sākot ar piekto ciklu tekstilmateriāla UPF sāk strauji pieaugt, pēc 50 cikliem sasniedzot pat 13 % pieaugumu (3.74. att., a), kas skaidrojams ar kokvilnas tekstilmateriāla tilpuma aizpildījuma palielināšanos pakāpeniski uzirdinoties kokvilnas pavedienu struktūrai.

Savukārt visu ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto tekstilmateriāla paraugu variantu UPF ļoti strauji pieaug pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla ar sekojošu stabilizāciju pēc trešā hidrotermiskās apstrādes cikla, saglabājot 50 + UPF kategoriju (3.79. att., b). Arī prognozējamās ekspluatācijas īpašības labākas ir abiem iepriekš identificētajiem variantiem: 1) 120 °C temperatūrā 2 min.; 2) 90 °C temperatūrā 30 min.

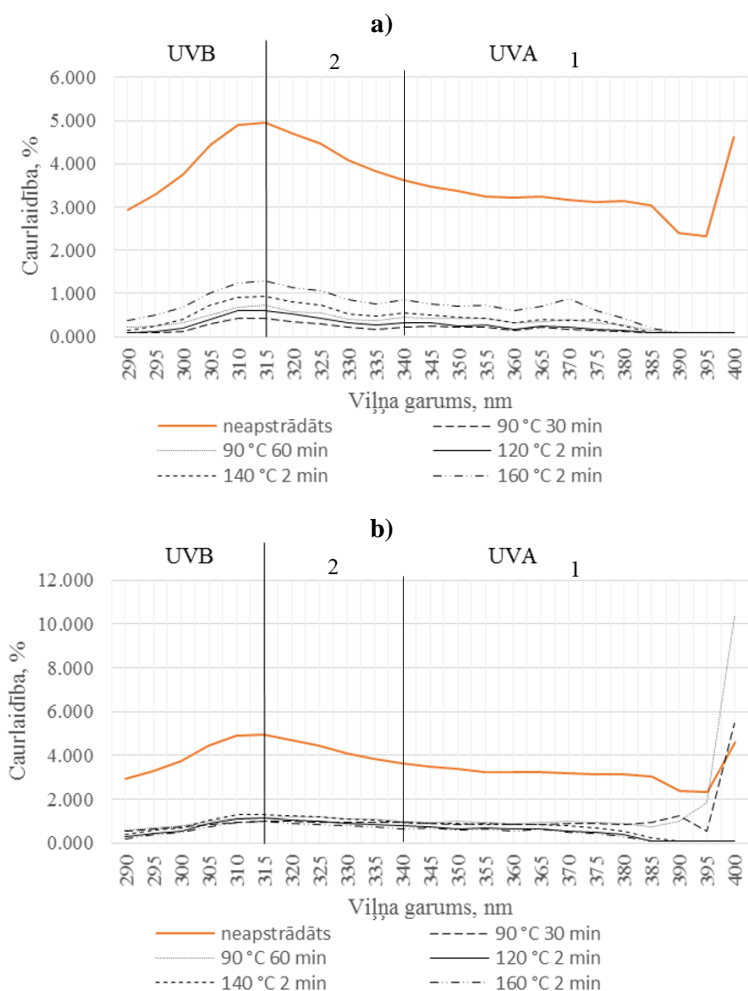
Analizējot ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto tekstilmateriāla paraugu variantu UPF izmaiņas kā reakciju uz hidrotermiskās apstrādes izmaiņām (3.79. att., c) redzams, ka visu variantu UV necaurlaidība vairāk vai mazāk palielinās pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla. Lai gan izmaiņu raksturs atšķiras atkarībā no piemērotās pārklājuma termiskās pēcapstrādes režīma, visu eksperimentālo variantu UPF neatkarīgi no ciklu skaita ir 50+ UPF kategorijas līmenī. Par optimālu kombināciju uzskatāms ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētais tekstilmateriāla variants, kas pakļauts 2 min. ilgstošai termoapstrādei pie 120 °C; tas nodrošina stabili, ne zemāku par 60 UPF pēc pirmajiem pieciem hidrotermiskās apstrādes cikliem, strauji palielinot UV bloķēšanas potenciālu pēc turpmākajiem hidrotermiskās apstrādes cikliem. Šādā procesā modificētie kokvilnas tekstilmateriāli spēj nodrošināt ilgstošu UV aizsardzību agresīvos ārvides apstākļos.



3.79. att. Neapstrādāta un apstrādāta kokvilnas tekstilmateriāla UPF vērtības pēc hidrotermiskās apstrādes

Atšķirībā no paraugiem apstrādātiem ar 5 mas.% CAD, ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto paraugu UPF palielinājums pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla nav tik straujš: mazākais 1,1 reizes, jeb par 8 % pie termiskās pēcapstrādes 120 °C temperatūrā 2 min. un lielākais 1,6 reizes, jeb par 36 % pie termiskās pēcapstrādes 160 °C temperatūrā 2 min. (3.79. att., b un c). Tomēr ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

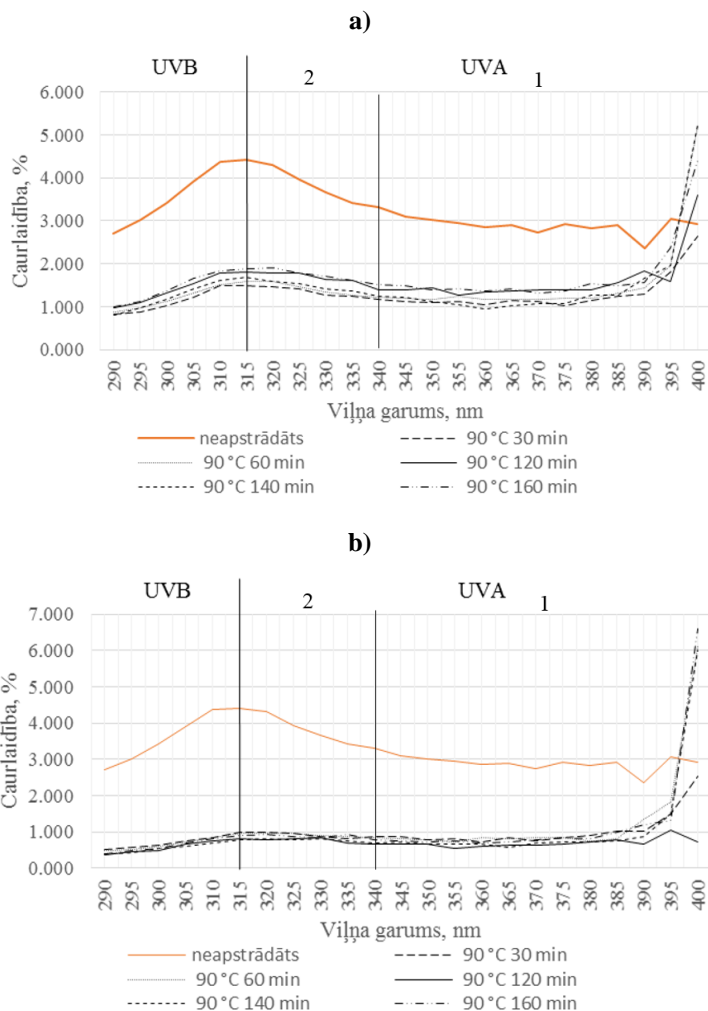
modificēto paraugu UPF sāk ievērojami palielināties pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikla sasniedzot maksimālo vērtību UV diapazona pēc 50 cikliem: mazākais palielinājums salīdzinājumā ar modificēto materiālu pirms hidrotermiskās apstrādes par 26 % ir pie termiskās pēcapstrādes 90 °C 30 min. un lielākais - par 55 % pie termiskās pēcapstrādes 140 °C 2 min. (3.79. att., c.). Tā ir liela atšķirība no paraugiem apstrādātiem ar 5 mas.% CAD solu, kur visu variantu UPF pēc trešā hidrotermiskās apstrādes cikla stabilizējas atbilstoši 50 + UPF kategorijai. Līdz ar to jāsecina, ka gan ar 5 mas.% CAD, gan 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilmateriāla UV aizsardzība paliek nemainīga vai palielinās līdz pat 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem un atbilst 50+ UPF kategorijai, kas savukārt nozīmē izcilu UV aizsardzību.



3.80. att. Kokvilnas tekstilmateriāla UVB un UVA spektru caurlaidība pēc 1 hidrotermiskās apstrādes cikla

a) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols, b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols

Salīdzinot 3.80. att. a un b grafikus ar 3.81. att. a un b grafikiem var redzēt, ka gan pēc pirmā, gan pēc piecdesmitā hidrotermiskās apstrādes cikla ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētais kokvilnas tekstilmateriāls nodrošina vienmērīgāku aizsardzību pret UVB un UVA spektriem.



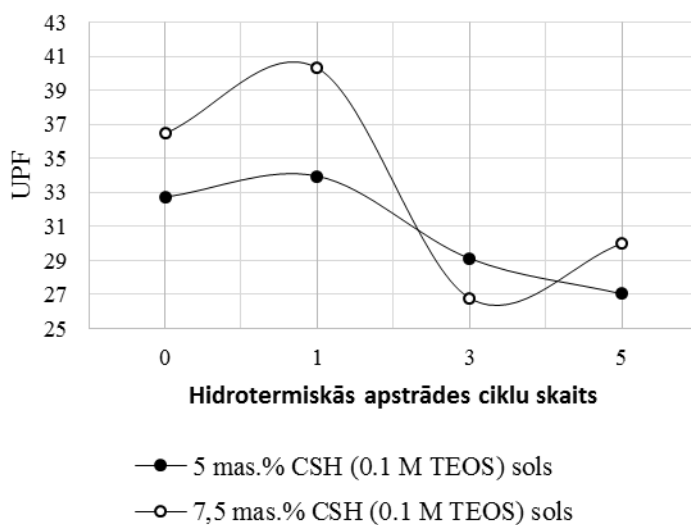
3.76. att. Kokvilnas tekstilmateriāla UVB un UVA spektru caurlaidība pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikla
 a) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols, b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols

Konstatētais kokvilnas tekstilmateriāla UPF palielinājums hidrotermiskās apstrādes rezultātā skaidrojams ar tekstilmateriāla sarukumu, ko rada blīvuma palielinājums samazinoties atstarpēm starp pavedieniem, līdz ar to samazinās arī porainība [3]. Bez tam apstrādes procesā ar solu no tekstilmateriāla virsmas nomazgājas arī tā ražošanā lietotās apretes. Kā arī iegūtiem amorfiem pārklājumiem piemīt sliktāka stabilitāte salīdzinājumā ar kristāliskajiem pārklājumiem, kas varēja novest pie pārklājuma struktūras neatgriezeniskām izmaiņām, kā to var redzēt SEM mikrofotogrāfijās (3.3.2. apakšnodaļā).

Konstatētā kokvilnas tekstilmateriāla pārklājuma (CAD sols) izturība un stabilitāte pret daudzkārtīgu hidrotermisko apstrādi norāda uz labu adhēziju starp pārklājumu un tekstilmateriāla virsmu, kas ir būtiska sola-gēla tehnoloģijas praktiskam lietojumam tekstilnozarē.

Samērā grūti izskaidrojams ir UPF palielinājums vienreizējas un/vai atkārtotas hidrotermiskās apstrādes rezultātā. Vairākos darbos ir minēts, ka pēc mazgāšanas ar citu sastāvu soliem modificētu paraugu UPF palielinās. Darbā [77] konstatēts, ka ar titāna nanosolu modificētu paraugu UPF pēc 40 hidrotermiskās apstrādes cikliem palielinājies pat par 270 %, savukārt ar titāna-silīcija nanosolu modificējot attiecīgi par 65 %. Tomēr autori nav izskaidrojuši UPF palielinājuma iemeslus. R. Paul un līdzautoru darbā [72] minēts par UPF palielinājumu pēc 10 hidrotermiskās apstrādes reizēm apstrādājot kokvilnas tekstilmateriālu ar TiO₂ solu, kas izskaidrots ar kokvilnas tekstilmateriāla sarukumu. A. Farouk [209] un citi izklāsta, ka apstrādājot kokvilnas tekstilmateriālus ar TiO₂/SiO₂ nanodaļiņam uz butāna tetrakarboksilsābes bāzes pēc pirmās hidrotermiskās apstrādes ir novērota īpašību uzlabošanās, līdz ar ko autori turpmākos pētījumos pirmo mazgāšanu ir iekļāvuši apstrādes procesā, īpašību uzlabošanu autori skaidro ar nevajadzīgo līdzproduktu izmazgāšanos. Domājams, ka gan darba ietvaros, gan minēto citu autoru pētījumos tekstilmateriālu modifikācijas un termiskās pēcapstrādes procesā notiek izmaiņas tekstilmateriālu pārklājumu virsmas ķīmiskajās un morfoloģiskajās struktūrās, kas turpinās hidrotermiskās apstrādes procesos. Šo izmaiņu izpēte jāveic turpmāko eksperimentu gaitā.

Atšķirībā no paraugiem pārklātiem ar CAD solu, ar CSH solu pārklāto paraugu UPF pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla nedaudz palielinās pie abām koncentrācijām, tomēr nerasniedz 50+ UPF kategoriju, bet pēc tam strauji samazinās (3.82. att.), labākajā gadījumā (7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols) līdz 30 UPF kategorijai pēc pieciem hidrotermiskās apstrādes cikliem. Jāatzīmē arī fakts, ka neskatoties uz to, ka ar termisko pēcapstrādi 100 °C temperatūrā 2 minūtes vizuāli nebija redzamas tekstilmateriālu destruktijas pazīmes (3.3.1. apakšnodaļā), tie izturēja tikai piecus hidrotermiskās apstrādes ciklus (3.82. att.). Līdz ar to var secināt, ka darba ietvaros apskatītajās sola koncentrācijās un sastāvos CSH nav piemērots dabisko šķiedru tekstilmateriālu apstrādei, jo pēc to apstrādes ar CSH solu, paraugu termiskās pēcapstrādes un hidrotermiskās apstrādes procesu iedarbībā notiek paraugu destruktija.



3.82. att. Ar CSH sols modificēta kokvilnas auduma UPF pirms un pēc hidrotermiskās apstrādes

Kopumā secināts, ka lokvilnas tekstilmateriāla modifikācija ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu pie atšķirīgiem termiskās pēcapstrādes režīmiem nodrošina vienlīdz perfektu aizsardzību UVB un UVA spektra diapazonā, kā arī atbilstību 50+ UPF kategorijai, kas nozīmē izcilu UV aizsardzību, un to saglabā līdz pat 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.

Pateicoties UV caurlaidības rādītāju vājai reakcijai uz termiskās pēcapstrādes režīmu izmaiņām samērā plašās robežās, iespējams tos variēt atbilstoši tehnoloģiskiem ierobežojumiem un ekonomiska rakstura faktoriem.

Arī kokvilnas tekstilmateriāla modifikācija ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu ļauj iegūt noturīgus UV aizsardzības efektus, tomēr jāērēķinās ar stingrākiem ierobežojumiem termiskās pēcapstrādes režīmu izvēlē. Tai pat laikā ir iespēja atrast tekstilmateriālu apdares tehnoloģijai atbilstošas termiskās pēcapstrādes parametru kombinācijas. Bez tam, praktiskos lietojumos ne vienmēr vajadzīga pārmērīgi augsta UV aizsardzība, kas ļauj izveidot ekonomiskākus sastāvus paredzamajam lietojumam pietiekoša aizsardzības līmeņa nodrošināšanai.

Izvēloties kokvilnas tekstilmateriālu modifikācijas metodes un sastāvus jāērēķinās ne tikai ar nepieciešamo UV aizsardzības līmeni, bet jāņem vērā arī modifikācijas izraisītā komforta līmeņa izmaiņas, ja tekstilija paredzēta apģērbu sortimentam un tiešai saskarei ar ādu.

Darba ietvaros apskatītajos sola sastāvos un koncentrāciju robežās CSH nav piemērots dabisko šķiedru tekstilmateriālu apstrādei, jo notiek ar CSH solu modificēto celulozes bāzes tekstilmateriālu destrukcija termiskās pēcapstrādes un hidrotermiskās apstrādes procesos.

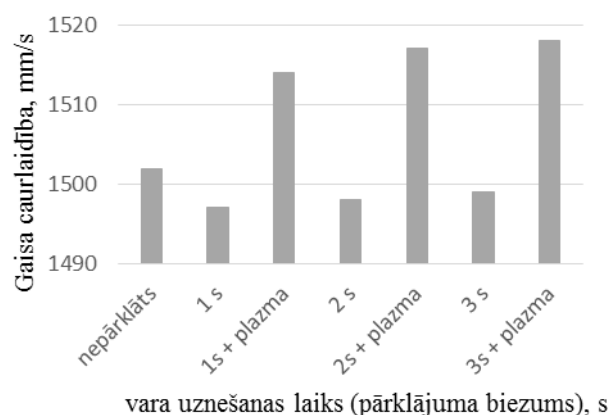
3.6. Gaisa caurlaidība

Tekstilmateriālu gaisa caurlaidībai, ko raksturo to spēja laist cauri gaisu, ir būtiska ietekme uz tekstilmateriālu izvēli lietošanai dažādu tipu patēriņa un speciālos apģērbos, kā arī tehniskos un medicīnas izstrādājumos (filtri, izpletņi, buras) [210]. Galvenie tekstilmateriālu struktūras parametri, kas ietekmē tekstilmateriālu gaisa caurlaidību vispārējā gadījumā, ir tekstilmateriālu veidojot lietoto šķiedru/pavedienu lineārais blīvums, izcelsme un struktūra, kā arī piemērotā šķiedru/pavedienu savienošanas tehnoloģija tekstilmateriāla iegūšanai un tā virsmas blīvums. No minētajiem parametriem atkarīgs kanālu (poru) daudzums, forma un izmēri, pa kuriem tekstilmateriālā pārvietojas gaisa plūsmas. Austos tekstilmateriālos var identificēt trīs poru grupas [210]:

1. poras, kas atrodas šķiedru sieniņu iekšpusē - šķiedru iekšējā porainība; tā atkarīga no šķiedru izcelsmes, smalkuma, formas,
2. poras, kas veidojas starp šķiedrām pavedienos un ir atkarīgas no šķiedru smalkuma, šķērsriezuma formas, no groduma, pavedienu virsmu kontūrām un vēršanas metodes,
3. poras starp pavedieniem tekstilmateriālā, to parametri atkarīgi no pinuma struktūras (pinuma tips un tekstilmateriāla virsmas blīvums).

A) Termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklātu paraugu gaisa caurlaidība

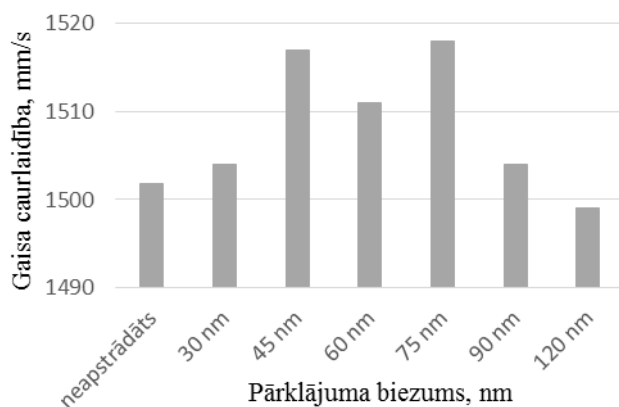
Veiktajā eksperimentā iegūtie rezultāti ļauj uzskatīt, ka kokvilnas tekstilmateriāla virsmas pārklāšana ar varu termiskās iztvaicēšanas procesā ar apstrādes laiku robežās no 1 s līdz 3 s ar pārklājuma biezumu no 60 līdz 180 nm praktiski neietekmē paraugu gaisa caurlaidību, tā kā maksimālais konstatētais pārklāta parauga gaisa caurlaidības samazinājums nepārsniedz 0,33 %, ja pirms vara uznešanas paraugi pakļauti attīrīšanai gaisa plazmas vidē, to gaisa caurlaidība palielinās vidēji par 1,13 % (3.83. att.), ko var izskaidrot ar poru attīrīšanas efektu no taukiem un vaskiem, kas nelielā daudzumā atrodas kokvilnas šķiedrās, kā arī uznesti tehnoloģiskajos procesos. Kopumā iegūtie rezultāti liecina, ka uzklātās vara kārtiņas ir pietiekoši plānas, lai neveidotu uz virsmas gaisa necaurlaidīgu metāla foliju, pārklājums uz kokvilnas tekstilmateriāla virsmas nemaina tas reljefu, saglabājot izejas struktūras gaisa caurlaidību. Šo secinājumu apstiprina arī veiktie elektrovadītspējas testi, kas neuzrāda modificētās virsmas elektrovadītspēju.



3.83. att. Termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklāta kokvilnas auduma gaisa caurlaidība, 100 Pa

1 s – 60 nm biezs vara pārklājums, 2 s - 120 nm biezs vāra pārklājums, 3 s – 180 nm biezs vara pārklājums

Līdzīgi secinājumi attiecas arī uz magnetrona izputināšanas procesā pārklātiem kokvilnas tekstilmateriāliem - eksperimentā iegūtās tekstilmateriāla paraugu gaisa caurlaidības pēc vara uznešanas uzskatāmas par praktiski līdzīgām, drīzāk lielākām nekā paraugiem pirms uznešanas; atšķirības starp nepārklāto un pārklāto paraugu gaisa caurlaidības rādītājiem nepārsniedz 1,13 % uznešanas laikam un pārklājuma biezumam mainoties samērā plašā intervālā (3.84. att.).



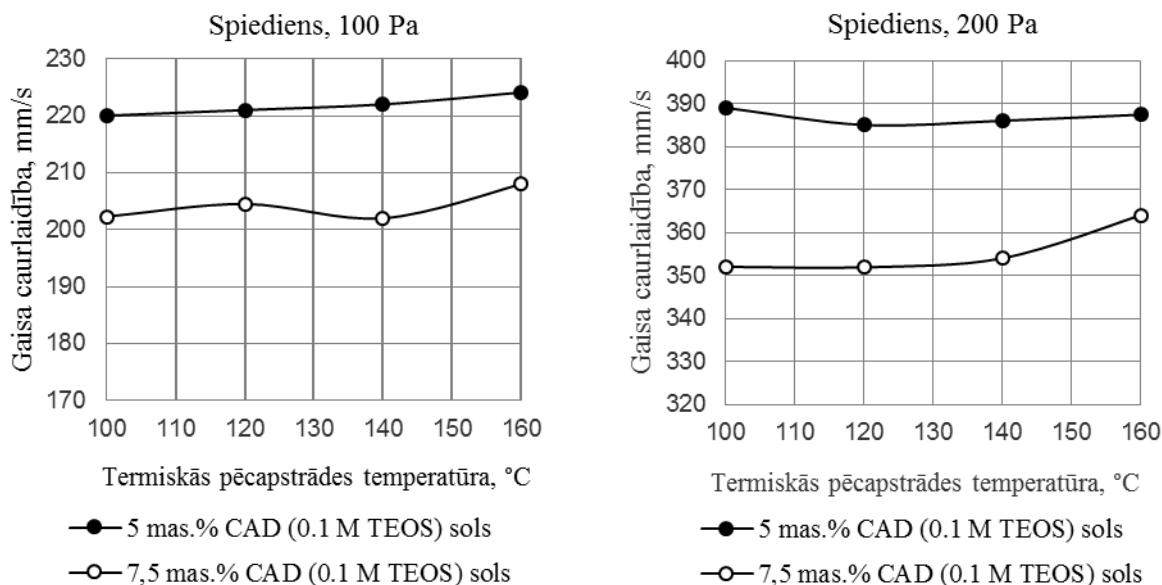
3.84. att. Magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklāta kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidība, 100 Pa

B) Sola sastāva un termiskās pēcapstrādes parametru ietekme uz kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidību

Ar solu modificēto tekstilmateriālu gaisa caurlaidības izmaiņas ietekmē ne tikai sola sastāvs un uznešanas tehnoloģija, bet arī tādi tekstilmateriāla parametri kā pinums, virsmas blīvums un biezums, pavedienu lineārais blīvums un grodums, plūksnojums, uznesto aprešu izmazgāšanās [1]. Lai izslēgtu tekstilmateriāla struktūras parametru ietekmes, apakšnodaļā

analizēta dažādos režīmos neapstrādātu un modificētu kokvilnas tekstilmateriāla (Nr. 3, 3.1. tab., 3.1. apakšnodaļa) paraugu gaisa caurlaidība pie testa spiediena 100 un 200 Pa.

3.85. attēlā grafikos redzams, ka paraugu gaisa caurlaidības vērtības tikai nedaudz palielinās palielinoties termiskās pēcapstrādes temperatūrai no 100 °C līdz 160 °C, līdz ar to var teikt, ka termiskai pēcapstrādes temperatūrai eksperimenta robežās nav būtiskas ietekmes uz paraugu gaisa caurlaidību, jo atšķirības starp variantiem nepārsniedz 3,5 %.



3.85. att. Termiskās pēcapstrādes temperatūras un CAD koncentrācijas ietekme uz modificētā tekstilmateriāla gaisa caurlaidību (termiskās pēcapstrādes laiks 2 minūtes)

Ievērojami lielāka ietekme vērojama no CAD koncentrācijas un testa spiediena mijiedarbības efektiem. Pie spiediena 100 Pa, paraugu apstrādātu ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu gaisa caurlaidība mainās 1,8 % robežās, palielinot CAD koncentrāciju līdz 7,5 mas.% gaisa caurlaidības izmaiņu diapazons palielinās līdz 2,9 %, savukārt vidēji par 8 % labāka ir ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta parauga gaisa caurlaidība (3.80. att.). Pie spiediena 200 Pa, paraugu apstrādātu ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu gaisa caurlaidība mainās attiecīgi 0,3 un 1,2 % robežās un arī pie testa spiediena 200 Pa vidēji par 8 % labāka ir ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta parauga gaisa caurlaidība (3.85. att.).

Apskatot konkurējošus pēcapstrādes variantus zemāku temperatūru kompensējot ar ilgstošāku apstrādes laiku, saglabājot iepriekšējos CAD koncentrācijas un spiediena variantus I pakāpes daudzfaktoru eksperimentā 2^3 iegūts adekvāts matemātiskais modelis (3.1. vienādojums), kas ļauj novērtēt termiskās pēcapstrādes laika, testa spiediena un TEOS koncentrācijas, kā arī mijiedarbības efektu ietekmi uz paraugu gaismas caurlaidību.

Vienādojuma koeficienti liecina, TEOS koncentrācijas ietekme ir stiprāka, nekā apstrādes laika ietekme, bet vērā ņemami ir mijiedarbības efekti, īpaši termiskās pēcapstrādes laiks jāskatās ar TEOS koncentrāciju.

$$y_G = 306,38 - 5,13 x_t + 81,63 x_p - 10,38 x_T - 0,36 x_t x_p - 6,88 x_t x_T - 1,63 x_p x_T + 0,38 x_t x_p x_T, \quad (3.1.)$$

kur y_G - gaisa caurlaidība;
 x_t - termiskās pēcapstrādes laiks, min;
 x_p - spiediens, Pa;
 x_T - TEOS koncentrācija, mas.%.

Lai precīzāk novērtētu mijiedarbību efektus, vienādojums (3.1.) reducēts uz divu faktoru vienādojumiem fiksējot termiskās pēcapstrādes laiku galējos stāvokļos 30 min. un 60 min., rezultātā turpmākai izpētei pakļauti vienādojumi (3.2. un 3.3.) un to ģeometriskā interpretācija divu dimensiju šķēlumu formā (3.81. att.).

t = 30 min.:

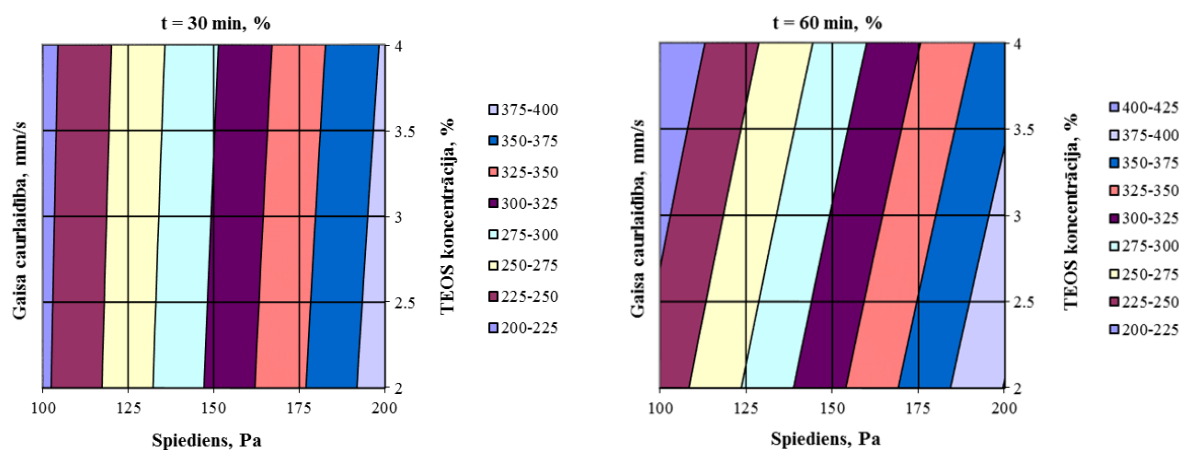
$$y_G = 301,25 + 82 x_p - 3,5 x_T - 2 x_p x_T, \quad (3.2.)$$

t = 60 min.:

$$y_G = 301,25 + 81,25 x_p - 17,25 x_T - 1,25 x_p x_T, \quad (3.3.)$$

kur y_G - gaisa caurlaidība;
 x_p - Spiediens, Pa;
 x_T - TEOS koncentrācija, mas.%.

No vienādojumiem (3.2. un 3.3.), kā arī divu dimensiju šķēlumiem (3.86. att.) redzams, pie apstrādes laika t = 30 min. TEOS koncentrācijas ietekme ir maz jūtama, bet palielinot apstrādes laiku līdz t = 60 min. TEOS koncentrācijai palielinoties, gaisa caurlaidība samazinās visā spiedienu diapazonā, par ko liecina lielāks līmeņlīniju slīpums (3.86. att.).



3.86. att. TEOS koncentrācijas un testa spiediena ietekme uz modificēto paraugu gaisa caurlaidību

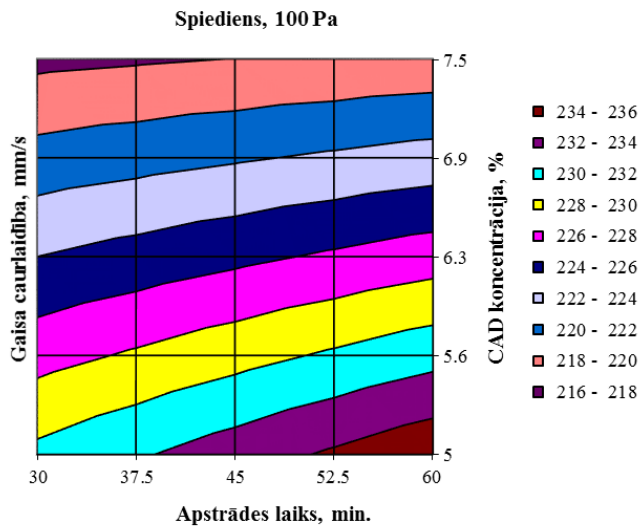
Pilna faktoru eksperimenta 2^2 rezultātā iegūtie matemātiskie modeļi (3.4. un 3.5. vienādojumi) un to ģeometriskās interpretācijas divu dimensiju šķēlumu formā (3.87. un 3.88. att.) ļauj secināt (fiksēti parametri – 0.1 M TEOS, pēcapstrādes temperatūra 90 °C):

1. abu vienādojumu lineārie locekļi rāda, ka modificētā kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidību vairāk ietekmē CAD koncentrācija, un apstrādes laika un koncentrācijas mijiedarbība, mazāk apstrādes laiks, tas atspoguļojas arī ģeometriski – abos gadījumos atbalsts virsma ir liekta (3.87. un 3.88. att.),
2. noteicošā ietekme uz modificēto tekstilmateriālu gaisa caurlaidību ir CAD koncentrācijai sola šķīdumā, koncentrācijai palielinoties gaisa caurlaidība samazinās, par to liecina salīdzinoši liels lineāro x_c koeficientu vērtības (3.4. un 3.5. vienādojumi),
3. pieaugot apstrādes laikam gaisa caurlaidība palielinās (3.87. un 3.88. att.).

Pie spiediena 100 Pa:

$$y_G = 225,5 + 1,5 x_t - 7,5 x_c - 1 x_t x_c, \quad (3.4.)$$

kur y_G - gaisa caurlaidība;
 x_t - termiskās pēcapstrādes laiks, min.;
 x_c - CAD koncentrācija, mas.%.

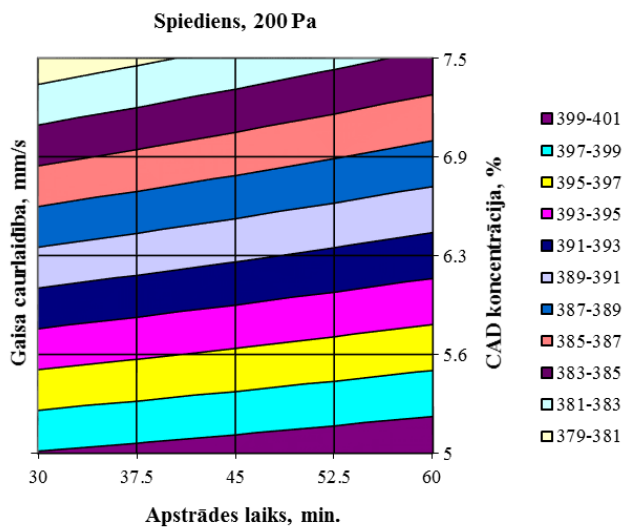


3.87. att. Paraugu gaisa caurlaidība pie termiskās pēcapstrādes temperatūras 90 °C un pie spiediena 100 Pa

Pie spiediena 200 Pa:

$$y_G = 390,7 + 1,3 x_t - 9,2 x_c + 0,5 x_t x_c, \quad (3.5.)$$

kur y_G - gaisa caurlaidība;
 x_t - termiskās pēcapstrādes laiks, min.;
 x_c - CAD koncentrācija, mas.%.

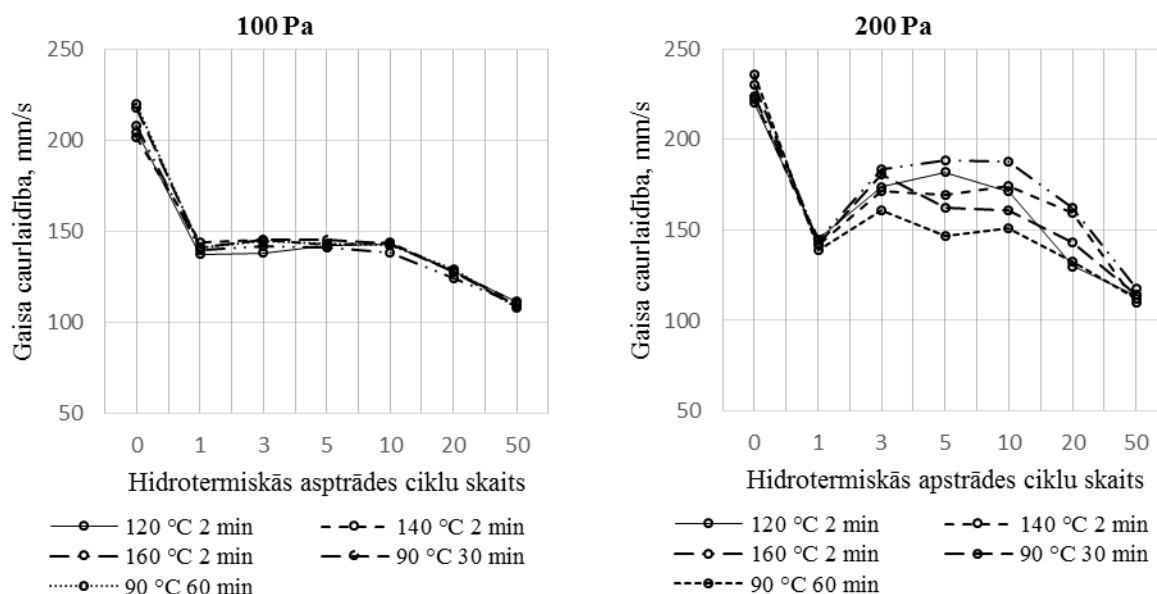


3.88. att. Paraugu gaisa caurlaidība pie termiskās pēcapstrādes temperatūras 90 °C un pie spiediena 200 Pa

C) Modificēta kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidības izmaiņas atkarībā no hidrotermiskās apstrādes

Visiem paraugiem neatkarīgi no termiskās pēcapstrādes režīmiem gaisa caurlaidība samazinās pēc hidrotermiskās apstrādes (3.89. – 3.90. att.), ko nosaka šķiedru iekšējās un starpšķiedru porainības samazinājums. No grafikiem arī var secināt, ka, palielinoties CAD koncentrācijai samazinās paraugu gaisa caurlaidība.

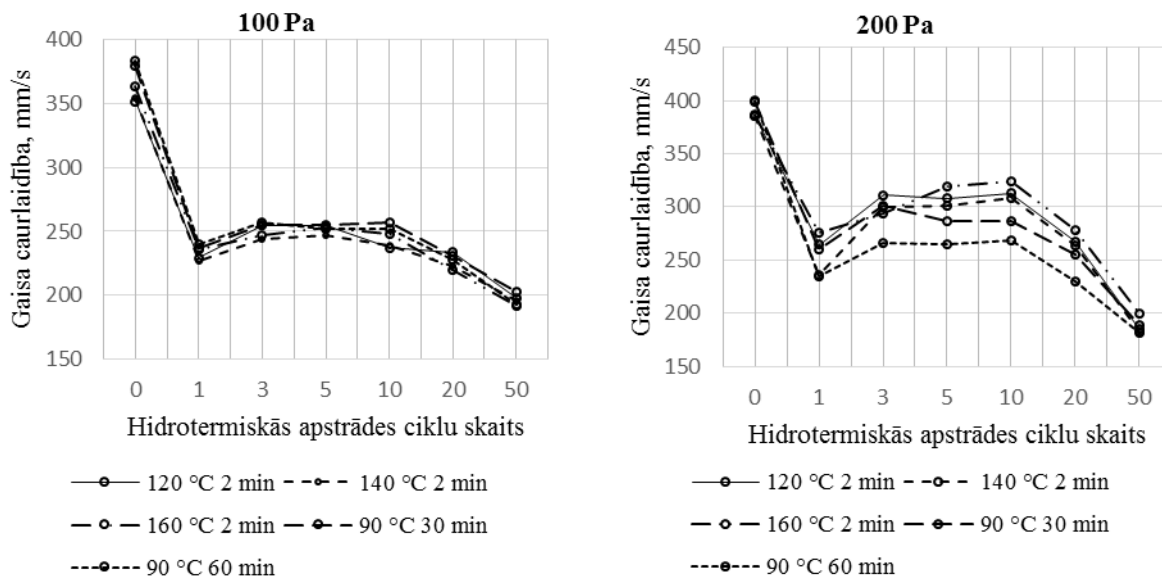
Termiskai pēcapstrādei ir vāja ietekme uz gaisa caurlaidību, par to liecina starpvariantu variācijas koeficienti (K_v): pie 100 Pa spiediena un CAD koncentrācijas 5 mas.% $K_v \leq 10\%$ un pie CAD koncentrācijas 7,5 % $K_v \leq 4\%$, bet pie spiediena 200 Pa pie CAD koncentrācijas 5 mas.% $K_v \leq 7\%$ un pie CAD koncentrācijas mas.7,5 % $K_v \leq 4\%$, kas savukārt liecina, ka izkliede ir vāja un dati ir viendabīgi, jo $K_v < 33\%$ [211].



3.89. att. Gaisa caurlaidības rezultāti paraugiem apstrādātiem ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

Samērā nelielu gaisa caurlaidības izkliedi testējot pie 100 Pa spiediena rada pēcapstrādes temperatūras izmaiņas robežās no 90 līdz 160 °C (standarta novirze (s) pie CAD koncentrācijas mas.5 % $s = 2$ un mas.7,5 % $s = 3$) apstrādātiem paraugiem un pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla, ar sekojošu izkliedes pieaugumu pie CAD koncentrācijas mas.5 % $s = 14$ līdz 20 cikliem temperatūras ietekmē (CAD koncentrācija mas.7,5 %, $s = 2$) un gandrīz bez izkliedes gaisa caurlaidības stabilizāciju pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem (standarta novirze (s) pie CAD koncentrācijas mas.5 % $s = 2$ un mas.7,5 % $s = 3$) (3.89. att.). Testējot pie 200 Pa spiediena vērojama līdzīga situācija, tikai visu variantu fiksētās gaisa caurlaidības attiecīgi lielākas, bet izkliedes izmaiņu raksturs saglabājas.

Paliekošā vidējā gaisa caurlaidība ~ 110 mm/s (100 Pa) vai 190 mm/s (200 Pa) salīdzinot attiecīgi ar nepārklāta paraugu 250 mm/s (100 Pa) un 390 mm/s (200 Pa) ir samazinājusies attiecīgi 2,27 un 2,05 reizes (3.90. att.).



3.90. att. Gaisa caurlaidības rezultāti paraugiem apstrādātiem ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

No 3.91. attēla (a) grafika redzams, ka nepārklāta tekstilmateriāla gaisa caurlaidība pie spiediena 100 Pa pēc pirmās hidrotermiskās apstrādes reizes samazinājusies par 19 %, paliekot praktiski nemainīga pēc 5 hidrotermiskās apstrādes cikliem, nedaudz palielinoties pēc desmitā hidrotermiskās apstrādes cikla un nostabilizējas šajā līmenī turpmākajos ciklos.

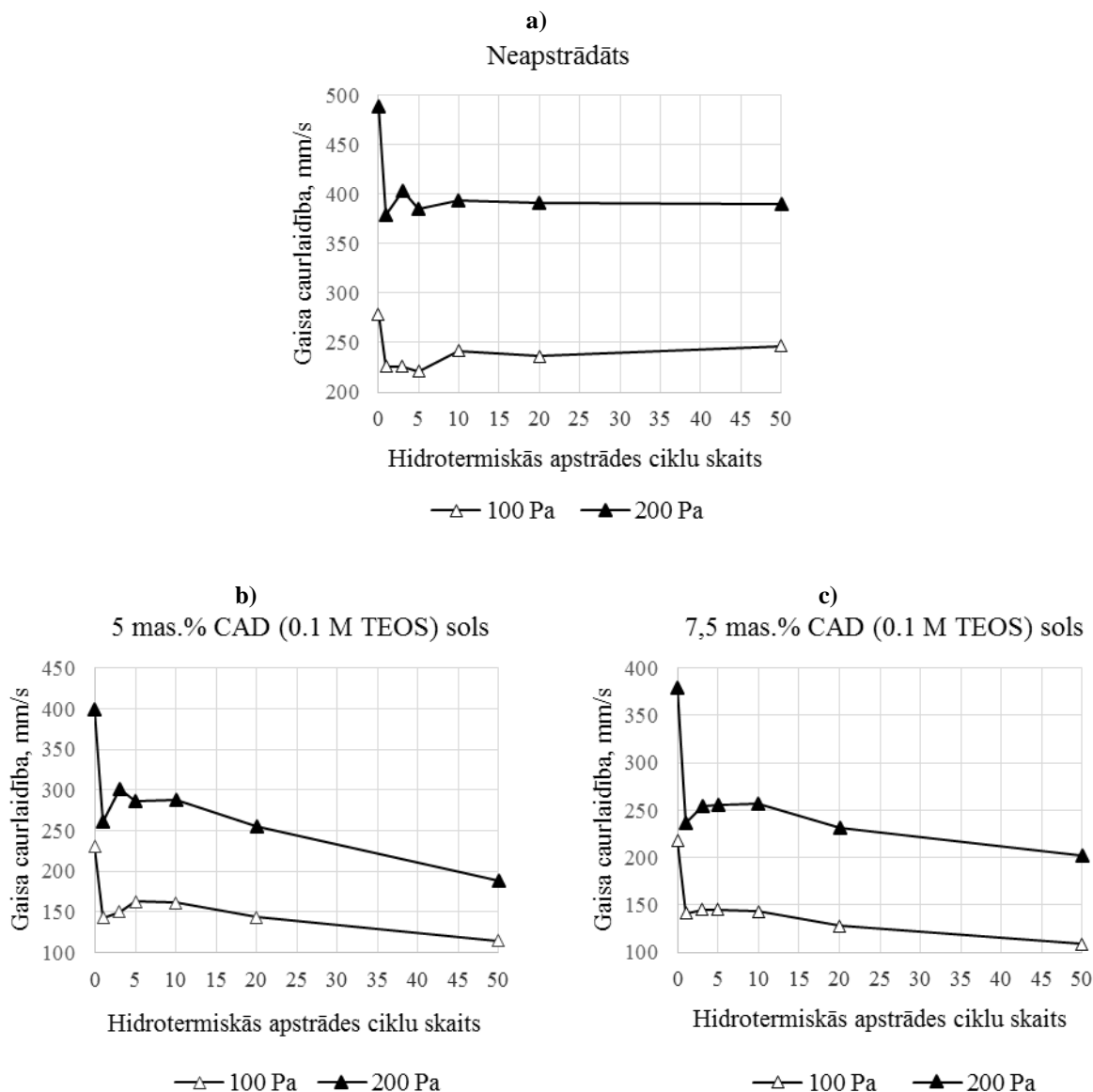
Pie spiediena 200 Pa gaisa caurlaidība samazinās pēc pirmās hidrotermiskās apstrādes par 21 %, un pēc nākamajiem hidrotermiskās apstrādes cikliem gaisa caurlaidība salīdzinājumā ar nemazgātu paraugu būtiski nemainās un samazinājums variē robežās no 18 līdz 21 % (3.91. att., a).

No 3.91. attēla (b un c) grafikiem redzams, ka pārklāto tekstilmateriālu gaisa caurlaidība pie spiediena 100 Pa pēc pirmās hidrotermiskās apstrādes reizes samazinājusies vidēji par 33 % pie apstrādes ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu un vidēji par 37 % pie apstrādes ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, no 3 līdz 10 ciklam saglabājas gaisa caurlaidības palielinājums par 17 %, ja CAD ir 5 mas.% un praktiski nemainās, ja CAD ir 7,5 mas.%. Pēc desmitā cikla gaisa caurlaidība pie abām CAD koncentrācijām praktiski lineāri konverģē uz galīgo vērtību 120 mm/s.

Pie spiediena 200 Pa gaisa caurlaidības rādītāji samazinās pēc pirmās hidrotermiskās apstrādes vidēji par 35 - 36 % neatkarīgi no koncentrācijas; pēc 3, 5 un 10 hidrotermiskās apstrādes cikla gaisa caurlaidība nedaudz palielinās, sākot ar desmiti ciklu lineāri samazinās

līdz galīgai vērtībai, kas ir par 47 % līdz 50 % mazāka salīdzinājumā ar nemazgāto paraugu (3.91. att., b un c).

Tā kā arī nemodificēta tekstilmateriāla paraugu gaisa caurlaidība pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla ievērojami samazinās par 24 % (3.91. att., a), atliek pieņemt, ka vismaz 20 % no modificēto tekstiliju gaisa caurlaidības samazinājuma attiecināmas uz tekstilmateriāla struktūras izmaiņām hidrotermiskās apstrādes procesā, savukārt pārējais samazinājums saistāms ar izmaiņām, kas radušās modificēšanas procesā vai ir pārklājuma klātbūtnes izsauktas.



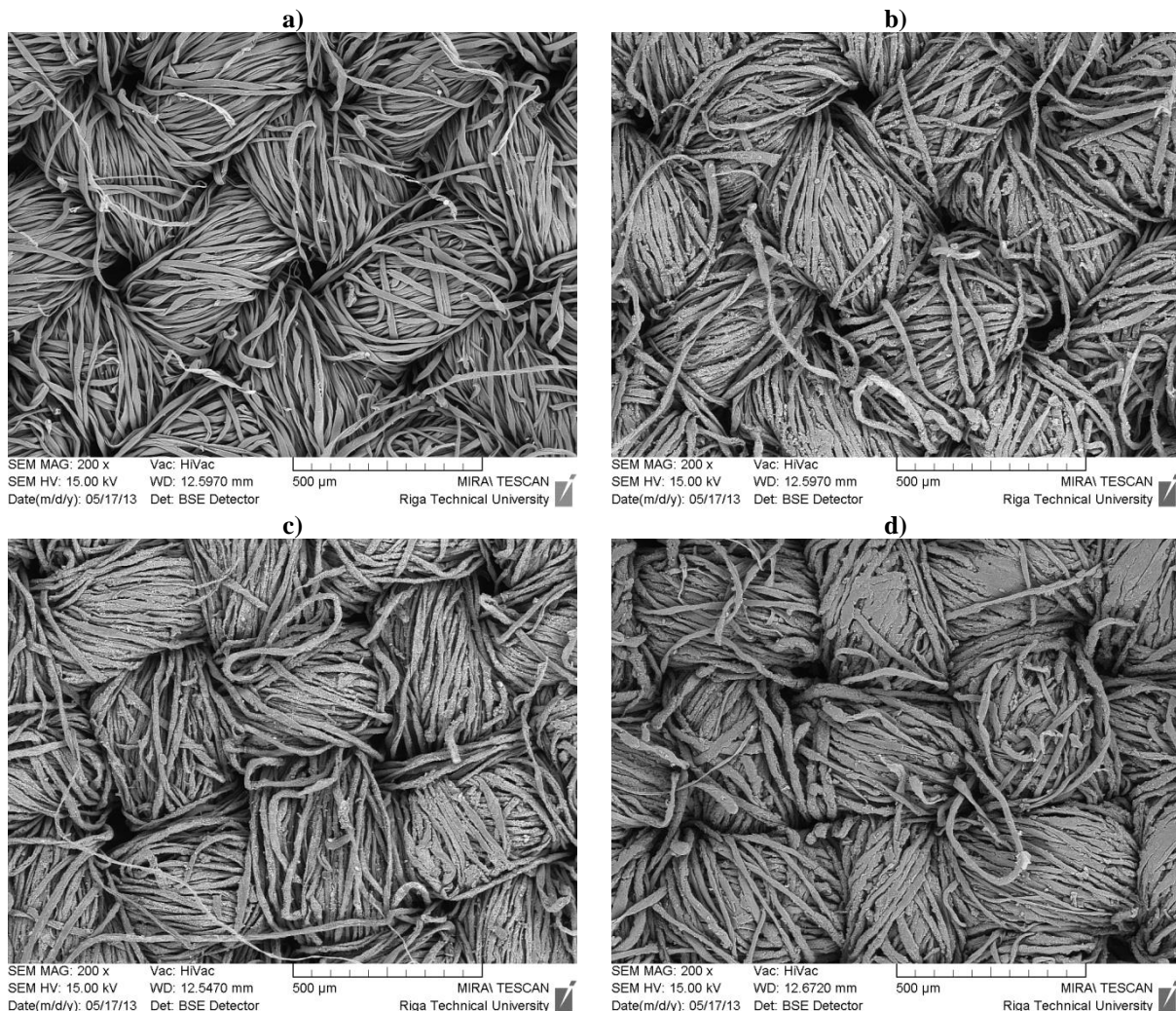
3.91. att. Gaisa caurlaidība atkarībā no paraugu mazgāšanas

Arī citu autoru pētījumos novērotas gaisa caurlaidības izmaiņas dažāda sastāva tekstilmateriāliem pēc apstrādes ar dažāda sastāva šķīdumiem, bet tās novērtētas kā nebūtiskas [1], kas izskaidrojams ar to, ka tekstilijas iepriekš pakļautas atšķirīgai apstrādei, tai skaitā

hidrotermiskai, ar atšķirīgiem solu sastāviem un pēcapstrādes tehnoloģijām; bez tam minētajos darbos visi mērījumi ir veikti tikai pēc paraugu pārklāšanas, neņemot vērā hidrotermiskās apstrādes ciklu ietekmi uz solu procesā iegūto pārklājumu gaisa caurlaidību.

Krievijā lietotajos normatīvos noteikts: ja tekstilmateriāls lietots kā pirmā apģērba kārta, t.i. atrodas tiešā kontaktā ar ādu, komfortu valkātajam nodrošina gaisa caurlaidība, kas vecuma grupai no 1 līdz 3 gadiem ir ne mazāka par 150 mm/s un vecuma grupai no 3 līdz 18 gadiem ne mazāka par 100 mm/s [212]. Tātad eksperimentālo tekstilmateriālu paliekošā gaisa caurlaidība ir pietiekoša, lai nodrošinātu apģērba, kas atrodas ciešā kontaktā ar ādu, komforta normas vecuma grupām sākot no 3 gadiem, jo visu variantu gaisa caurlaidības pārsniedz 100 mm/s [212]. Ja nepieciešama labāka paliekošā gaisa caurlaidība vai turpretim pieļaujama mazāka, to var panākt variējot tekstilmateriāla blīvumus, biezumus, kā arī izpētīt hidrotermiskās apstrādes režīmu ietekmi uz pārklātajiem paraugiem jānosaka optimālie režīmi, kas samazina hidrotermiskās apstrādes ietekmi uz modificēto tekstilmateriālu.

Paraugu izgatavošanai izmantotā tekstilmateriāla porainības izmaiņas pēc pārklāšanas, pēc vienreizējas hidrotermiskās apstrādes un pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem vērojamas 3.92. attēla mikrofotogrāfijās. 3.92. attēlā (a-d) redzams, ka kokvilnas tekstilmateriāla modifikācijas rezultātā palielinoties šķiedru diametriem samazinās tekstilmateriāla poru izmēri starp šķiedrām pavedienā un starp pavedieniem. Salīdzinot mikrofotogrāfijas pirms un pēc hidrotermiskās apstrādes (3.3.1. apakšnodaļa) konstatēts, ka hidrotermiskās apstrādes ietekmē notiek pārklājuma struktūras izmaiņas, palielinās pārklājuma blīvums. Straujš pārklāto paraugu gaisa caurlaidības samazinājumus pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem izskaidrojams ar to, ka, pakļaujot paraugus daudziem intensīviem hidrotermiskās apstrādes cikliem starp virsējiem pavedieniem veidojas tiltiņi, kas kā zināms ir viens no gaisa caurlaidību ietekmējošiem faktoriem [1].



3.92. att. Kokvilnas paraugu mikrofotoģrāfijas

a) neapstrādāta kokvilna. Ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādāta kokvilna (termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 min): b) apstrādātā, c) pēc 1 hidrotermiskās apstrādes cikla, d) pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem

Termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklāta kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidība samazinās pēc īsa apstrādes laika, tā pieaug palielinoties apstrādes laikam. Ja pirms vara uznešanas veikta paraugu priekšapstrāde ar zemas temperatūras plazmu, kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidība nedaudz palielinās salīdzinājumā ar nepārklāta tekstilmateriāla gaisa caurlaidību. Magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklāta kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidība, ja izputināšanas laiks nepārsniedz 100 s, ir par 1 – 1,1 % lielāka par nepārklāta tekstilmateriāla gaisa caurlaidību. Tā kā pie abām tehnoloģiju apstrādēm nepārklāto un pārklāto paraugu gaisa caurlaidības atšķirības ir nelielas, var uzskatīt, ka termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas tehnoloģijas gaisa caurlaidību pēc vara uznešanas praktiski neizmaina

Vīsiem paraugiem apstrādātiem ar solu neatkarīgi no termiskās apstrādes un sola koncentrācijas gaisa caurlaidība samazinās samazinoties starpšķiedru un starppavedienu porainībai, šķiedru iekšējai porainībai un saistībā ar tekstilmateriāla sarukumu.

CAD koncentrācija ietekmē paraugu gaisa caurlaidību. Palielinoties CAD koncentrācijai no 5 mas.% līdz 7,5 mas.% gaisa caurlaidība samazinās par ~ 8 %.

Palielinoties TEOS koncentrācijai sola sastāvā gaisa caurlaidība samazinās gan pie 100, gan 200 Pa spiediena, tā kā būtiski palielinās pārklājuma biezums.

Pēc apstrādes temperatūra robežās no 100 līdz 160 °C ar 2 min. eksponēšanas laiku modificētā kokvilnas tekstilmateriāla gaisa caurlaidību, kā arī paliekošo gaisa caurlaidību pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem praktiski neietekmē. Apstrādes temperatūra 90 °C un ilgstošs apstrādes laiks ļauj iztikt bez karsēšanas, jeb termiskās pēc apstrādes un gaisa caurlaidību praktiski neietekmē. Izvēli nosaka pieejamā tehnoloģija un ekonomiskas dabas apsvērumi.

Eksperimentālo tekstilmateriālu paliekošā gaisa caurlaidība pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem ir pietiekoša, lai nodrošinātu apģērbu, kas atrodas ciešā kontaktā ar ādu, komforta normas vecuma grupām sākot no 3 gadiem, jo visu variantu paliekošās gaisa caurlaidības pārsniedz 100 mm/s.

Eksperimentāli pierādīts, ka starp UV aizsardzības radītājiem un gaisa caurlaidības mērījumiem nepastāv korelācija.

3.7. Šķidrumsorbija

Mitruma saturam var būt nozīmīga ietekme uz tekstilmateriālu UV caurlaidību, sevišķi uz hidrofilo celulozes tekstilmateriālu UV caurlaidību [20]. Daudzos pētījumos konstatēts tekstilmateriālu UV caurlaidības palielinājums un atbilstoši UPF samazinājums, ja tos samitrina [20]. Tas skaidrojams ar refrakcijas koeficientu atšķirību tekstilmateriālu starpmezglos, kas aizpildīti ar ūdeni, izraisa mazāku izkliedi nekā aizpildīti ar gaisu, kā rezultātā palielinās tekstilmateriāla UV caurlaidība [20]. Tādi tekstilmateriāli kā kokvilna ar labām ūdens sorbcijas spējām slapjā stāvoklī demonstrē UV caurlaidības palielinājumu par 50 % [20]. Eksperimentos pierādīts, ka ūdens tipam (destilēts, jūras, hlorēts baseina ūdens) nav nozīmīga efekta uz tekstilmateriāla UPF [20].

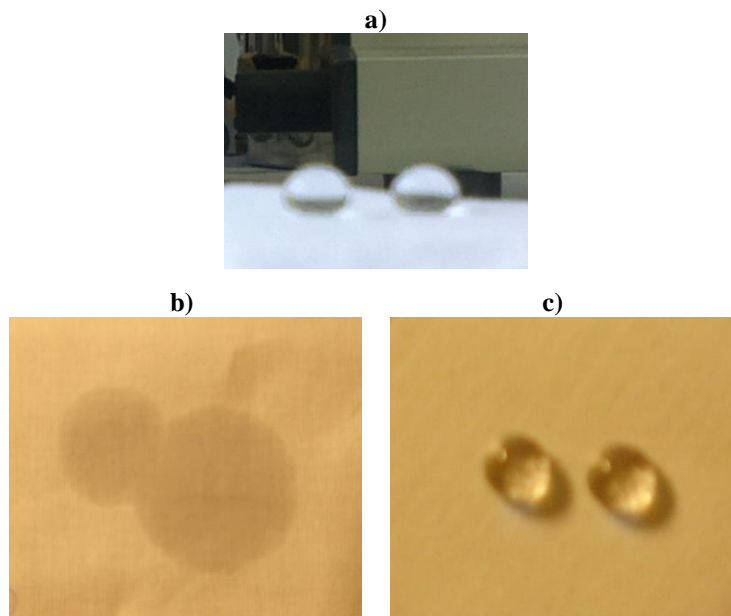
A) Termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklātu paraugu ūdens sorbcija

Tekstilmateriālu ūdens sorbcija pirms paraugu pārklāšanas ir atkarīga no tekstilmateriālu struktūras lielumiem, t.i. blīvuma, biezuma un porainības u. c.. Pirms paraugu pārklāšanas ar varu paraugu ūdens sorbcijas ātrums ir no 5 līdz $20 \pm 0,001$ s (tekstilmateriāliem N. 1 - 5, 9 - 11, 3.1. tab., apakšnodaļa 3.1.), pēc pārklāšanas ar varu tekstilmateriālu ūdens sorbcijas ātrums samazinās no 2 līdz 5 minūtēm (tekstilmateriāliem N. 1 - 5, 9 - 11, 3.1. tab., apakšnodaļa 3.1.). Pārklājuma biezums un tehnoloģija būtiski neietekmē ūdens sorbcijas ātrumu.

B) Ar solu apstrādātu paraugu ūdens sorbcija

Kokvilnas tekstilmateriāla vidējais ūdens sorbcijas ātrums pirms pārklāšanas ir 11 ± 0.001 sekundes, neapstrādātu paraugu ūdens sorbcijas ātrums pēc hidrotermiskās apstrādes samazinājies, paliekošais vidējais sorbcijas ātrums 2,3 minūtes, ko var izskaidrot ar tekstilmateriāla sarukumu un plūksnainības palielinājumu.

Pēc tekstilmateriālu apstrādes ar solu neatkarīgi no CAD koncentrācijas (5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols) paraugu ūdens sorbcijas ātrums samazinājies līdz > 30 minūtēm, kas liecina, ka paraugu hidrofilās īpašības ir ievērojami samazinājušās un virsma, iespējams, ieguvusi spēju atgrūst ūdeni (3.93. att.). Paraugiem apstrādātiem ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu hidrotermiskās apstrādes (3, 5, 10, 20 un 50) cikli sorbcijas tempu neietekmē, ūdens sorbcijas ātrums paliek > 30 minūtes. Tas liecina, ka tekstilmateriāla hidrofilītāte ir ievērojami samazinājusies un modificētā tekstilmateriāla virsma iespējams ir ieguvusi spēju atgrūst ūdeni nezaudējot šo īpašību ilgstošā ekspluatācijā (3.93. att.). Paraugiem apstrādātiem ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu šķidrumsorbcijas laiks samazinās tikai pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem līdz vidēji 2 minūtēm.



3.93. att. Paraugu šķidruma sorbcijas noteikšana

a) mērījumu process (apstrādāts ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu), b) neapstrādāts, c) pēc apstrādes ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

Starp tekstilmateriāliem, kas atgrūž nelielu ūdens daudzumu un kas ir ūdensnecaurlaidīgi, ir liela atšķirība komforta ziņā [20]. Ūdens atgrūdošajās tekstilijās ir atklātas (atvērtās) poras un tās ir gaisa un tvaiku caurlaidīgas. Ūdensnecaurlaidīgie tekstilmateriāli nelaiž cauri daudz augstāka hidrostatiska spiediena ūdens strūklu nekā ūdeni atgrūdošie, jo tajos ir mazs atvērto poru skaits, rezultātā slikta gaisa un tvaiku caurlaidība [1].

Tekstilmateriālu virsmas pārklājumi ietekmē ūdens sorbciju vairākos veidos [1]:

1. pārklājums var darboties kā barjera, novēršot tiešu šķidruma kontaktu ar tekstilmateriāla šķiedrām, apturot vai vismaz palēninot šķidruma sorbciju,
2. pārklājums var arī ietekmēt kapilāros spēkus ar poru bloķēšanu, reducējot plaisas un kapilārus, līdz ar to mainot virsmas slapināmību.

Atvasinātie sola-gēla tehnoloģijas pārklājumi ietekmē visus minētos parametrus [1].

Darba ietvaros veiktie eksperimenti ļāvuši izveidot sola sastāvus un tehnoloģijas, kas ļauj iegūt laikā noturīgas hidrofilo kokvilnas šķiedru tekstilmateriālu virsmas modifikācijas ar ūdens atgrūšanas spēju, kas desmitkārtīgi pārsniedz nemodificētas tekstilmateriāla attiecīgās īpašības intensitāti.

3.8. Paraugu higroskopiskums

Dabiskiem tekstilmateriāliem piemīt spēja absorbēt ķermeņa izdalīto mitrumu, kā arī mitrumu no apkārtējās vides (higroskopiskums), nodrošinot valkātāja komfortu [3, 6].

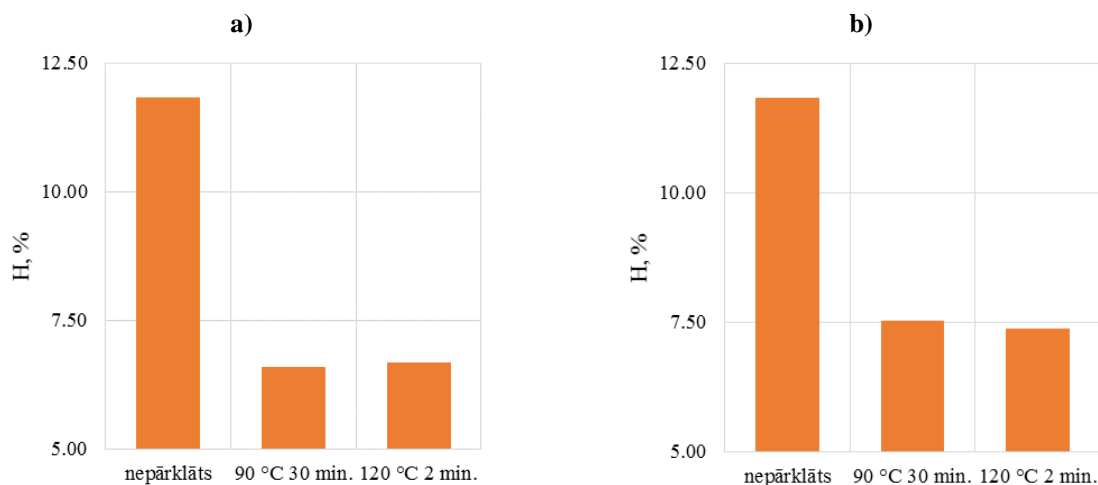
Apģērbu un galvassegu materiāliem ir ļoti nozīmīga loma mikroklimata regulēšanā starp ķermeni un apkārtējo vidi, tā kā tie veido barjeru mitruma transportam un tādējādi var gan palielināt, gan samazināt fizioloģisko komforta līmeni. Tvaiku caurlaidība ir īpaši svarīga, ja ķermenis intensīvi svīst, tā kā mitrums ādas tuvumā sasniedz ļoti augstu piesātinājumu. Mitruma izlīdzināšanās temps ir atkarīgs gan no tvaiku transporta tempa, gan no tekstilmateriāla tvaiku sorbcijas spējas un to mijiedarbības. Lai materiāls nodrošinātu komfortu, tam jāuzsūc ķermeņa radītais mitrums vai jālaiž tas cauri un, kad svīšana beidzas, uzsūkto mitrumu jāatdod apkārtējai videi. Materiāla tvaiku transportēšanas spēju nosaka vairāki faktori.

Adītas, austas vai neaustus tekstilmateriālus raksturo blīvums, kas var būt lielāks vai mazāks, ar porainu vai mikroporainu struktūru. Savukārt virsmas modifikācijas procesā uznestais pārklājums ir drīzāk ļoti blīvs ar mikroporainu vai pat plēves tipa struktūru. Struktūras atšķirības nosaka tvaiku transporta mehānismu. Tvaiku transports tekstilmateriālos notiek: 1) kā plūsma caur starppavedienu telpu (atvērtām porām) pateicoties tvaiku spiediena atšķirībai pie abām materiāla virsmām; 2) caur starpšķiedru telpu notiek tvaiku difūzija un izsūkšanās pa šķiedru saišķa kapilāriem pēc tam iztvaikojot no tekstilijas virsmas; 3) difūzijas procesā caur šķiedrām, kad šķiedra absorbē ūdens tvaikus ar sekojošu desorbciju no tās virsmas [213, 214].

Tekstilmateriālu tvaiku transportspēju galvenokārt nosaka struktūra. Porainu, maza blīvuma tekstilmateriālu spiediena gradients starp virsmām ir mazs (ļoti caurlaidoši), tā kā tvaiku plūsma caur poraino struktūru ievērojami pārsniedz tvaiku pārvietošanās efektivitāti difūzijas ceļā un ir raksturojama ar tekstilmateriāla gaisa caurlaidības spēju. Uzskata, ka tā ir maz atkarīga no šķiedru tipa, bet to nosaka poru izmēri, tekstilmateriālu biezums un tādi ārēji apstākļi, kā temperatūra, kas ietekmē molekulu kustības ātrumu un spiediens, kas kontrolē molekulu sadursmju biežumu [215]

Ļoti blīvu tekstilmateriālu (ar mazu gaisa caurlaidību) un membrānu (mikroporainu vai bez porām) tvaiku caurlaidības mehānisms balstās uz difūziju, ko izsauc tvaiku koncentrācijas gradients liekot caur mikroporām tvaikam pārvietoties no augstāka spiediena apgabala uz apgabalu ar zemāku spiedienu [216]. Membrānās bez porām tvaiku pārvietošanās notiek šķiedru iekšējās molekulārās difūzijas procesā trijos soļos caur starpmolekulu porām: 1) ūdens sorbcija uz polimēra virsmas, 2) ūdens migrācija caur membrānu spiediena gradienta virzienā, 3) ūdens desorbcija sausajā pusē [214, 217].

Ūdens molekulas caur necaurlaidošu membrānu pārvietojas izmantojot molekulu hidrofīlās grupas kā pakāpienus; intensitāti nosaka hidrofīlo grupu daudzums, temperatūras un relatīvā mitruma starpība ķermeņa pusē un membrānas ārpusē. Līdz ar to higroskopiskuma mērījumi pirms un pēc apstrādes ļauj ne tikai novērtēt modificētās tekstilijas sagaidāmo komforta līmeni, bet arī pastarpināti ļauj spriest par modificējošā pārklājuma struktūru.



3.94. att. Paraugu higroskopiskuma rādītāji pēc paraugu apstrādes ar solu
a) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu; b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

No iegūtajiem rezultātiem varam secināt, ka kokvilnas tekstilmateriāla modifikācijas rezultātā ar CAD solu samazinās tekstilmateriāla higroskopiskums pie abiem optimālajiem termiskās apstrādes režīmiem: pie CAD koncentrācijas 5 mas.% par 44 % (3.94. att., a), palielinot CAD koncentrāciju līdz 7,5 mas.% higroskopiskuma samazinājums ir salīdzinoši mazāks - robežās no 36 % līdz 38 %, attiecīgi pie termiskās apstrādes režīmiem 90 °C temperatūrā 30 minūtes un 120 °C temperatūrā 2 minūtes (3.94. att., b). Ievērojams modificēto tekstilmateriālu higroskopiskuma samazinājums saistāms ar tekstilmateriāla virsmas struktūras izmaiņām tāpēc, ka modifikācijas procesā uz šķiedru virsmas veidojas mikroporains pārklājums, līdz ar to samazinās gan tekstilmateriāla struktūrai raksturīgo atvērto poru izmērs, samazinoties caurplūdei pa starppavedienu un starpšķiedru porām, par ko liecina gaisa caurlaidības samazinājums, tvaiku transportā lielāku ieguldījumu dod difūzija caur pārklājuma mikroporām, bet tā neatsver caurplūdes samazinājumu. Tādējādi var secināt, ka modificējošais pārklājums veido uz kokvilnas pavedienu virsmas daļēji caurlaidīgu mikroporainu pārklājumu, kas samazina un aizklāj daļu no starppavedienu porām, samazina starpšķiedru kapilāru izmērus, līdz ar to spēju atdot uzsūkto šķidrumu apkārtējai videi.

No iegūtiem datiem var secināt, ka neskatoties uz to, ka novērotais ūdens sorbcijas ātruma samazinājums samazina paraugu higroskopiskumu, tomēr paraugiem joprojām

saglabājas higroskopiskums. Saskaņā ar apģērbiem izvirzītajām prasībām apģērba higroskopiskumam, kas atrodas tiešā kontaktā ar ādu, vecuma grupai no 1 līdz 14 gadiem jābūt vismaz 9% un vecuma grupai no 14 līdz 18 gadiem 6 % [212]. Pārbaudīto paraugu higroskopiskums atbilst prasībām vecumā grupai no 14 līdz 18 gadiem [212].

3.9.Slapēšanas līdzsvara leņķa noteikšanas rezultāti

Praktiskos lietojumos slapēšanas līdzsvara leņķa θ vērtības, kas nepārsniedz 90° nozīmē, ka šķidrums izplūst uz cietās vielas virsmas, slapina to vai tajā uzsūcas, un šajā gadījumā attiecīgais materiāls tiek klasificēts kā hidrofilis. Ja izmērītais slapēšanas līdzsvara leņķis pārsniedz 90° , cietā virsma šķidrumu atgrūž, t.i. tā ir mazākā vai lielākā mērā hidrofoba (3.13. tab.).

3.13. tabula

Slapēšanas līdzsvara stāvoklis

Leņķis	Slapēšanas līdzsvara stāvoklis
$\theta = 180^\circ$	Slapējamības nav
$90^\circ < \theta < 180^\circ$	Slapējamība vāja
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	Slapējamība laba
$\theta \longrightarrow 0^\circ$	Slapējamība perfekta

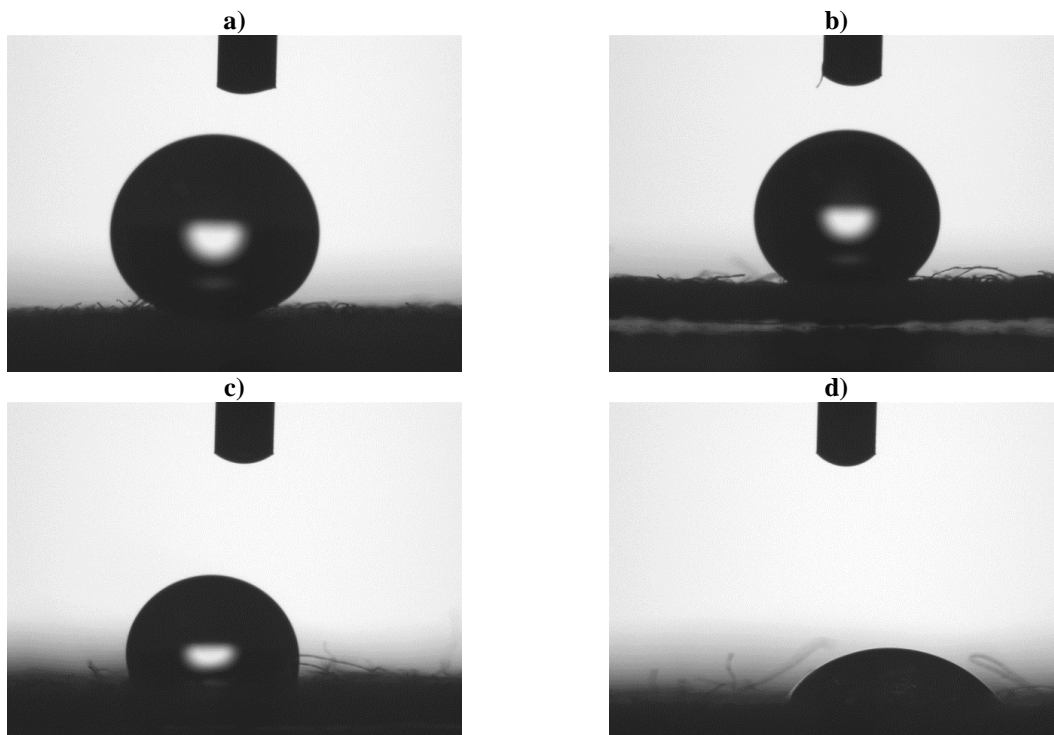
Nemodificēta kokvilnas tekstilmateriāla virsmas slapējamība ir perfekta, tā kā slapēšanas līdzsvara leņķis vienā sekundē strauji samazinās no $67,79^\circ \pm 0,1^\circ$ līdz $7,91^\circ \pm 0,1^\circ$ (3.95. att., a un b).



3.95. att. Neapstrādāts kokvilnas tekstilmateriāls
a) piliens uzreiz pēc uzpilināšanas, b) pēc vienas sekundes

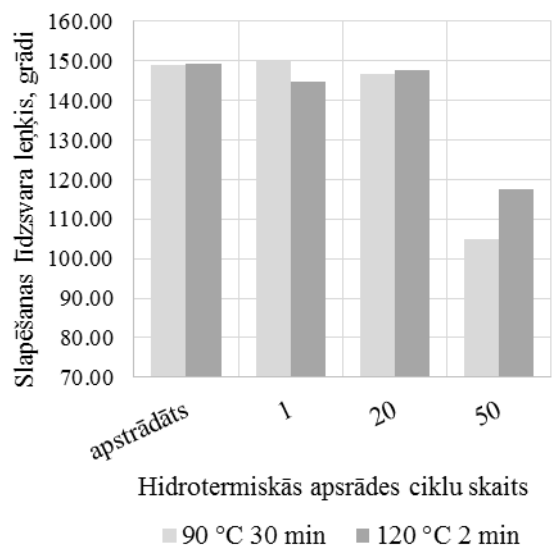
Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas kokvilnas tekstilmateriāla virsmas slapēšanas procesa fotoattēli rāda, ka ūdens piliens arī pēc 20 hidrotermiskās apstrādes cikliem saglabā sfērisku formu, izmainoties tekstilmateriāla virsmas struktūrai, nedaudz palielinās saskares virsma (3.96. att., a un b). Arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem

ūdens piliena sfēriskā forma saglabājas, bet saskares virsma ir ievērojami palielinājusies salīdzinot ar paraugiem, kas nav hidrotermiski apstrādāti vai pakļauti ne vairāk par 20 hidrotermiskās apstrādes cikliem (3.96. att., c); notiek ūdens piliena uzsūkšana (3.96. att., d).



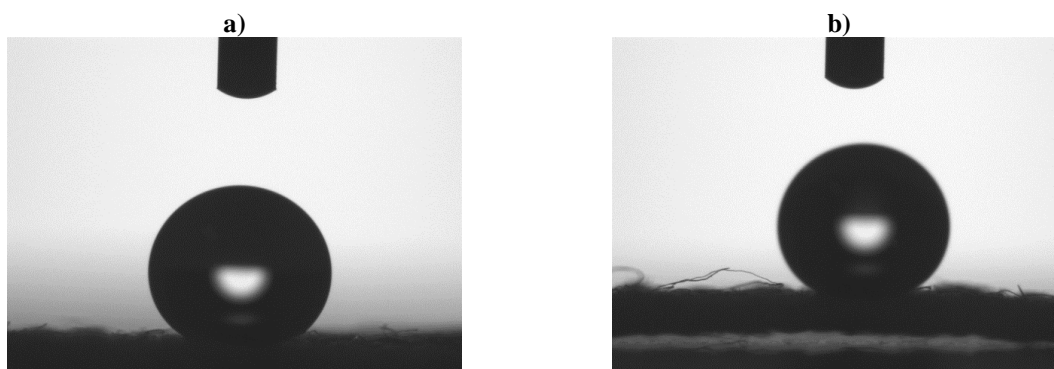
3.96. att. Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādātu paraugu slapēšanas procesi a) modificēts, b) modificēts pēc 20 hidrotermiskās apstrādes cikliem, c-d) modificēts pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem

No 3.97. attēla grafikiem redzams, ka ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilmateriāla virsmas slapēšanas līdzsvara leņķis līdz pat 20 hidrotermiskās apstrādes cikliem pārsniedz $140^\circ \pm 0,1^\circ$, kas liecina par vāju slapējamību (3.13. tab.), t.i. nodrošina efektīvu mitruma atgrūšanu un ļauj uzskatīt, ka piemērotā apdare ir nodrošinājusi hidrofobu virsmu. Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem konstatētais efekts samazinās, par ko liecina straujš slapēšanas līdzsvara leņķa samazinājums no $117,54^\circ \pm 0,1^\circ$ (termiskā pēcapstrāde 120°C temperatūrā 2 min.) un no, $104,84^\circ \pm 0,1^\circ$ (termiskā pēcapstrāde 90°C temperatūrā 30 min.) pēc piliena uzpilināšanas līdz $50^\circ \pm 0,1^\circ$ pēc 10 sekundēm. Tas liecina, ka paraugam vairs nepiemīt īpašība atgrūst ūdeni.

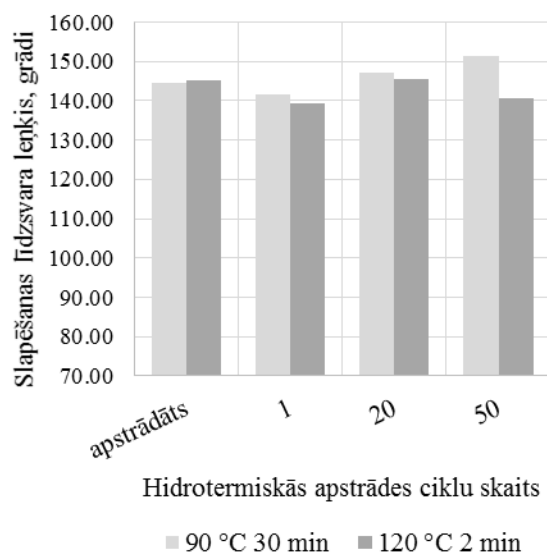


3.97. att. Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilmateriāla virsmas slapēšanas leņķi

No 3.98. att. fotoattēliem un 3.99. attēla grafikiem redzams, ka ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilmateriāla virsma efektīvi atgrūž ūdeni arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem, tā kā pat saskares virsma nav palielinājusies salīdzinājumā ar hidrotermiskai apstrādei nepakļauta parauga saskares virsmu (3.98. att.) un visu variantu slapēšanas leņķi ir ne mazāki par $140^\circ \pm 0.1^\circ$. Ja īpašība saglabājas arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem, uzskatīts, ka arī pēc turpmākas hidrotermiskās apstrādes līdzīgā režīmā tā saglabāsies. Tātad var uzskatīt, ka ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilmateriāla virsmai piemīt ūdens atgrūšanas spēja.



3.98. att. Ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilmateriāla virsmas slapēšanas procesi
a) modificēts, b) modificēts pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem



3.99. att. Ar 7,5 mas.% CAD solu (0.1 M TEOS) modificēta kokvilnas tekstilmateriāla virsmas slapēšanas līdzsvara leņķi
a) modificēts, b) modificēts pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem

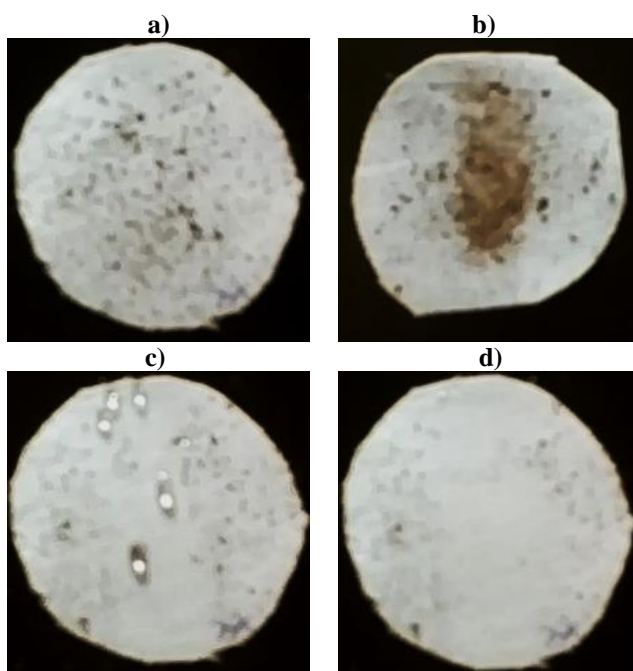
Hidrofobas tekstilmateriālu virsmas galvenokārt veido izmantojot divus paņēmienus: izveidojot raupju struktūru uz hidrofilām virsmām jeb modificējot virsmas ar savienojumiem ar mazu virsmas enerģiju kā fluoru vai silīciju saturošiem savienojumiem [89].

Pašlaik tekstilmateriālu apdarē vairāk lietotie hidrofobizatori ir fluoru saturoši savienojumi [83]. Šiem preparātiem ar nepolāriem perfluorētiem radikāļiem $CF_3(CF_2)_n$ piemīt vismazākā virsmas enerģija no visiem savienojumiem [83]. Ievadot tos savienojumos, kas satur ar šķiedrām reaģētspējīgas funkcionālas grupas, iespējams iegūt pret hidrotermisku apstrādi noturīgas apretes [83].

Papildus Si pārklājuma sastāvā, ko apstiprina EDS ķīmiska sastāva analīze (3.3.3. apakšnodaļa) un pārklājumam piemītošai raupjai virsmai, ko apstiprina SEM mikrofotogrāfijas (3.3.2. apakšnodaļa), dotā darba ietvaros pie sola pagatavošanas apstākļiem un sastāviem iespējams pārklājuma sastāvā ievadīt fluoru saturošus savienojumus. EDS ķīmiskā sastāva analīze apstiprina fluora savienojumu klātbūtni (3.3.3. apakšnodaļa). Pētījumi rāda, ka ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto virsmu pārklājumā pēc 50 hidrotermiskās apstrādes reizēm, salīdzinot ar pārklājumu pirms hidrotermiskās apstrādes, vismaz 8 reizes samazinās fluora (F) procentuālā masa: paraugiem, apstrādātiem ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, maksimālais samazinājums ir 3 reizes (3.3.3. apakšnodaļa), kas var izskaidrot paraugu apstrādātu ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu slapējamības ievērojamu palielinājumu (3.97. att.). Lielākas slapēšanas līdzsvara leņķa vērtības pēc pārklāšanas, pēc 1 un 20 hidrotermiskās apstrādes cikliem, paraugiem apstrādātiem ar 5 mas.% CAD (0.1 M

TEOS) solu, var izskaidrot ar EDS datiem, no kuriem redzams, ka šiem paraugiem pārklājumā ir lielāka silīcija (Si) procentuāla masa (3.3.3. apakšnodaļa), līdz ar to mijiedarbojoties SiO₂ un F saturošiem savienojumiem, ir iegūtas lielākas slapēšanas leņķa vērtības. Tomēr, pārklājumā pēc 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sola un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sola apstrādes SiO₂ saturs būtiski samazinās pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem (3.3.3. apakšnodaļa). Jāsecina, ka mūsu gadījumā tieši funkcionāli F savienojumi piešķir modificētajai virsmai hidrofobas īpašības. Tās ir noturīgas, ja kokvilnas tekstilmateriālu virsmu modificē ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, kas nodrošina fluora savienojumu pietiekošu īpatsvaru pat pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.

Kā minēts literatūras apskatā, virknē pētījumu pierādīts, ka piešķirot hidrofīlām virsmām spēju atgrūst mitrumu, tiek nodrošināts arī virsmu pašattīršanās efekts [86 - 88]. Ja materiāla virsma ir hidrofila, ūdens pilieni izplūst uz virsmas un tajā daļēji vai pilnībā iesūcas kopā ar sastaptajiem netīrumiem (3.100. attēls, a un b). Ja virsma ir hidrofoba, ūdens pilieni saglabā sfērisko formu un, savācot pa ceļam netīrumus, noripo no virsmas. Tādējādi, pateicoties intensīvai ūdens atgrūšanai, modificētās virsmas pašattīrās (3.95. attēls, c un d). Līdz ar to tekstiliju modifikācija ar sola-gēla pārklājumiem, iespējams, ļaus iegūt tādu papildīpašību, kā virsmas pašattīršanās efekts. Lai pierādītu šo hipotēzi nepieciešami turpmāki modificētu tekstiliju pētījumi. 3.100. att. var novērot darba ietvaros iegūto tekstilijas virsmas pāsatīršanās efekta ilustrāciju (3.100. att., c un d).



3.100. att. Modificētās kokvilnas tekstilmateriāla virsmas pašattīršanās spējas ilustrācija
a) netīrumi uz paraugu virsmas, b) nemitificēta virsma pēc ūdens uzpilināšanas, c-d) modificēta virsma (5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols) pēc ūdens uzpilināšanas

Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto paraugu virsmas ir hidrofobas, bet pārklājuma ūdens atgrūšanu nodrošinošie fluora savienojumi ir pietiekošā koncentrācijā tikai, ja hidrotermiskās apstrādes ciklu skaits nepārsniedz 20.

Visu ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto paraugu virsmas ir hidrofobas, to slapēšanas līdzsvara leņķi ir vismaz $140^\circ \pm 0,1^\circ$ pat pēc 50 intensīviem hidrotermiskās apstrādes cikliem, kas apliecina izcilu pārklājuma adhēziju.

Modificēto virsmu spēju atgrūst ūdeni nodrošina fluoru saturoši savienojumi; paliekošu fluora klātbūtni apliecina EDS paraugu ķīmiskā sastāva analīzes rezultāti.

3.10. Kopsavilkums

A) Termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas tehnoloģija

1. Tekstiliju priekšapstrāde zema spiediena gaisa plazmas vidē ļauj uzlabot pārklājuma vienmērību, bet pirms modificēšanas ar varu termiskās iztvaicēšanas procesā nav piemērota kokvilnas tekstiliju apstrādei, jo:

- pasliktina vara pārklājuma adhēziju ar šķiedru virsmu,
- izraisa šķiedru destrukciju.

2. Termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesā iegūtie virsmas vara pārklājumi ar biezumu robežās no 30 nm līdz 210 nm praktiski neietekmē tekstilijas ūdens sorbciju un gaisa caurlaidību; tas nozīmē, ka pārklājums analīzei pakļautajā biezumu intervālā nemaina tās reljefu, pārklājums pārklāj tekstilijas pavedienus atkārtotot to virsmas struktūru un saglabājot tekstilijai raksturīgas īpašības.

3. Termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklāta tekstilija:

- ar 60 nm biezu vara pārklājumu kavē tādu nozokominālo infekciju izraisīto patogēnu mikroorganismu adhēziju pie tekstilijas virsmas kā gramnegatīvā baktērija *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (10^2 KVV ml⁻¹) un grampozitīvā baktērija *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (10^2 KVV ml⁻¹)

Magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklāta tekstilija:

- ar 90 nm biezu vara pārklājumu kavē tādu nozokominālo infekciju izraisīto patogēnu mikroorganismu adhēziju pie tekstilijas virsmas kā gramnegatīvā baktērija *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (10^2 KVV ml⁻¹) un grampozitīvā baktērija *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (10^2 KVV ml⁻¹)

4. Termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklāta tekstilija nodrošina antimikrobiālu iedarbību:

- ar 60 nm biezu vara pārklājumu pret tādiem celulozes šķiedru destrukciju izraisošiem mikroorganismiem kā, mikroskopiskā sēnīte *Trichoderma viride* ($3,1 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹) un raugs *Saccharomyces cerevisiae* 14 ($2,8 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹).
- ar 120 nm biezu vara pārklājumu pie 10 reizes samazinātas mikroorganismu koncentrācijas pret gramnegatīvām baktērijām *Escherichia coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹) un *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹).
- ar 180 nm biezu vara pārklājumu pie maksimālas mikroorganismu koncentrācijas pret grampozitīvu baktēriju *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvu baktēriju *Escherichia coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹).
- ar 180 nm biezu vara pārklājumu pie 10 reizes samazinātas mikroorganismu koncentrācijas pret grampozitīvu baktēriju *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvām baktērijām *Escherichia coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹) un *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹).

Paraugiem nav novērota antimikrobiālā iedarbība pret celulozes šķiedru destrukciju izraisošo baktēriju *Pseudomonas fluorescens* AM11 ($1,7 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹) analīzei pakļautajā biežumu intervālā.

Abu koncentrāciju nozokomiālo infekciju patogēna mikroskopiskā sēnīte *Candida albicans* ATCC 60193 ($8,2 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹ un $8,2 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹) uzrāda rezistenci neatkarīgi no uznestās vara kārtiņas biežuma.

5. Magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklāta tekstilija nodrošina antimikrobiālu iedarbību:

- ar 150 nm biezu vara pārklājumu pret celulozes destrukciju izraisošiem mikroorganismiem baktēriju *Pseudomonas fluorescens* AM11 ($1,7 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹), mikroskopisko sēnīti *Trichoderma viride* ($3,1 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹) un raugu *Saccharomyces cerevisiae* 14 ($2,8 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹).
- ar 90 nm biezu vara pārklājumu pret hospitālo infekciju patogēniem mikroorganismiem pie to maksimālās koncentrācijas grampozitīvu baktēriju *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvu baktēriju *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹).
- ar 150 nm biezu vara pārklājumu pret hospitālo infekciju patogēniem mikroorganismiem pie to maksimālās koncentrācijas - grampozitīvu baktēriju

Staphylococcus aureus ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvu baktēriju *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvu baktēriju *Escherichia coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), mikroskopisko sēnīti *Candida albicans* ATCC 60193 ($8,2 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹). Samazinot mikroorganismu koncentrāciju 10 reizes arī 90 nm biezs vara pārklājums nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret visiem minētajiem mikroorganismiem.

6. Termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas procesā modificēto kokvilnas tekstiliju virsmas adhēzija ar vara pārklājumu nav pietiekoša, lai pretotos intensīvām berzes deformācijām un atkārtotai hidrotermiskai apstrādei, no kā vairums gadījumos nevar izvairīties tekstiliju ekspluatācijas procesos, līdz ar to ar varu modificētas kokvilnas tekstilijas piemērotas integrēšanai vienreiz lietojamos izstrādājumos, kas netiek pakļauti hidrotermiskai apstrādei un pastāvīgai berzei.

B) Sola-gēla tehnoloģija

7. Darba ietvaros piemērotā sola-gēla tehnoloģija, sintezējot solu uz silīcija alkoksīda tetraetilortosilikāta (TEOS) bāzes, kā procesa katalizatoru izmantojot fluorūdeņražskābi un modifikatorus cinka acetāta dihidrātu $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ vai cinka sulfāta heptahidrātu $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, ļauj modificēt kokvilnas tekstilijas optimizējot sola sastāvu, pēc apstrādes tehnoloģiju parametrus atbilstoši paredzamajam lietojumam un modificējamās tekstilijas struktūras parametriem.
8. Pārāk zemā pārklātās virsmas nodilumizturība, SEM mikrofotogrāfiju analīze, konstatētās vizuālās izmaiņas un kokvilnas tekstilmateriālu šķiedru destrukcija pēc pārklāšanas, kā arī pastiprināta destrukcija pēc hidrotermiskās apstrādes un nepietiekošs UV aizsardzības īpašību uzlabojums ļauj secināt, ka ar cinka sulfāta heptahidrātu modificēts sols nav piemērots kokvilnas tekstiliju modifikācijai.
9. Kokvilnas tekstiliju modifikācija ar cinka acetāta dihidrātu modificētu solu praktiski neietekmē tekstilmateriālu vizuālo izskatu, neietekmē vai pat uzlabo tekstilijās nodilumizturību un piešķir tādas lietošanā stabilas papildīpašības, kā antimikrobiālu aktivitāti, uzlabotu UV aizsardzību, ūdens atgrūšanu.
10. ASM topogrāfisko attēlu un SEM mikrofotogrāfiju analīze rāda, ka pēc apstrādes ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu uz tekstilijas šķiedru virsmas iegūtais plānais, vienmērīgais pārklājums sastāv no atsevišķām daļiņām un to aglomerātiem, kas, vietām apvienojoties grupējumos, veido uz virsmas pārklājuma neregulārus vairākus mikrometrus platus un/vai garus klasterus; modificējošo elementu Zn, Si un F saturošās

funkcionālās grupas modificēšanas procesā ir samērā vienmērīgi sadalītas uz šķiedru virsmām.

11. No FTIR datiem var secināt, ka izmantojot sola-gēla metodi ar darba ietvaros piemērotajiem termiskās pēcapstrādes režīmiem robežās no 90 °C līdz 200 °C, iespējams, notiek daļēja cinka acetāta dihidrāta sadalīšanās un bāzisku cinka savienojumu veidošanās. Funkcionālā pārklājuma sastāvā galvenokārt ir cinka acetāts un, iespējams, nešķīstoši cinka bāziskie savienojumi amorfā fāzē. FTIR analīze apstiprina Si savienojumu klātbūtni iegūtajā materiālā.
12. XRD analīzē iegūtajām rentgenogrammām redzams, ka ZnO kristāliskajā fāzē parādās sākot ar temperatūru 300 °C, temperatūras robežās no 300 līdz 500 °C ir iegūts arī SiO₂, sākot ar 400 °C veidojas villemīts - Zn₂(SiO₄). Pie zemākam temperatūrām - 100 un 200 °C - notiek daļēja cinka acetāta dihidrāta sadalīšanās un cinka bāzisku savienojumu veidošanās. Funkcionālā pārklājuma sastāvā galvenokārt ir cinka acetāts (C₄H₆O₄Zn), iespējams, nešķīstoši cinka bāziskie savienojumi amorfā fāzē un silīcija savienojumi: H₂Si₃O₇(H₂O) un H₂Si₁₄O₂₉·5.4H₂O.
13. Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta tekstilija, pakļauta līdz pat 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem:
 - kavē tādu nozokomiālo infekciju izraisīšu patogēnu mikroorganismu adhēziju pie tekstilijas virsmas kā gramnegatīvā baktērija *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (10² KVV ml⁻¹), grampozitīvā baktērija *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (10² KVV ml⁻¹).
14. Ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta tekstilija:
 - nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret celulozes tekstilmateriālu destruktiju izraisīšiem mikroorganismiem baktēriju *Pseudomonas fluorescens* AM11 (1,7·10⁶ KVV ml⁻¹), mikroskopisko sēnīti *Trichoderma viride* (3,1·10⁵ KVV ml⁻¹), raugu *Saccharomyces cerevisiae* 14 (2,8·10⁵ KVV ml⁻¹);Antimikrobiālā iedarbība saglabājas pēc 96 h inkubācijas (4 diennaktis), kas liecina par spēcīgu antimikrobiālo iedarbību.
Antimikrobiālā iedarbība pret baktēriju *Pseudomonas fluorescens* AM11 (1,7·10⁶ KVV ml⁻¹) saglabājas pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem un pret raugu *Saccharomyces cerevisiae* 14 (2,8·10⁵ KVV ml⁻¹) saglabājas pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.

15. Modificētās tekstilijas uzrāda antimikrobiālu aktivitāti pret hospitālo infekciju izraisošiem patogēniem mikroorganismiem jau pēc apstrādes ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu pret visiem pētījumā iekļautajiem mikroorganismiem pie maksimālās koncentrācijas grampozitīvu baktēriju *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvām baktērijām *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) un *Escherichia coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) un mikroskopisko sēnīti *Candida albicans* ATCC 60193 ($8,2 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹), kā arī pret pacientiem ar brūču infekcijām, sastrutojumiem un iekaisumiem biežāk sastopamo grampozitīvu baktēriju *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) saglabājot aktivitāti pēc 10 modificēto tekstiliju hidrotermiskās apstrādes un pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem, ja tā modificēta ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu.
16. Kokvilnas tekstiliju apstrāde ar 7.5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu nodrošina 50+ UPF kategoriju, kas nozīmē izcilu UV aizsardzību, bloķējot UVB un UVA spektrus visu viļņu garuma diapazonā un saglabājot šo spēju arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem. Arī apstrāde ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu ļauj iegūt 50+ UPF kategorijai atbilstošas kokvilnas tekstilijas, tomēr modifikācijas procesā jārēķinās ar stingrākiem ierobežojumiem termiskās pēcapstrādes režīmu izvēlē.
17. Apstrāde ar 5 mas.% CAD (0.1 M TESO) solu nodrošina tekstilijas vāju slapējamību jeb ūdens atgrūšanu, ja hidrotermiskās apstrādes ciklu skaits nepārsniedz 20. Apstrādē ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu nodrošina tekstilijām ūdens atgrūšanu pat pēc 50 intensīviem hidrotermiskās apstrādes cikliem.
18. Gaisa tvaiku caurlaidības testu rezultāti liecina, ka darba ietvaros izstrādātā sola-gēla tehnoloģijas procesā modificēts tekstilmateriāls pēc piecdesmit hidrotermiskās apstrādes cikliem nodrošina apģērba, kas atrodas ciešā kontaktā ar ādu, komforta normas valkātājam sākot no trīs gadu vecuma, bet higroskopiskuma testu rezultāti atbilst komforta normām no 14 gadu vecuma, ja tekstilija modificēta ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu. Virknē citos lietojumos, kur nepieciešama UV un antimikrobiāla aizsardzība, hidrofobitāte (interjera tekstilijas, ārvides tekstilijas, virsgērbi), šie ierobežojumi nav būtiski.
19. Nepieciešams turpināt uzsāktos pētījumus, lai varētu precīzēt pārklājuma ķīmisko sastāvu, kā arī pirms modificēto tekstiliju lietojumiem rūpnieciskos izstrādājumos novērtēt to nekaitīgumu *in vivo* testos.

3. VISPARĪGI SECINĀJUMI

1. Lai gan ne termiskās iztvaicēšanas, ne magnetrona izputināšanas tehnoloģija nenodrošina pret hidrotermisko apstrādi un berzi noturīgus pārklājumus ar dabisku šķiedru tekstilijām, tomēr ir iespējama virkne citu lietojumu, tai skaitā tādos vienreizēji lietojamās medicīnās izstrādājumos, kā dažāda veida antimikrobiālie pārsēji un plāksteri, daļēji aizvietojot antibakteriālus ar sudrabu pārklātus tekstilproduktus; turklāt aizvietošana ir ekonomiski izdevīga, jo varš ir daudz lētāks nekā sudrabs.
2. Izstrādāta kokvilnas tekstiliju modifikācijas tehnoloģija ar sola-gēla metodi: noteikti sola komponentu koncentrāciju diapazoni, pamatots tekstilmateriālu termiskās pēcapstrādes temperatūras-laika režīms. Eksperimentāli pierādīts, ka darba ietvaros izstrādātā kokvilnas tekstiliju apstrāde ar sola-gēla metodi ļauj modificēt tekstilijas, apvienojot tādas vairākas pret hidrotermisko apstrādi noturīgās īpašības kā antimikrobiāla aktivitāte, UV aizsardzība un ūdens atgrūšana.
3. Apjomīgos vispusīgos testos atbilstoši stingriem standartiem novērtētās ar sola-gēlu tehnoloģiju modificēto tekstiliju spējas pildīt piešķirtās funkcijas kā pēc pārklājuma uznesšanas, tā arī pēc atkārtotiem hidrotermiskās apstrādes cikliem, kā arī iegūtā zinātība nodrošina iespējas regulēt piešķiramo īpašību intensitāti atbilstoši paredzamajam lietojumam.
4. Ar sola-gēla tehnoloģiju iegūtie amorfi Si un Zn saturošie pārklājumi nodrošina ļoti stipru antimikrobiālo aktivitāti uz visiem testu mikroorganismiem. Termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas tehnoloģijās iegūto vara pārklājumu novērotā antimikrobiālā aktivitāte ir zemāka.
5. Promocijas darba izstrādes gaitā sistematizētā zinātība par termiskās iztvaicēšanas un magnetrona izputināšanas, kā arī sola-gēla tehnoloģiju piemērošanas iespējām tekstilšķiedru virsmu modificēšanai, tehnoloģiskajiem parametriem, iegūtajiem efektiem un to ilgtspējas prognozēm ļaus ievērojami intensificēt nākošos pētījumus un veicināt rūpniecisku tehnoloģiju izstrādi.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Mahlting B., Textor T. Nanosols and textiles. – Berlin: World Scientific Publishing, 2008. – 294 p.
2. Wei Q. (Ed.) Surface modification of textiles. – Cambridge: Woodhead publishing limited, 2009. – 352 p.
3. Kozlowski R.M. (Ed.) Handbook of natural fibres. Volume 2: Processing and applications. – Cambridge: Woodhead publishing limited, 2012. – 544 p.
4. Zimniewska M., Batog J., Bogacz E., Romanowska B. Functionalization of natural fibres textiles by improvement of nanoparticles fixation on their surface// Journal of fiber bioengineering&informatics – 2012. – Volume 5. – pp. 321.-339.
5. Industrievereinigung Chemiefases E.V. Man made Fibres 2012 / Internet. - <http://www.ivc-ev.de/>
6. Сухарев М. И. Материаловедение. – Москва: Лёгкая индустрия, 1973. - 265 стр.
7. Wakelyn P.J., Bertoniere N.R., French A.D. and et al. Cotton Fiber Chemistry and Technology. – New York: CRC Press, 2007. – 176 p.
8. Conductive silver plated nylon Ni/Cu/Co fabric tape/ Internet. - <http://www.lessemf.com/fabric.html#304>
9. Stretch conductive fabric, ex-static conductive fabric/ Internet. - <http://www.lessemf.com/fabric.html#1229>
10. Light duty faraday canopy/ Internet. - <http://www.lessemf.com/fabric.html#304>
11. Tibshield electro magnetic shielding fabric/ Internet. - <http://www.tibtech.com/de/fasergarne.php>
12. Smith-nephew. Acticoat antimicrobial barrier dressing/ Internet. - <http://www.smith-nephew.com/key-products/advanced-wound-management/acticoat/>
13. UV Protective Umbrellas/ Internet. - http://www.umbrellaheaven.com/index.php?main_page=index&cPath=21
14. Tibtech innovations. High temperature withstanding stainless steel fibers, rovings, slivers, tops, yarns or fabrics/ Internet. - <http://www.tibtech.com/de/fasergarne.php>
15. Silvergloves. 12% Silver Short and Long Diabetic Socks/ Internet. - http://www.silvergloves.co.uk/?page_id=59
16. Socks SKI deo silver/ Internet. - <http://www.hurtowniasportowa.eu/product-eng-8123-Socks-SKI-deo-silver.html>

17. Elastoplast antibacterial protection products/ Internet. - <http://www.elastoplast.com.au/Products/wound-care/need/Antibacterial-Protection>
18. Silvergloves. 12% silver adult underwear/ Internet. - http://www.silvergloves.co.uk/?page_id=670
19. Cupron cosmetic pillowcase/ Internet. - <http://www.cupronsales.com/Cupron-Cosmetic-Complexion-Enhancing-Pillowcase-p/plc-satq.htm/>
20. Scott R.A. (Ed.) Textiles for protection. – Cambridge: Woodhead publishing limited, 2005. – 734 p.
21. Hipler U.C., Elsner P. (Ed.) Biofunctional textiles and the skin. – Basel: Karger, 2006. – 204 p.
22. Shanmugasundaram O.L. Antimicrobial finish in textiles. The Indian textile journal 2007/ Internet. - <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=507>
23. Jain P.C. Applied Microbiology. Microbial degradation of grains, oil seeds, textiles, wood, corrosion of metals and bioleaching of mineral ores, 2008. National Science Digital Library, NISCAIR, India / Internet. - <http://nsdl.niscair.res.in/bitstream/123456789/558/1>
24. Кунин Г.Н., Соловьёв А.Н.. Текстильное материаловедение, часть 3. –Москва: Лёгкая Индустрия, 1967. – 233 с.
25. Nourbakhsh S., Yang C.Q., Ashrjaran A. Improvement of antibacterial effect of silver coated plasma corona discharge treated cotton fabric// Book of proceedings of 12th world textile conference Autex. – 2012. – pp. 711-714.
26. Pekhtasheva E., Neverov A., Kubica S., Zaikov G. Biodegradation and Biodeterioration of some natural polymers// Chemistry&chemical technology. – 2012. – Volume 6. – pp. 263-280.
27. Rangaswami G., Bagyaray D.J. Agricultural Microbiology second edition. – New Delhi: Prentice-Hall-India, 2005. – 382 p.
28. Nischala K., Rao T.N., Hebalkar N. Silica-silver core-shell particles for antibacterial textile application// Colloids an Surfaces B: Biointerfaces. – 2011. - Volume 82. – pp. 203-208.
29. Kiwi J., Pulgarin C. Innovative self-cleaning and bactericide textiles// Catalysis Today. – 2010. - Volume 151. – pp. 2-7.
30. Stasko J., Romachikova N., Reinis A., Berzina-Cimdina L., Kroica J. Development of Poly (Vinyl Alcohol) Cryo-Systems with medicines and Their Comparative Study of

- Antimicrobial Activity and Cytotoxicity, International Symposium on Biomedical Engineering and Medical Physics// IFMBE Proceedings. – 2013. - Volume 38. – pp. 113-118.
31. Singh G., Joyce E.M., Beddow J., Mason T.J. Evaluation of antibacterial activity of ZnO nanoparticles coated sonochemically onto textile fabrics// Journal of microbiology, miotechnology and food sciences. – 2012. - Volume 2. – pp. 106-120.
 32. Wang Xiao-Dong, Russell S.J. Antimicrobial textile materials in healthcare and medical wound dressings// Journal of Xi'an Polytechnic University. – 2009. - Volume 23. – pp. 11-19.
 33. Polukarova S., Grope I., Pavāre J., Rasnačs O., Gardovska D. Iekaisuma marķieru īpatnības sepses prevalence bērniem ar sistēmiskā iekaisuma atbildes sindromu primajā dzīves gadā// RSU Zraksti. – 2010. – 1.sējums. - lpp. 125-134.
 34. Bobbarala V. (Ed.) Antimicrobial Agents. – Rijeka: InTech, 2012. – 422 p.
 35. Kostic M., Radic N., Obradovic B.M., Dimitrijevic S., Kuraica M.M., Skundric P. Antimicrobial textile prepared by silver deposition on dielectric barrier discharge treated cotton/polyester fabric// Chemical Industry&Chemical Engineering Quarterly. -2008. -Volume 14. - pp. 219-221.
 36. Hebeish A., El-Naggar M.E., Fouda M.M.G., Ramadan M.A., Al-Deyab S.S., El-Rafie M.H. Highly effective antibacterial textiles containing gren synthesized silver nanoparticles// Carbohydrate Polymers. – 2011. - Volume 86. – pp. 936-940.
 37. Dastjerdi R., Montazer M., Shahsavan S. A new method to stabilize nanoparticles on textile surfaces// Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2009. - Volume 345. – pp. 202.-210.
 38. Klemencic D., Simoncic B. Preparation of antimicrobial coating with nanosilver and sol-gel matrix// Book of proceedings of 12th world textile conference Autex. - 2012. – pp. 803-808.
 39. Abbasipour M., Mirabdolahi F., Fallah J. Invistigation of antibacterial properties of finished cotton/polyester fabric with titanium dioxide// Book of proceedings of 12th world textile conference Autex. – 2012. – pp. 625-628.
 40. Zhao Jing, Deng Hua, Li Haixia Multi-functional Nano-ZnO// Textile Asia. - 2009. – Volume 1. - pp. 21-23.

41. Somogyj Skoc M., Pezelj E., Dukic A. Epoxy –silica organic-inorganic hybrid textile materials and antibacterial activity// Proceedings of 6th International Textile, clothing & Design conference, Magic World of textiles. – 2012. – pp. 98-103.
42. Rajendran R., Balakumar C., Mohammed Ahammed H.A., Jayakumar S., Vaideki K., Rajesh E.M. Use zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles// International Journal of Engineering, Science and Technology. – 2010. - Volume 2. – pp. 202-208.
43. Patent: Gabbay J. The cupron corporation, World Intellectual Property Organization// WO 2008/117277 A2. - 2008.
44. Patent: Gabbay J. The cupron corporation, World Intellectual Property Organization// WO 00/75415 A1. - 2000.
45. Anita S., Ramachandran T., Rajendran R., Koushik C. V., Mahalakshmi M. A study pf the antimicrobial property of encapsulated copper oxide nanoparticles on cotton fabric// Textile Research Journal. – 2011. – Volume 81. - pp. 1081-1088.
46. Vukušič S.B. (Ed.) Functional protective textiles. – Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2012. – 397 p.
47. Guidance document Sunscreens Monograph Health Products and Food Branch, Health Canada, Canada Government, Her Majesty the Queen in Right of Canada, represented by the Minister of health, 2012 that isintended to replace the existed Guidance document Sunscreens Monograph Health Products and Food Branch, Health Canada, Canada Government, Her Majesty the Queen in Right of Canada , represented by the Minister of health, 2006/ Internet. - <http://webprod.hc-sc.gc.ca/nhp/nd-bdipsn/monosReq.do?lang=eng&monotype=product>
48. Eiropas parlamenta un padomes regula EK Nr.1223/2009 par kosmētikas līdzekļiem, Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnēsis 342/59 (22.12.2009.)/ Internets. - <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0059:0209:lv:PDF>
49. Borkow G., Gabbay J. Copper, An Ancient remedy returning to fight microbial, fungal and viral infections// Current Chemical Biology. – 2009. – Volume 3. – pp. 272-278.
50. Hubacker D., Lara-Ricalde R., Taylor D. J., Guerra-Infante F., Guzman-Rodriguez R. Use off copper intrauterine devices and the risk of tubal infertility among nulligravid women// The new England journal of medicine. - 2001. - Volume 345. – pp. 561-567.

51. Messaoud M., Chadeau E., Chaudouer P., Oulahal N., Langler M. Quaternary ammonium-based composite particles for antibacterial finishing of cotton-based textiles// *Journal Material Science Technology*. – 2014. – Volume 30. – pp. 19-29.
52. Osorio-Vargas P., Snajines R., Ruales C., Castro C., Pulgarin C., Rengifo-Herrera A.J., Lavanchy L.C., Kiwi J. Antimicrobial Cu-functionalized surfaces prepared by bipolar asymmetric DC-pulsed magnetron sputtering (DCP)// *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. – 2011. – Volume 220. – pp. 70-76.
53. Baghriche O., Ruales C., Sanjines R., Pulgarin C., Zertal A., Stolitchnov I., Kiwi J. Ag-surfaces sputtered by DC and pulsed DC-magnetron sputtering effective in bacterial inactivation: testing and characterization// *Surface & Coatings Technology*. – 2011. – Volume 206. – pp. 2410-2416.
54. Selvarn S., Gandhi R. R., Suresh J., Gowri S., Ravikumar S., Sundrarajan M. Antibacterial effect of novel synthesized sulfated β -cyclodextrin crosslinked cotton fabric and its improved antibacterial activities with ZnO, TiO₂ and Ag nanoparticles// *International journal of pharmaceutics*. – 2012. – Volume 434. – pp. 366-374.
55. Shafei A. E., Abou-Okeil A. ZnO/carboxymethyl chitosan bionano-composite to impart antibacterial and UV protection for cotton fabric// *Carbohydrate polymers*. – 2010. – Volume 83. – pp. 920-925.
56. El-rafi M. H., Mohamed A. A., Shaheen T. I., Hebeish A. Antimicrobial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on cotton fabrics// *Carbohydrate polymers*. – 2010. – Volume 80. – pp. 779-782.
57. Ibrahim N. A., Abou Elmaaty A., Eid B. M., El-Aziz E. A. Combined antimicrobial finishing and pigment printing of cotton/polyester blends// *Carbohydrate polymers*. – 2013. – Volume 95. – pp. 379-388.
58. Danma G.F., Vigo T.L., Welch C.M. Antibacterial textile finishes utilizing zinc acetate and hydrogen peroxide. United state patent US4,199,322. -1980. – pp. 1-8.
59. Latvijas Republikas Veselības Ministrija Veselības Inspekcija, Solāriji, saulošanās un ultravioletā starojuma iedarbība / Internets. - <http://www.vi.gov.lv/lv/vides-veselib/starojumi/nejonizejosie-starojumi/solariji-saulosanas-un-ultravioleta-starojuma-iedarbiba>
60. Tur E. (Ed.) *Environmental Factors in Skin Diseases. Current problems in dermatology*. – Basel: Karger, 2007. – 196 p.

61. Nipane D., Thakare S. R., Khati N. T. ZnO nanoparticle by sol-gel and its uv application in cosmetics formulation// International Journal of Knowledge Engineering. – 2012. - Volume 3. – pp. 168-169.
62. Farouk A., Textor T., Schollmeyer E., Tarbuk A., Grancacic A.M. Sol-gel-derived inorganic-organic hybrid polymers filled with ZnO nanoparticles as an ultraviolet protection finish for textiles// Autex Research Journal. – 2010. - Volume 10. - pp. 58-63.
63. Schindler W.D. (Ed.) Chemical finishing of textiles. – Cambridge: Woodhead publishing limited, 2004. – 224 p.
64. Puoci F., Cirillo G., Settino R., Curcio M., Paris O.I., Iemma F., Spizzirri U.G., Picci N. UV protecting activity of ferulic acid polymeric derivative// Chemistry Today. – 2010. - Volume 28. - pp. 8-10.
65. Azarjana K., Pjanova D., Čēma I. Ādas melanomas attīstības risku noteicošie gēni// RSU Zraksti. – 2010. – 2.sējums. – lpp. 175-182.
66. Standard AS/NZS 4399:1996 Sun protective clothing –Evaluation and classification. - 1996. – 13 p.
67. Skin cancer foundation. Understanding UVA and UVB/. Internet. - <http://www.skincancer.org/prevention/uva-and-uvb/understanding-uva-and-uvb>
68. Karls R. Ultravioletais starojums. Vienīgais novēršamais ādas kancerogēns cilvēkam/. Internets. - <http://www.doctus.lv/2013/11/ultravioletais-starojums-vienigais-noversamais-adas-kancerogens-cilvekam>
69. Skin Cancer Foundation, USA. Prevention Guidelines / Internet. - <http://www.skincancer.org/prevention/sun-protection/prevention-guidelines>.
70. Tomljenovic A., Sinel M., Potocic Matkovic V.M. Factors influencing the UV protective function of female swimwear// Book of proceedings of 12th world textile conference Autex. – 2012. – pp. 745-750.
71. Neha S., Suman P. A review: UV raditation and textile/. Internet. - <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/30/2907/a-review-uv-radiation-and-textiles1.asp>
72. Paul R., Bautista L., De la Varga M., Botet J.M., Casals E., Punes V., Marsal F. Nano-cotton Fabrics with High Ultraviolet protection// Textile research Journal. – 2010. - Volume 80. – pp. 454-462.

73. Dadvar S., Tavanai H., Dadvar H., Morshed M., Godsi F.E. UV-protection and photocatalytic properties of electrospun polyacrylonitrile nanofibrous mats coated with TiO₂ nanofilm via sol-gel// *Journal Sol-gel Science Technoly.* – 2011. - Volume 59. – pp. 269-275.
74. Fonseca de Lima J., Figueredo M. R., Serra O.A. Transparent UV-absorbers thin films of zinc oxide: Ceria system synthesized via sol-gel process// *Optical Materials.* - 2012. -Volume 35. – pp. 56-60.
75. Skin cancer foundation. The skin cancer foundations guide to sunscreens/. Internet. - <http://www.skincancer.org/prevention/sun-protection/sunscreen/the-skin-cancer-foundations-guide-to-sunscreens>
76. Ibrahim N. A., El-Zairy E. M. R., Abdalla W. A., Khalil H. M. Combined UV-protecting and reactive printing of cellulosic./wool blends// *Carbohydrate polymers.* – 2013. – Volume 92. – pp. 1386-1394.
77. Abidi N., Hequet E., Tarimala S., Dai L. Cotton Fabric Surface Modification for Improved UV-radiation Protection Using Sol-Gel Process// *Journal of Applied Polymer Science.* – 2007. – Volume 104. – pp. 111-117.
78. Vigneshwaran N., Kumar S., Kathe A.A., Varadarajan P.V., Prasad V. Functional finishing of cotton fabrics using zinc oxide – soluble starch nanocomposites// *Nanotechnology.* – 2006. – Volume 17. – pp. 5087-5095.
79. Kathirvelu S., D'Souza L., Dhurai B. UV protection finishing of textiles using ZnO nanoparticles// *Indian Journal of fiber&textile research.* -2009. – Volume 34. - pp. 267-273.
80. Abd El-Hady M.M., Farouk A., Sharaf S. Flame retardancy and UV protection of cotton based fabrics using nano ZnO and polycarboxylic acids// *Carbohydrate polymers.* -2012. –Volume 92. – pp. 400-406.
81. Zhiping Mao, Qiuping Shi, Pinping Zhang, Huantian Cao The formation and Uv-blocking property of needle-shaped ZnO nanorod on cotton fabric// *Thin solid films.* – 2008. – Volume 571. – pp. 2681-2686.
82. Shateri-Khalilabad M., Yazdanshenas M.E. Bifunctionalization of cotton textiles by ZnO nanostructures: antimicrobial activity and ultraviolet protection// *Textile research journal.* – 2013. – Volume 83. – pp. 993-1004.
83. Baltiņa I., Reihmane S. Hidrofobizējošas apretes celulozes šķiedrmateriāliem// *RTU Zinātniskie raksti Materiālzinātne un lietišķā ķīmija.* – 2008. - 16.sējums. - lpp. 18-23.

84. Namligoz E.S.m Bahtiyari M.I., Hosaf E., Coban S. Performance comparison of new (dendrimer, nanoparticle) and conventional water, oil and stain repellents// *Fibres&textiles in Eastern Europe*. – 2009. – Volume 17. – pp. 76-81.
85. Polimermateriālu institūts RTU/. Internets. - http://skola.okuladocs.com/tw_files2/urls_5/11/d-10552/7z-docs/3.pdf
86. Hanumansetty S., Maitey J., Foster R., O'Rear E. A. Stain resistance of cotton fabrics before and after finishing with admicellar polymerization// *Applied sciences*. – 2012. – Volume 2. – pp. 192-205.
87. America's Cotton Producers and Importers, Water and stain repellent finishing of cotton fabrics// *Cotton incorporated*. – 2004. – pp. 1-12.
88. Namligor E. S., Bahtiyari M. I., Hosaf E., Coban S. Performance comparison of new (dendrimer, nanoparticle) and stain repellents// *Fibres&Textiles in Eastern Europe*. – 2009. – Volume 17. – pp. 76-81.
89. Lihui Xu, Wei Zhuang, Bi Xu, Zaisheng Cai Fabrication of superhydrophobic cotton fabrics by silica hydrosol and hydrophobization// *Applied Surface Science*. – 2011. – Volume 257. – pp. 5491-5498.
90. Bi Xu, Zaisheng Cai, Weiming Wang, Fengyan Ge Preparation of superhydrophobic cotton fabrics based on SiO₂ nanoparticles and ZnO nanorod arrays with subsequent hydrophobic modification// *Surface&coatings technology*. – 2010. – Volume 204. – pp. 1596-1561.
91. He G., Wang K. The super hydrophobicity of ZnO nanorods fabricated by electrochemical deposition method// *Applied surface science*. – 2011. – Volume 257. – pp. 6590-6594.
92. Chengyu Pan, Li Shen, Songmin Shang, Yanjun Xing Preparation of superhydrophobic and UV blocking cotton fabric via sol-gel method and self-assembly// *Applied Surface Science*. – 2012. – Volume 259. – pp. 110-117.
93. Gypta K.K., Jassal M., Agrawal A.K. Sol-gel derived titanium dioxide finishing of cotton fabric for self cleaning// *Indian Journal of Fibre&textile Research*. – 2008. – Volume 33. - pp. 443-450.
94. El-Gabry L.K., Allam O.G., Hakeim O.A. Surface functionalization of viscose and polyester fabrics toward antibacterial and coloration properties// *Carbohydrate Polymers*. – 2013. – Volume 92. – pp. 353-359.

95. Kan C.W., Yuen C.W.M., Jiang S.Q., Tung W.S. Optimising the electroless nickel plating process for textile application// RJTA. – 2007. – Volume 11. – pp. 60-70.
96. Preda N., Enculescu M., Zgura I., Socol M., Matei E., Vasilache V., Enculescu I. Superhydrophobic properties of cotton fabrics functionalized with ZnO by electroless deposition// Materials chemistry and physics. – 2013. –Volume 138. – pp. 253-261.
97. Petrova M., Georgieva M., Dobрева E., Avdeev G. Electroless deposition of nanodisperse metal coatings on fabrics// Bulgarian chemical communications. – 2012. – Volume 44. – pp. 92-98.
98. Hoffman D.M., Tomas J.H., Singh B. Handbook of Vacuum Science and Technology. – Berlin: Elsevier Science & technology, 1998. - 835 p.
99. Urath W. Fundamentals of vacuum technology. – Cologne, 1998. – 198 p.
100. Qufu Wei, Qiuxiang Xu, Yibing Cai, Yingying Wang, Evaluation of the interfacial bonding between fibrous substrate and sputter coated copper// Surface & Coatings Technology. -2008. - Volume 202. – pp. 4673-4680.
101. Joanne Yip, Shouqiang Jiang, Chris Wong, Characterization of metallic textiles deposited by magnetron sputtering and traditional metallic treatments// Surface & Coating Technology. – 2009. - Volume 204. – pp. 380-385.
102. Mattox D.M. Foundations of vacuum coating technology. – New Yourk: Noyes publications/William Andrew publishing, 2003. – 66 p.
103. Kleinhempel R., Thielsch R., Wahl A. Optical, Electrical, and Structural Properties of ZAO and ZGO Coatings Deposited by Magnetron Sputtering onto Plastic Substrate//52nd Annual Technical Conference Proceedings. - 2009. – pp. 685-690.
104. Lippens P., Murez C. Rotary Ceramic ITO Sputtering Targets for large Area TCo Coating Deposition: Cost Effective and Quality boosting// 52nd Annual Technical Conference Proceedings. - 2009. – pp. 390-395.
105. Szyszka B. Magnetron sputtering of ZnO films// Transparent conductive zinc oxide// Springer series in materials science. – 2008. – Volume 104. – pp. 187-233.
106. Ziaja J., Koprowska J., Janukiewicz J. Using plasma metallisation for manufacture of textile screens against electromagnetic fields// Fibre&textiles in Eatsern Europe. – 2008. – Volume 16. – pp. 64-66.

107. Ehiasarian A., Pulgarin C., Kiwi J. Inactivation of bacteria under visible light and in the dark by Cu films, Advantages of Cu-HIPIMS-sputtered films// Environmental Science & Pollution Research. – 2012. - Volume 19. – pp. 3791-3797.
108. Wang H., Gao W., He Y., Li J. Gu L. Microstructure and properties of Ag coated PET nonwovens prepared by magnetron sputtering// Journal of textile research. – 2009. – Volume 30. – pp. 29-33.
109. Bingyao D., Xiong Y., Qufu W., Weidong G. AFM characterization of nonwoven material functionalized by ZnO sputter coating// Materials characterization. – 2007. – Volume 58. – pp. 854-858.
110. Yang Xu, Ning Wu, Qufu Wei, Xiubiano Pi Preparation and the light transmittance of TiO₂ deposited fabrics// Journal Coating Technology Resesearch. – 2009. - Volume 6. - pp. 549-555.
111. Липин Ю.В., Меерсон С.Л., Мякишева Л.С., Шульман М.А. Металлизация полимерных пленок в вакууме. Обзор. – Рига: ЛатНИИНТИ, 1979. – 47 с.
112. Shishoo R. (Ed.) Plasma technologies for textiles. – New Yoir: Woodhead publishing limited, 2007. – 360 p.
113. Buyle G. Nanoscale finishing of textiles via plasma treatment// Material Technology: Advanced Performance Materials. – 2009. – Volume 24. – pp. 46-51.
114. Kutlu B., Cireli A. Plasma technology in textile processing, Czech Textile Research Conference, 2004 / Internet. - <http://www.ft.vslib.cz/indoczech-conference/conference-proceedings/index.html>
115. Vencelova P., Ujhelyiova A., Ryba J., Cernakova L., Mikula M. Change of colour properties and Rubbing fastness after plasma treatment of wool textile materials// Proceedings of 6th international Textile, Clothing & Design conference Magic World. – 2012. – pp. 301-305.
116. Canal C., Garboriau F., Molina R., Erra P., Ricarda A. Role of the active species of plasma involved in the modification of textile materials// Plasma processes and Polymers. – 2007. – Volume 4. – pp. 445-454.
117. Masaeli E., Morshed M., Tavanai H. Study of the wettability properties of polypropilene nonwoven mats by low-preasure oxygen plasma treatment// Surface and Interface Analysis. – 2007. – Volume 39. – pp. 770-774.

118. Raoufi D., Raoufi T., The effect of heat treatment on the physical properties of sol-gel derived ZnO thin films// *Applied Surface Science*. - 2009. - Volume 255. – pp. 5812-5817.
119. Kaneva N.V., Dushkin C.D., Bojinova A.S. ZnO thin films preparation on glass substrates by two different sol-gel methods// *Proceedings of the 3rd National Crystallographic Symposium*. – 2012. – Volume 44. - pp. 63-69.
120. Znaidi L., Touam T., Vrel D., Souded N., Yahia S.B., Brinza O., Fischer, Boudrioua A. ZnO thin films synthesized by sol-gel process for photonic applications// *Acta Physica A*. – 2012. - Volume 121. – pp. 165-168.
121. Xue S.W., Zu X.T., Zhou W.L., Deng H.X., Xiang X., Zhang L., Deng H. Effects of post-thermal annealing on the optical constants of ZnO thin film// *Journal of Alloys and Compounds*. – 2008. – Volume 448. – pp. 21-26.
122. Kaneva N.V., Dushkin C.D. Preparation of nanocrystalline thin films of ZnO by sol-gel dip coating// *Bulgarian Chemical Communications*. – 2011. - vol 43. – pp. 259-263.
123. Saleem M., Fang L., Wakeel A., Rashd M., Kong C.Y. Simple preparation and characterization of nano-crystalline zinc oxide thin films by sol-gel method on glass substrate// *World Journal of Condensed Matter Physics*. – 2012. - Volume 2. –pp. 10-15.
124. Ghodsi F.E., Absalan H. Comparative study of ZnO thin films prepared by different sol-gel route// *Acta physica polonica A*. – 2010. - Volume 118. – pp. 659-664.
125. Juhņēviča I., Mežinskis G., Kļaviņa I., Gabrene A. Keramikas struktūras iegūšana un īpašības ar biomimētikas un sola-gēla metodi// *RTU Zinātniskie raksti Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*. – 2013. - Sējums 27. - lpp. 5-10.
126. Brinker C.J., Scherer G.W. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. – London: Academic Press, 1990. – pp. 881.
127. Brzezinski S., Kowalczyk D., Borak B., Jasiorski M., Tracz A. Nanocoat finishing of polyester/cotton fabrics by the sol-gel method to improve their wear resistance// *Fibres & textiles in Eastern Europe*. – 2011. – Volume 19. – pp. 83-88.
128. Ferrero F., Periolatto M. Application of fluorinated compounds to cotton fabrics via sol-gel// *Applied Surface Science*. - 2013. – Volume 275. – pp. 201-207.

129. Chao-Hua Xue, Shun-Tian Jia, Hong-Zheng Chen, Mang Wang, Superhydrophobic cotton fabrics prepared by sol-gel coating of TiO₂ and surface hydrophobization// Science and technology of Advanced Materials. – 2008. – Volume 3. – 035001
130. Qi K. Dissertation thesis, Study of photocatalytic activities of nanoscaled metal oxides on textiles, The Hong Kong Polytechnic University, Institute of Textiles and Clothing. – 2009. – 227 p.
131. Colleoni C., Massafra M.R., Rosace G. Photocatalytic properties and optical characterization of cotton fabric coated via sol-gel with non-crystalline surface TiO₂ modified with poly(ethylen glycol)// Surface & Coatings technology. – 2012. - Volume 207. – pp. 79-88.
132. Ghomashpasand M., Shojaie A.F., Moafi. H. F. Effects of ZnO nanoparticles on the antibacterial properties of cellulosic fabrics// Proceedings of the 4th International Conference on Nanostructures. – 2012. – pp. 837-839.
133. Colleoni C., Donelli I., Freddi G., Migani V., Rosace G. A novel sol-gel multi-layer approach for cotton fabric finishing by tetraethoxysilane precursor// Surface & Coatings Technology. – 2013. – Volume 235. – pp. 192-203.
134. Chao-Hua Xue, Peng-Ting Ji, Ping Zhang, Ya-Ru li, Shun-Tian jia fabrication of superhydrophobic and superoleophilic textiles for oil-water separation// Applied Surface Science. – 2013. – Volume 284. – pp. 464-471.
135. Messaoud M., Chadeau E., Chaudouet P., Oulahal N., Langlet M. Quaternary ammonium-based composite particles for antibacterial finishing of cotton-based textiles// Journal material science technology. – 2014. – Volume 30. – pp. 19-29.
136. Helmenstine A.M., Ph.D. Copper facts Chemical & Physical Properties/ Internet. - <http://chemistry.about.com/od/elementfacts/a/copper.htm>
137. Abramov O.V., Gedanken A., Kolytyn Y., Perkas N., Perelshtein I., Joyce E., Mason T.J. Pilot scale sonochemical coating of nanoparticles onto textiles to produce biocidal fabrics// Surface&coatimngs Technology. -2009. - Volume 204. – pp. 718-722.
138. Мосин О.В. Медицина: Лечебные свойства меди.Nanoweek. 2008. Nr.22./ Internet. - <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/fiziologicheskoe-vozdествie-nanochastits-medi-na-organizm-cheloveka>

139. Grass G., Rensing C., Solioz M. Metallic copper as an antimicrobial surface// Applied and environmental microbiology. – 2011. – Volume 77. – pp. 1541-1547.
140. Hostynek J.J., Maibach H.I. Copper and the skin, 2006. – New York: CRC Press. – 328 p.
141. Gabbay J. Antimicrobial and antiviral polymeric materials. United state patent US2007/0184079. -2007. – pp. 1-7.
142. Silver and copper costs/ Internet. - <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=silver&months=300¤cy=eur&commodity=copper>
143. Vihodceva S. Tekstilmateriālu funkcionalizācija ar metālu nanolīmeņam pārklājumiem: maģistra darbs. RTU Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Tekstilmateriālu tehnoloģiju un dizaina institūts. Rīga: Rīgas Tehniskā Universitāte. – 2010. – 62 lpp.
144. Standard PN-EN 13758-1:2007 Textiles- solar UV protective properties – Part 1: Method of test for apparel fabrics. – 2007. – 12 p.
145. Standard: ISO 105C10-A01:2006. Textiles – Tests for colour fastness – Part A01: General principles of testing. – 2006 – 5 p.
146. Standard: EN ISO 12947-2. Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method. – 2006. – 14 p.
147. AATCC Test Method 147-2004. Anti-bacterial activity assessment of textile materials: Parallel streak method. AATCC Technical Manual. - American Association of Textile Chemists and Colorists, Research Triangle Park, NC. – 2005.
148. Standard EN 20139:1992 Textiles – Standard atmospheres for conditioning and testing. -1992.
149. Standard PN-EN ISO 9237:1998 Determination of permeability of fabrics to air. -1998. – 9 p.
150. Standard PN-91 P- 04746:1991 Textiles determination of liquid sorption indices. 1991. – 2 p.
151. Standard PN-80 P-04635 Textiles determination of hygroscopicity. – 1980. – 2 p.
152. Chag-xia Wang, Mao Li, Guang-wei Jiang, Kuan jun Fang and An-li Tian, Surface Modification with Silicone sol on cotton fabric water-repellent finishing// RJTA. – 2007. – Volume 11. – pp. 27-34.

153. Abidi N., Cabrales L, Hequet E. Functionalization of a cotton fabric surface with titania nanosols: applications for self cleaning and UV-protection properties// *Journal Applied Materials and Interfaces*. – 2009. - Volume 1. - pp. 2141-2146.
154. Yin Y., Wang C., Wang C., et. al. Hydrophobic properties and color effects of hybrid silica spin-coatings on cellulose matrix// *Journal Material Science*. – 2011. - Volume 46. - pp. 6682-6689.
155. Wang C., Li M., Jiang G. Surface modification with silicon sol on cotton fabrics for water-repellent finishing// *RJTA*. – 2007. - Volume 11. - pp. 27-34.
156. Kiskan B., Akar A., Kizilcan N., Ustamehmetoglu B. Soluble and conductive copolymers from 1- (hydroxyalkyl) pyrroles// *Journal of applied polymer science*. – 2005. –Volume 96. – pp. 1830-1834.
157. Yun Peng, Pelyl Wu, Yullang Yang. Two-dimensional infrared correlation spectroscopy as a probe of sequential events in the diffusion process of water in poly (ϵ – caprolactone)// *Journal of chemical physics*. – 2003. – Volume 119. – pp. 8075-8079.
158. Pelletier S. W. (Ed.) *Alkaloids: chemical & biological perspectives*. Volume 13. – Oxford: Elsevier science Ltd, 1999. – 147 p.
159. Oh T., Lee K., Kim K.S. Comparison of the nano-structure due to C=O and C=C double bond// *Journal of the Korean Physical Society*. – 2004. – Volume 45. – pp. 405-708.
160. Laiyuan Chen., Liwu Lin., Zhusheng Xu, Tao Zhang, Qin Xin, Pinliang Ying, Guoqiang Li, Can Li. Fourier transform-infrared investigation of adsorption of methane and carbon monoxide on HZSM-5 and Mo/HZSM-5 zeolites at low// *Journal of Catalysis*. – 1996. – Volume 161. – pp. 107-114.
161. Bellamy L.J. (Ed.) *The infrared spectra of complex molecules*. Volume 1. – London: Chapman & Hall, 1975. – 433 p.
162. Frost Ray L., Banfenne S. Mid-infrared and near infrared spectroscopic study of selected magnesium carbonate minerals containing ferric ion – implications for the gwosequestration of greenhouse gase// *Spectochimica Acta part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2009. – Volume 72. – pp. 597-604.
163. Bodirlau R., Teaca C.A. Fourier transform infrared spectroscopy and thermal analysis of lignocellulose fillers treated with organic anhydrides// *Romanian Journal of Physics*. – 2009. – Volume 54. – pp. 93-104.

164. Lenza R.F.S., Vasconcelos W.L. Structural evolution of silica sols modified with formamide// *Materials Research*. – 2001. – Volume 4. – pp. 175-179.
165. Rimdusit S., Somsaeng K., Kewsuwan P., Jubsilp C., Tiptipakorn S. Comparison of gamma radiation crosslinking and chemical crosslinking on properties of methylcellulose hydrogel// *Engineering journal*. – 2012. – Volume 16. – pp. 15-28.
166. Is Fatimah, Yuli Rohyami, Bayu Wiyantoko, Tuty Alawiyah. Copper(II) exchanged TiO₂ pillared clay preparation from Indonesian montmorillonite: effect of titania precursor// *Proceedings of the 2009 International Conference Chemical, Biological and Environmental Engineering*. – 2009. – pp. 138-143.
167. Stan G.E., Bojin D. Adherent glass-ceramic thin layers with bioactive potential deposited by magnetron sputtering techniques// *Science Bulletin, Series B*. – 2010. – Volume 72. – pp. 187-196.
168. Ramasamy V., Suresh G., Meenakshisundaram V., Ponnusamy V. Distribution and characterization of minerals and naturally occurring radionuclides in river sediments// *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. – 2010. – Volume 5. – pp. 41-48.
169. Julkapli N.M., Akil H.M. Ahmad Z. Effect of cross linked chitosan filler on degradability properties of chitosan bio-composites// *Plastic and Polymer technology*. – 2012. – Volume 1. – pp. 1-8.
170. Anandhan K., Kumar R.T. Density functional theory calculation on dopamine// *Journal of Chemical and Pharmaceutical sciences*. – 2011. – Volume 4. – pp. 73-78.
171. Rangel-Vazquez N.A., Leal-Garcia T. Spectroscopy analysis of chemical modification of cellulose fibers// *Journal of the Mexican Chemical Society*. – 2010. – Volume 54. – pp. 192-197.
172. Yun Peng, Pelyl Wu, Yullang Yang. Two-dimensional infrared correlation spectroscopy as a probe of sequential events in the diffusion process of water in poly(ϵ -caprolactone)// *Journal of chemical physics*. – 2003. – Volume 119. – pp. 8075-8079.
173. Edwards A., Hayward R.N. Transition metal acetates// *Canadian Journal of Chemistry*. – 1998. – Volume 46. – pp. 3443-3446.
174. Bhargava R., Levin I.W. Spectrochemical analysis using infrared multichannel detectors. – Oxford: Wiley - Blackwell, 2008. – 328 p.

175. Kvarnstrom C., Petr A., Damlin P., Lindfors T., Ivaska A., Dunsch L. Raman and FTIR spectroscopic characterization of electrochemically synthesized poly(triphenylamine), PTPA// *Journal of Solid State Electrochem.* – 2002. – Volume 6. – pp. 505-512.
176. Kumar G., Kiremire E.M.R. Synthesis, coordination and structure of mixed ligand copper (II) complexes of iminodiacetic acid and hippuric acid// *Chemistry.* – 2007. – Volume 16. – pp. 386-393.
177. Khan Z.R., Khan M.S., Zulfequar M., Khan M.S. Optical and structural properties of ZnO thin films fabricated by sol-gel method// *Material Sciences and Applications.* – 2011. – Volume 2. – pp. 340-345.
178. Katumba G., Mwakikunga B.W., Mothibinyane T.R. FTIR and Raman spectroscopy of carbon nanoparticles in SiO₂, ZnO and NiO matrices. – 2008. – Volume 3. – pp. 421-426.
179. Preston L.J., Izawa M.R.M., Banerjee N.R. Infrared spectroscopic characterization of organic matter associated with microbial bioalteration textures in basaltic glass// *Astrobiology.* – 2011. – Volume 11. – pp. 585-599.
180. Nyquist R.A., Kagel R.O. *Infrared Spectra of Inorganic Compounds.* – New York: Academic Press, 1971. – 495 p.
181. Salem J., Zhy D. *Nanostructured materials and nanotechnology.* Volume 28. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. – 196 p.
182. Andrade A.L., Turchetti-Maia R.M.M., Lopez M.T.P., Salas C.E., Domingues R.Z. In vitro bioactivity and cytotoxicity of chemically treated glass fibers// *Materials Research.* – 2004. – Volume 7. – pp. 635-638.
183. How to evaluate travel clothing fabrics – Part II: fibers/. Internet. – http://www.packinglight.net/packinglight_blog_page.aspx
184. Antimicrobial textiles/. Internet. – http://www.antimicrobialtestlaboratories.com/information_about_antimicrobial_fabrics_and_textiles.htm
185. Mc Carthy B.J. *Textiles for hygiene and infection control.* – Cambridge: Woodhead publishing series in textiles. – 2011. – 240 p.
186. SurgiStrategies. Infection control./ Internet. – <http://www.surgistrategies.com/articles/2005/12/gram-positive-and-gram-negative-bacteria.aspx>

187. Čupāne L., Pugačova N., Selga I., Balode A., Gardovska D., Miklaševičs E., PVL pozitīvo *S.aureus* izplatība pacientiem Bērnu klīniskajā universitātes slimnīcā// RSU ZRaksti. – 2009. - 1.sējums – lpp. 66-70.
188. Diāna Platace, Lilija Antonēviča, Aigars Reinis, Valentīna Kuzņecova, Juta Koriča, Inga Millere Nozokomiālo infekciju attīstību ietekmējošie faktori perifērās vēnas kanilēšanas un aprūpes laikā// RSU ZRaksti. – 2009. – 1.sējums – lpp. 451-456.
189. Bakterioloģija / Internets. - www.nms-laboratorija.lv/laboratorijas-testu-interpretacijas-rokasgrama-arstiem/bakteriologija/
190. Staško J. Polivinilspirta krio-hidrogēlu sistēmas biomateriālu izstrādei: promocijas darbs. RTU Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte Polimērmateriālu institūts Doktora studiju programma „Ķīmijas tehnoloģija”. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte. – 2013. – 130 lpp.
191. Po-Ren Hsueh, Lee-Jene Teng, Hui-Ju Pan, Yu-Chi Chen, Chun-Chuan Sun, Shen-Wu Ho and Kwen-Tay Luh, Outbreak of *Pseudomonas fluorescens* Bacteremia among Oncology Patients// *Journal of Clinical Microbiology*. – 1998. - Volume 36. – pp. 2914-2917.
192. Garrity G., Brenner D. J., Krieg N. R., Staley J. R. *Bergey's manual of systematic bacteriology. The Proteobacteria, Part B: The Gammaproteobacteria*. – New York: Springer, 2005. – 1203 p.
193. Paulsen I. T., Press C. M., Ravel J. et al. Complete genome sequence of the plant commensal *Pseudomonas fluorescens* Pf-5// *Nature Biotechnology*. – 2005. – Volume 23. – pp. 873-878.
194. *Saccharomyces cerevisiae* Final Risk Assessment, 1997, Biotechnology Program under the Toxic Substances Control Act (TSCA), US Environmental protection agency/ Internet. - http://www.epa.gov/biotech_rule/pubs/fra/fra002.htm
195. Kirk O., Borchert T. V., Fuglsang C. C. Industrial enzyme applications// *Current Opinion in Bio-technology*. – 2002. –Volume 13. – pp. 345-351.
196. Harman G. E., Hayes C. K., Lorito M., Broadway R. M., Di Pietro A., Tronsmo A. Chitinolytic enzymes of *Trichoderma harzianum* purification of chitinobiosidase and endochitinase// *Phytopathology*. – 1993. –Volume 83. – pp. 313-318.

197. Legras J. L., Merinoglu D., Cornuet J. M., Karst F. Bread, beer and wine: *Saccharomyces cerevisiae* diversity reflects human history// *Molecular Ecology*. – 2007. – Volume 16. – pp. 2091-2102.
198. Roblego-Ortiz J.R., Ramirez-Arreola D.E., Gomez C., Gonzalez-Reynoso O., Gonzalez-Nunez R. Bacterial immobilization by adhesion onto agave – fiber/polymer foamed composites// *Bioresource technology*. – Volume 101. – pp. 1293-1299.
199. Nikolajeva V., Griba T., Petrina Z. Application Possibilities of Different Expanded Latvian Clay Granules in Biotechnology// *Scientific Journal of Riga Technical University Material Science and Applied Chemistry*. - 2011. – Volume 24. – pp. 106-109.
200. Kapellos G. E., Alexiou T. S., Payatakes A. C. Hierarchical Simulator of biofilm growth and dynamics in granular porous materials// *Advances in Water Resources*. – 2007. - Volume 30. pp. 1648–1667.
201. Hori K., Matsumoto S. Bacterial adhesion: From mechanism to control// *Biochemical Engineering Journal*. – 2010. - Volume 48. – pp. 424–434.
202. Jefferson K.K. What drives bacteria to produce a biofilm?// *FEMS Microbiology Letters*. – 2004. - Volume 236. – pp. 163-173.
203. Bhinu V.S. Insight into biofilmTassociated microbial life// *Journal of Molecular Microbiology & Biotechnology*. – 2005. - Volume 10. - 15T21
204. Singh R., Paul D., Jain R.K. Biofilms: implications in bioremediation// *Trends in Microbiology*. – 2006. – Volume 14. – pp. 389-397.
205. Bonnie L., Bassler L., Losick R. Bacterially Speaking// *Cell*. – 2006. - Volume 125. – pp. 237-246.
206. Church D., Elsayed S., Reid O., Winston B., Lindsay R. Burn Wound Infections. *Clinical Microbiology Reviewe*. – 2006. - Volume 19. – pp. 403–434.
207. Farouk A., Sharaf S., Abd El-Hady M. M. Preparation of multifunctional cationized cotton fabric based on TiO₂ nanomaterials// *international Journal of Biological Macromolecules*. – 2013. – Volume 61. – pp. 230-237.
208. Fatahi I, Yazdi A.A. Predicting Air Permeability Property Values from the Parameters of Weave Structure// *Fibres & textiles in Eastern Europe*. – 2012. - Volume 20. - pp. 78-81.
209. Статистический анализ методы, аналитика, познавательные факты. Дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации/ Internet. -

<http://statanaliz.info/teoriya-i-praktika/10-variatsiya/15-dispersiya-standartnoe-otklonenie-koeffitsient-variatsii.html>

210. Минюст РФ СанПиН, Гигиенические требования к одежде для детей, подростков и взрослых. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – 2012. - 2.4.711.1.2651-10.
211. Fan J., Cheng X. Heat and Moisture Transfer with Sorption and Phase Change Through Clothing Assemblies. Part I: Experimental Investigation// Textile Research Journal. – 2005. Volume 75. - pp. 99-105.
212. Kumar S.A., Coated Textiles: Principles and Applications. – Boca Roca: CRC Press Inc, 2007. - 245 p.
213. Some aspects of water vapor transport through clothing and shoe materials/. Internet. - ftt-rea.webasyst.net/files/edd0245a/ZmlsZT1NVFEx
214. Bendkowska W. Transport pary wodnej przez wodoszczelne paroprzepuszczalne materiały odzieżowe przy gradnienciu temperatury// Przegląd Włókienniczy. – 2003. Volume 2. - pp. 12-15.
215. Payne A.R. (Ed.) Poromerics in the shoe industry. –London: Elsevier Publ. Co., 1970. – 195 p.
216. Erythromycin/Zinc acetate/ Internet. - http://services.medicines.org.uk/assethosting/assets/printable/e/r/erythromycin-zinc%20acetate/printable.2447_27_1015.pdf
217. Diphenhydramine, zinc acetate: topical cream/ Internet. - <http://www.cvs.com/drug/summary/Diphenhydramine-Zinc-Acetate-Topical-cream?onId=8556&formId=215&onType=G&DrugInfoPage=Summary&Drug20Name=Diphenhydramine-Zinc-Acetate-Topical-cream>

PIELIKUMS

BEZKONTAKTA METODE UZNESTĀS METĀLA KĀRTIŅAS UN METĀLPĀRKLĀTU TEKSTILIJU VIRSMAS IZMAIŅU PĒTĪŠANAI

1. Atstarotās gaismas intensitāte

Vairums metālu labi atstaro krītošās redzamās gaismas starus, kā arī gandrīz neabsorbē tos; bez tam tiek labi atstarots arī neredzamais elektromagnētiskais starojums, tai skaitā radioviļņi [1].

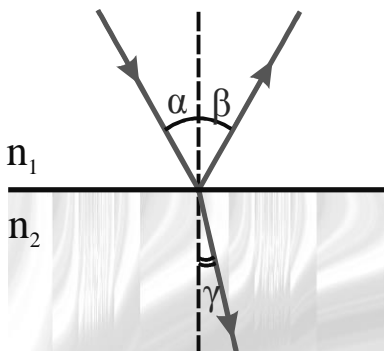
Analizējot gaismas izplatīšanās likumsakarības tiek noteikti atbilstoši parametri vidē, kurā gaisma krīt uz robežvirsmu (pirmā vide, parametri apzīmēti ar indeksu 1), un vidē, kurā gaisma izplatās tālāk (otrā vide, parametri apzīmēti ar indeksu 2) [1].

Pieņemsim, ka slīpi no 1.vides uz robežvirsmu ar 2.vidi krīt paralēli gaismas stari ar gaismas krišanas leņķi α . Tāpat kā no spoguļa, arī no 2.vides virsmas daļa gaismas atstarojas pirmajā vidē. Taču daļa gaismas nokļūst arī otrajā vidē (skat. 1.1. att.); lauztās gaismas stari ar perpendikulu pret robežvirsmu veido gaismas laušanas leņķi γ . Gaismas laušanas leņķis γ var būt gan mazāks, gan lielāks par gaismas krišanas leņķi α [1].

Tā kā lauztās un krītošās gaismas stari atrodas vienā plaknē, krišanas leņķa α sinusa attiecība pret laušanas leņķa γ sinusu ir vienāda ar otrās un pirmās vides gaismas laušanas koeficientu attiecību (1.1.) (skat. 1.1. att.) [1].

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.1.)$$

- kur α - gaismas krišanas leņķis;
- γ - gaismas laušanas leņķis;
- n_1 - gaismas laušanas koeficients videi, no kuras gaisma krīt;
- n_2 - gaismas laušanas koeficients videi, kurā gaisma lūst.



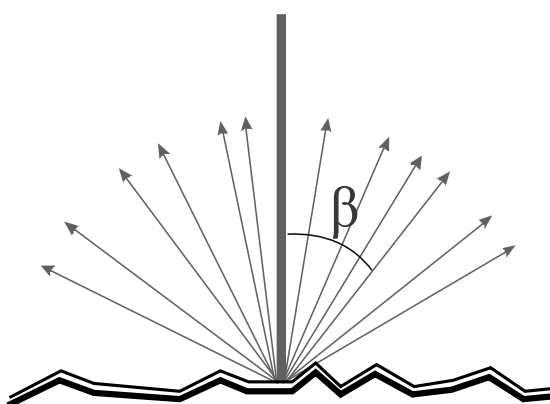
1.1. att. Gaismas spoguļatstarošanas un laušanas shēma

Spoguļatstarošanā, kas notiek no ļoti gludām virsmām, atstarotās gaismas stars atrodas gaismas krišanas plaknē, atstarošanas leņķis β ir vienāds ar krišanas leņķi α (1.2.) (skat. 1.1. att.) [1].

$$\alpha = \beta, \quad (1.2.)$$

kur α – krišanas leņķis;
 β – atstarošanas leņķis.

Nelīdzenas virsmas atstaro gaismu visos iespējamajos virzienos (skat. 1.2. att.), kas tiek aprakstīta kā difūzā gaismas atstarošana [1].



1.2. att. Difūza gaismas atstarošana

Teorētiski pieņemot, ka ķermenis visos virzienos atstaro (izstaro) vienādi (skat. 1.2. att.), tā izstarotā viļņa intensitātei noteiktā virzienā (I_β) atbilstoši Lamberta likumam ir jābūt proporcionālai leņķa β kosinusam un krītošā stara intensitātei (I_0) (1.3.) [2]:

$$I_\beta = I_0 \cos \beta, \quad (1.3.)$$

Normējot:
$$\frac{I_\beta}{I_0} = \cos \beta, \quad (1.4.)$$

kur I_β – izstarotā viļņa intensitāte noteiktā virzienā;
 I_0 – krītošā stara intensitātei.

Ņemot vērā, ka dabisko šķiedru un no tām izgatavotu tekstilmateriālu virsmas gaismu atstaro difūzi, tās pārklājot ar metālu, virsmas raupjums daļēji izlīdzinās, kā arī mainās citas virsmas īpašības, tika izvirzīta hipotēze, ka atstarotās gaismas intensitātes mērījumu salīdzināšana tekstilparaugiem ar dažādām virsmas īpašībām un apstrādēm ļaus iegūt informāciju par virsmas īpašību, tai skaitā struktūras izmaiņām.

2. Caurejošās gaismas intensitāte

Lai raksturotu uznestā pārklājuma biezumu un novērtētu, vai paraugu virsmas attīrīšana plazmas vidē, priekšapstrāde, pārklājuma biezums ietekmē vara pārklājuma noturību uz parauga virsmas, tika mērīta caur pārklāto un pēc ekspluatācijas paraugu caurejošā lāzera stara intensitāte I_c un krītošā lāzera stara intensitāte I_k nosakot cauri izgājušās gaismas relatīvo daudzumu – a (1.5.) [3].

$$\frac{I_c}{I_k} = a, \quad (1.5.)$$

kur I_c – paraugu caurejošā lāzera stara intensitāte;
 I_k – krītošā lāzera stara intensitāte.

Jo mazāka ir caurejošās gaismas intensitāte I_c , jo mazāka a vērtība, jo vairāk metāla ir uz tekstilmateriāla parauga virsmas [3].

3. Optiskā absorbcija

Optiskās absorbcijas metodes pamatā ir Lamberta-Bera likums [4]:

$$T = \frac{I_o}{I} = 10^{-\beta d},$$

kur T - gaismas caurlaidība;

I_o - uz paraugu krītošās gaismas plūsma;

I - paraugam caur izgājušās gaismas plūsma;

β - ekstincijas koeficients, kurš raksturo pētāmā parauga iekšējo izkliedi (ρ) un absorbciju (α), kura ir proporcionāla pētāmo absorbējošo centru koncentrācijai ($\beta = \alpha + \rho$);

d - absorbējošā slāņa (parauga) biezums (skat. 1.3. att.).

Likums ir spēkā tikai tādos gadījumos, ja absorbējošie centri savstarpēji nesadarbojas. Var lietot arī citus fizikālos jēdzienus, piemēram, D - optisko blīvumu, tad Lamberta-Bera likums izskatās [4]:

$$D = \lg \frac{I_o}{I} = \beta d,$$

kur I_o – uz paraugu krītošās gaismas plūsma;

I – paraugam caur izgājušās gaismas plūsma;

β - ekstincijas koeficients, kurš raksturo pētāmā parauga iekšējo izkliedi (ρ) un absorbciju (α), kura ir proporcionāla pētāmo absorbējošo centru koncentrācijai ($\beta = \alpha + \rho$);

d - absorbējošā slāņa (parauga) biezums (skat. 1.3. att.).

vai absorbcijas koeficientu K

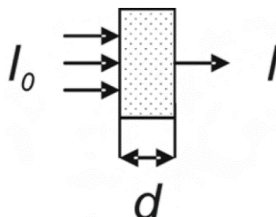
$$K = \frac{1}{d} \ln \frac{I_0}{I} = \beta d,$$

kur I_0 – uz paraugu krītošās gaismas plūsma;

I – paraugam caur izgājušās gaismas plūsma;

β - ekstincijas koeficients, kurš raksturo pētāmā parauga iekšējo izkliedi (ρ) un absorbciju (α), kura ir proporcionāla pētāmo absorbējošo centru koncentrācijai ($\beta = \alpha + \rho$);

d - absorbējošā slāņa (parauga) biezums (skat. 1.3. att.).

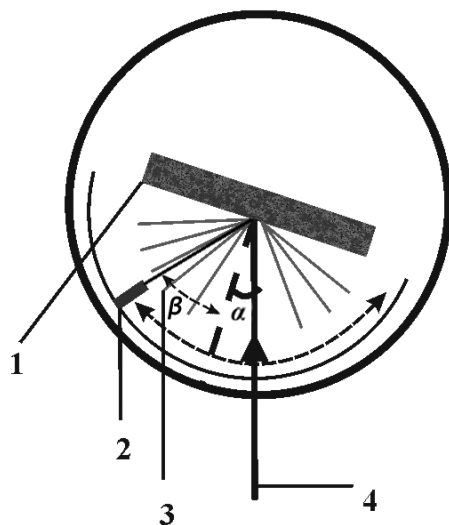


1.3. att. Optiskās caurlaidības noteikšanas shēma

Absorbcijas spektrs ir caurlaidības T (vai D , vai K) atkarība no viļņa garuma. Lamberta-Bera likums ir spēkā visam elektromagnētisko viļņu spektram, tai skaitā infrasarkanā (IS) viļņu apgabalā [4].

4. Atstarotās gaismas intensitātes mērījumu veikšanas apraksts

Atstarotās gaismas intensitātes mērījumu veikšanai tika izveidots laboratorijas stands (skat. 1.4. att.). Krītošās gaismas staru tajā nodrošina lāzeri ar viļņa garumu 546 un 632,8 nm (pozīcija Nr. 4, 1.4.att.), par atstarotās gaismas detektoru kalpo diode (pozīcija Nr. 2, 1.4. att.), kas tiek pārvietota atstarotā stara uztveršanai zem dažādiem leņķiem β (pozīcija Nr. 3, 1.4. att.).



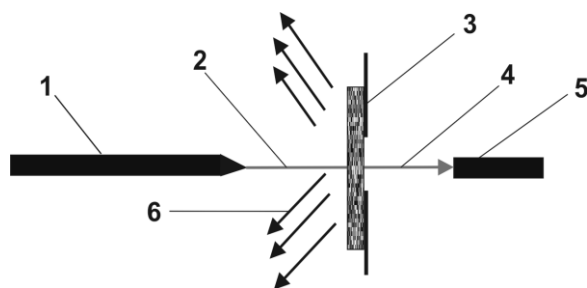
1.4. att. Atstarotās gaismas mērījumu shēma

1 – Materiālu paraugs turētājā, 2 – atstarotā stara detektors, 3 - β maināmais atstarotā stara novērošanas leņķis, 4 – lāzera stars

Tekstila paraugu piestiprina pie paraugu turētāja (pozīcija Nr. 1, 1.4. att.), nostiprinot turētāja rāmī, lai paraugs ir fiksēts mērīšanas laikā. Tā kā tekstilmateriālam piemīt nevienmērīga virsma, kā arī, lai salīdzinātu pārklājuma vienmērīgumu dažādās paraugu daļās, katram vienas sērijas paraugam atstarotās gaismas intensitāti nomēra piecos punktos - katra stūrī un vidū. Katrā punktā nosaka izkliedētās gaismas atkarību no β , mainot to no $+90$ līdz -90 grādiem no normāles, pie krišanas leņķa 0 grādi.

5. Caurejošās gaismas intensitātes un optiskās absorbcijas mērījumu veikšanas apraksts.

Laboratorijas standu var izmantot caurejošās gaismas intensitātes mērījumu veikšanai, shēmu var redzēt 1.5. attēlā. Tekstila paraugu piestiprina pie paraugu turētāja (pozīcija Nr. 3, 1.5. attēlā) nostiprinot turētāja rāmī, lai paraugs ir fiksēts mērīšanas laikā. Tā kā tekstilmateriālam piemīt nevienmērīga virsma, liela porainība, kā arī, lai salīdzinātu pārklājuma vienmērīgumu dažādās parauga daļās, katram vienas sērijas paraugam caurejošās gaismas intensitāti nomēra 10 dažādos punktos pārklāta un 10 dažādos punktos nepārklāta parauga daļā (ja paraugs tiek pilnīgi pārklāts, tad mērīšanai sagatavo speciālus paraugus, no tāda paša materiāla bez metāla pārklājuma).



1.5. att. Caurejošās gaismas mērījumu shēma

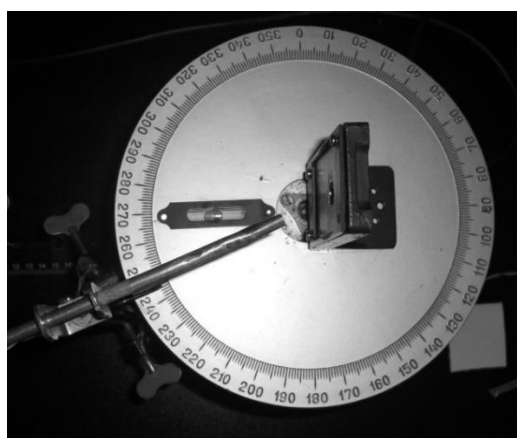
1- lāzers, 2- lāzera stars, 3- tekstila paraugs turētājā, 4- caurejošais lāzera stars, 5- caurejošās gaismas detektors, 6- izkliedētā gaisma

Eksperimentos lāzera stara plūsmas izpētei tika izmantotas lāzera jaudu un enerģijas skaitītājs „Solo PE Gentec-E” un osciloskops „Peak Tech Digital Oscilloscope 1145” (80 MHz).

„Peak Tech Digital Oscilloscope 1145” (80 MHz) 16bit lielātruma mikroprocesors ļauj iegūt tipiskus 100 000 punktus sekundē un ātri veidot attēlu uz ekrāna. Pamatatmiņa ir 32kB. Notvertās viļņu formas ir iespējams pietuvināt un analizēt sīkāk. Kā arī tajā ir iebūvēta maksimuma noteikšanas shēma, kas ļauj uztvert augstas frekvences trokšņus, palielināt un analizēt tos, izmantojot pietuvināšanas funkciju. Pie tam tā var saglabāt līdz pat 10 viļņu formas un nodrošināt daudzveidīgas analīzes funkcijas.

Paraugam atstarotās/caurejošās gaismas plūsma tika attēlota uz osciloskopa ekrāna lāzera stara impulsiem atbilstošu fotodiodes ģenerētu sprieguma impulsu veidā. Lai izmērītu viļņu garumu, tika izmantoti 2 kursi – augšējais un apakšējais. Kursori tika novietoti uz fotoinducētā sprieguma impulsu max un min līmeņa un automātiski tika izrēķināta amplitūda.

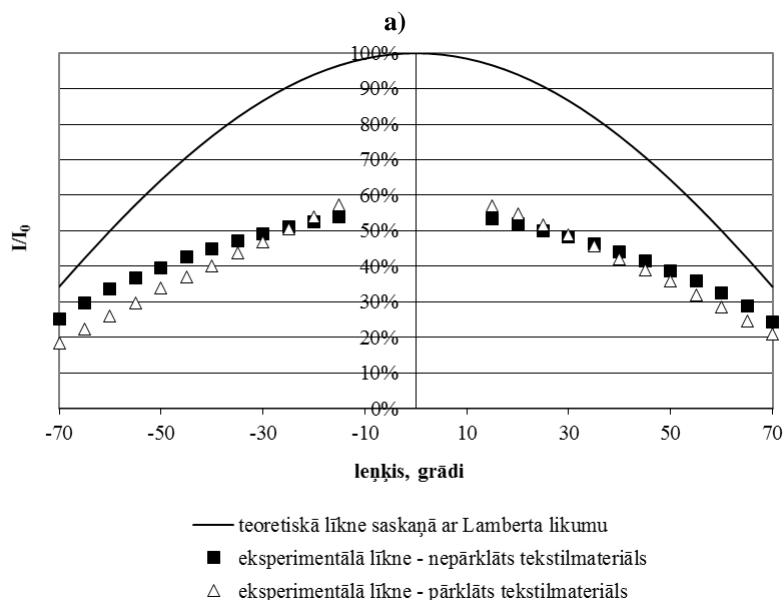
Lai nomērītu maināmo novērošanas leņķi β , laboratorijas lāzera kompleksā ir iestrādāta skala ar leņķu grādiem (skat. 1.6. att.).



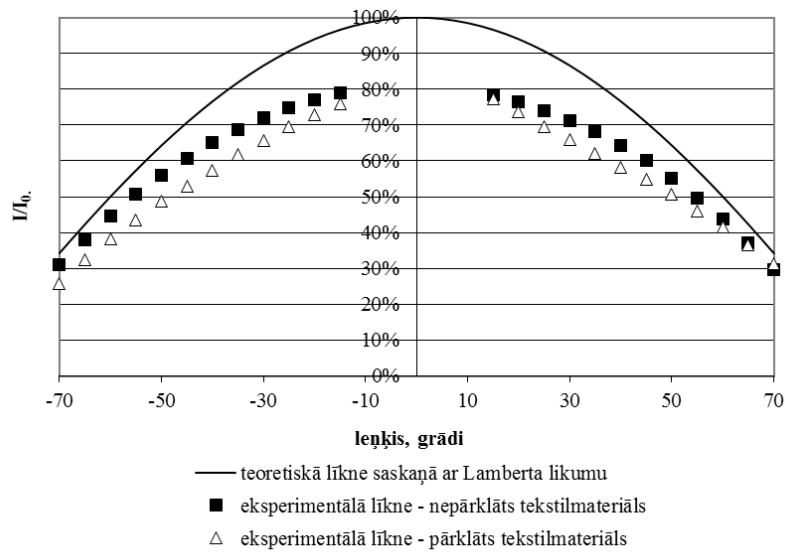
1.6. att. Skala ar leņķu grādiem

6. Teorētiskas difūzas atstarošanas līknes salīdzināšana ar eksperimentāli iegūto atstarošanas līkni pārklātam un nepārklātām materiālam

Eksperimentos tika pārbaudīta ar metālu pārklātu paraugu lāzera stara atstarošanas spēja un tā salīdzināta ar neapstrādāto paraugu un teorētisko difūzās atstarošanas līkni (skatīt 1.7. attēlu), kas tika matemātiski aprēķināta dalot I_{β} uz I_0 . Rezultātā iegūstam punktus eksperimentālās līknes attēlošanai, bet atrodot $\cos \varphi$ (kur leņķis φ leņķis starp krītošo staru un novērošanas virzienu ($\alpha+\beta$)), veicot aprēķinus, iegūst punktus teorētiskās līknes attēlošanai grafikā. No grafika 1.7. attēla var secināt, ka pārklātam ar metālu materiālam mainās atstarošanas līkne, bet difūzā atstarošana paliek, tas nozīmē, ka metāla pārklājums pārklāj tekstilmateriālu pavedienus atkārtojot to virsmas struktūru, bet novirzi no teorētiskās līknes var paskaidrot ar to faktu, ka vara pārklājums daļu no krītošās gaismas absorbē, kā arī pastiprinās spoguļatstarošanas spēja. Eksperimentālo un teorētisko līkņu savstarpējā salīdzināšana ļauj izdarīt secinājumus par tekstila virsmas izmaiņām pēc tekstiliju pārklāšanas ar metālu, kā arī dod informāciju par uznestā pārklājuma veidu. Ar šo metodi var noteikt pārklājuma veidu un noskaidrot vai tas ir nepārtraukts pārklājums, vai arī sastāv no metāla saliņām, kuras tiek uznestas tikai uz tekstiliju šķiedrām, nemainot tekstiliju porainību un struktūru.



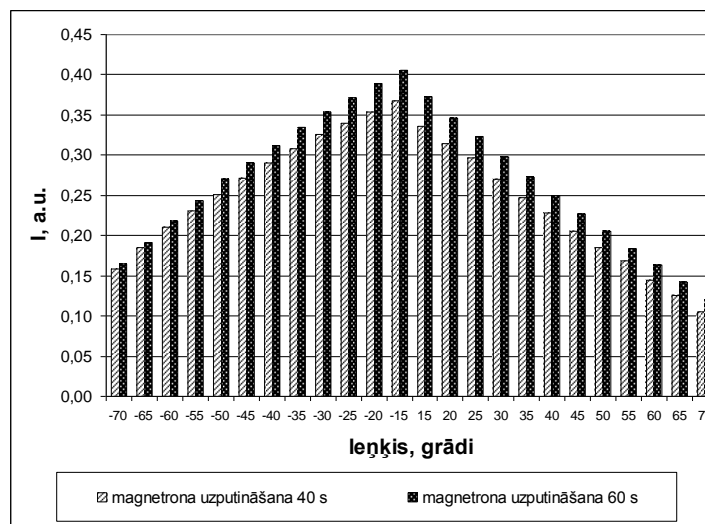
b)



1.7. att. Teorētiskās difūzās atstarošanas līknes salīdzināšana ar eksperimentāli iegūto atstarošanas līkni pārklātam un nepārklātam tekstilmateriālam
 a) 1. tekstilmateriāls – biezums 0,23 mm, porainība 84,7%, b) 2. tekstilmateriāls – biezums 0,23 mm, porainība 67,4%

7. Atstarotās gaismas intensitātes mērījumu rezultātu salīdzināšana

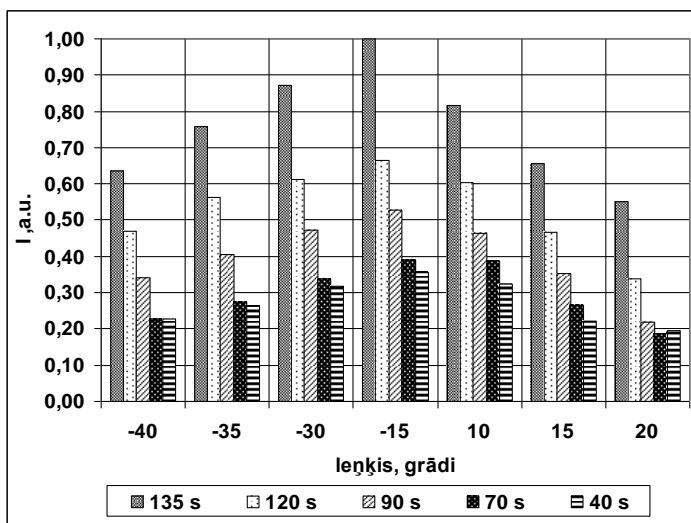
Grafikā (1.8. att) var redzēt, ka atstarotās gaismas intensitāte palielinoties uzputināšanas laikam palielinās, tas ir saprotams, jo palielinās uzputinātās vara kārtiņas biezums, līdz ar to pastiprinās tekstiliju virsmas spoguļatstarošanas spēja.



1.8. att. Atstarotās gaismas intensitātes salīdzināšana paraugiem ar magnetrona uzputināšanas tehnoloģiju pārklājumiem, kas iegūti ar dažādu uzputināšanas laiku

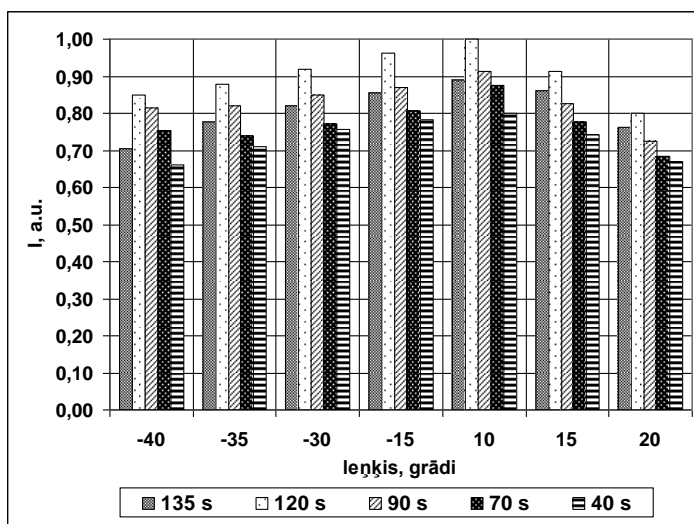
Grafikā (1.9. att) var redzēt, ka atstarotās gaismas intensitāte, palielinoties uzputināšanas laikam, palielinās pie uzputināšanas laika 135 sekundes, par 60% pārsniedzot attiecīgo rādītāju, kas iegūts paraugiem ar uzputināšanas laiku 40 sekundes, tas ir saprotams,

jo palielinoties uzputināšanas laikam līdz 135 sekundēm proporcionāli palielinās uzputinātās vara kārtiņas biezums, līdz ar to pastiprinās tekstiliju virsmas spoguļatstarošanas spējas [5].



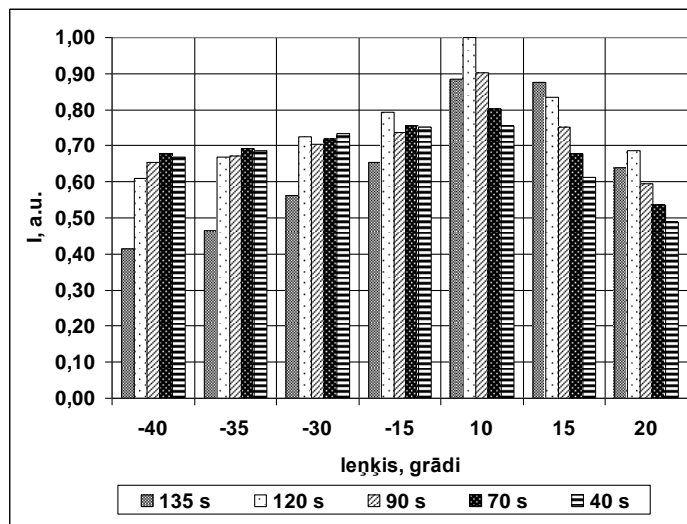
1.9.att. Atstarotās gaismas intensitātes salīdzināšana paraugiem ar magnetrona uzputināšanas tehnoloģiju pārklājumiem, kas iegūti ar dažādu uznešanas laiku

Grafikā (1.10. att) var redzēt, ka paraugiem ar dažādiem uzputināšanas laikiem, pēc mazgāšanas atstarotās gaismas intensitātes atšķirības ir samazinājušās; pie tam lielāks intensitātes kritums ir konstatēts paraugiem ar lielāku uzputināšanas laiku. Tā kā pēc mazgāšanas atšķirības atstarotās gaismas intensitātē nepārsniedz 15%, tas nozīmē, ka neskatoties uz uzputināšanas laiku, pēc mazgāšanas uz tekstiliju virsmām uz visiem paraugiem paliek apmēram vienāds vara daudzums [5].



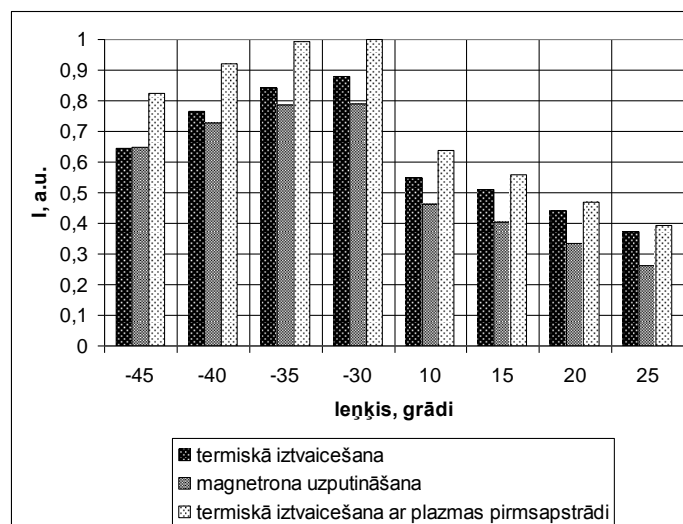
1.10. att. Atstarotās gaismas intensitātes salīdzināšana paraugiem ar pārklājumiem, kas iegūti ar magnetrona uzputināšanas tehnoloģiju pēc mazgāšanas

Grafikā (1.11. att.) redzams, ka paraugiem ar dažādiem uzputināšanas laikiem, pēc berzes atstarotās gaismas intensitātes atšķirības ir samazinājušās. Pie mazākiem leņķiem atstarotās stara intensitāte dažādiem uzputināšanas laikiem izlīdzinājusies gandrīz pilnīgi [5].

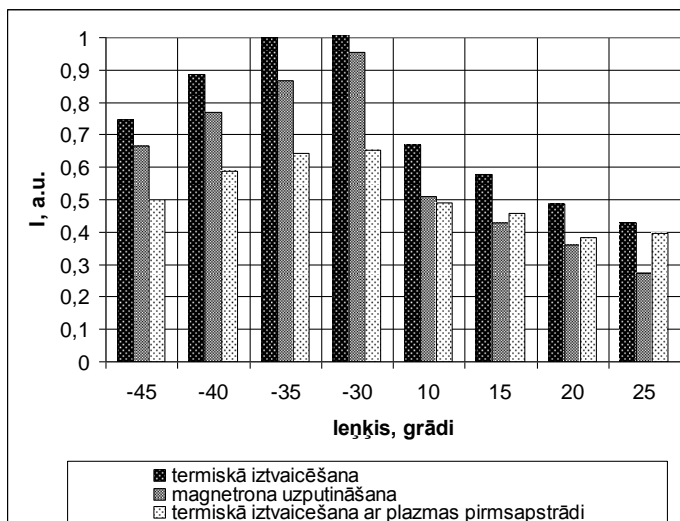


1.11. att. Atstarotās gaismas intensitātes salīdzināšana paraugiem ar magnetrona uzputināšanas tehnoloģiju pārklājumiem, kas iegūti pēc 3000 berzes cikliem

Atstarotās gaismas intensitātes mērījumi paraugiem ar dažādiem apstrādes laikiem un apstrādes metodēm (15.att.), dod informāciju par vara daudzumu, salīdzinot pārklājumus uzreiz pēc uznešanas un iegūtus ar dažādām tehnoloģijām, jeb izmantojot atšķirīgos režīmus.



1.12. att. Atstarotās gaismas intensitātes salīdzināšana paraugiem ar pārklājumiem, kas iegūti ar dažādām tehnoloģijām



1.13. att. Atstarotās gaismas intensitātes salīdzināšana paraugiem ar pārklājumiem, kas iegūti ar dažādām tehnoloģijām pēc mazgāšanas

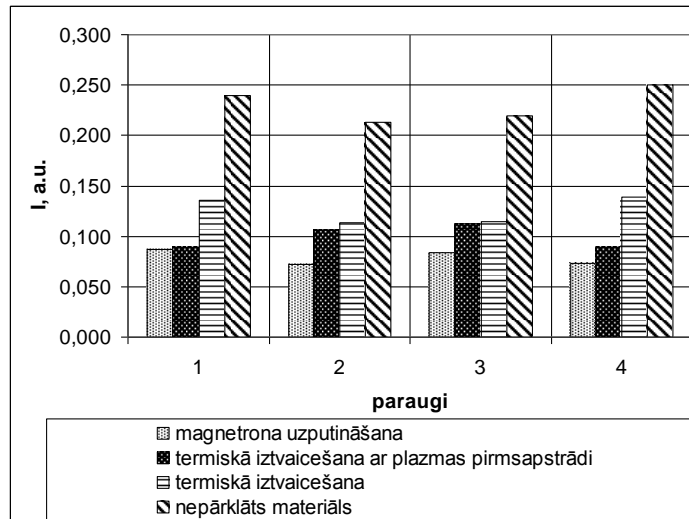
Salīdzinot grafikus 1.12. attēlā un 1.13.attēlā var redzēt, ka pēc mazgāšanas atstarotās gaismas intensitātes izmainījušās un visvairāk paraugiem ar pārklājumu, kas uzņests ar termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiju ar plazmas pirmsapstrādi, kas liecina par to, ka no pārklājuma izmazgājusies daļa no vara apjoma, līdz ar to samazinājies pārklājuma biezums. No grafiku salīdzināšanas var secināt, ka pārklājumam, kas iegūts ar termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiju ar plazmas apstrādi ir vissliktākā noturība uz 100% kokvilnas tekstilija virsmas.

8. Caurejošās gaismas intensitātes mērījumu rezultātu salīdzināšana

Lai attēlotu iegūtos mērījumus grafikos, nepieciešams normēt vērtības uz I_k – krītošā stara intensitāti, jeb uz maksimālo vērtību.

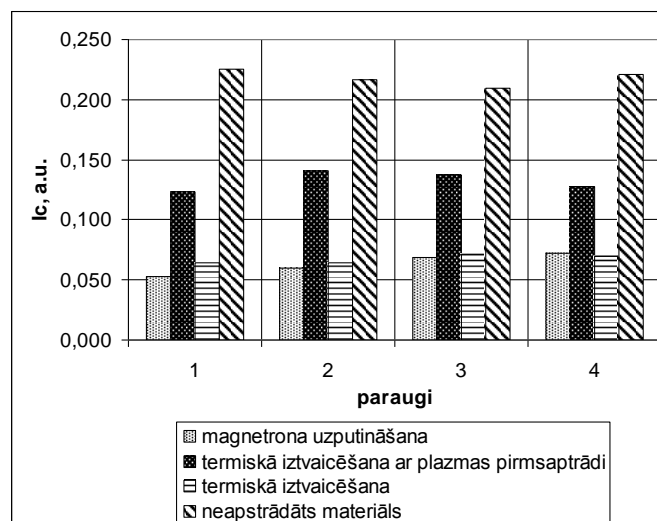
Caurejošās gaismas intensitātes mērījumu rezultāti ļauj iegūt informāciju par pārklājumu biezumiem un pārklājuma nevienmērību, kā arī ļauj iegūt informāciju par pārklājuma biezumu izmaiņām un nevienmērības palielināšanos pēc ekspluatācijas.

No grafika (1.14. att.) var redzēt, ka ar magnetrona uzputināšanas tehnoloģiju iegūtiem paraugiem ir vienmērīgāks pārklājums. Salīdzinot rezultātus ar pārklāto paraugu caurejošās gaismas daudzumu, var redzēt, ka tas samazinās salīdzinot ar nepārklāto materiālu, apmēram vairāk par 50%, kas izskaidrojams ar vara pārklājuma spēju absorbēt daļu no gaismas.



1.14. att. Caurejošās gaismas daudzuma salīdzināšana paraugiem ar pārklājumiem, kas iegūti ar dažādām tehnoloģijām un nepārklāto materiālu

No grafika (1.15. att.) var redzēt, ka pēc mazgāšanas paraugiem ar pārklājumiem, kas iegūti ar termisko iztvaicēšanas tehnoloģiju ar plazmas pirmsapstrādi, ir izmazgājies vislielākais vara daudzums, jo paraugiem redzams caurejošās gaismas daudzuma palielinājums, kas sakrīt ar atstarotās gaismas intensitāti iegūtajiem rezultātiem (1.12. att. un 1.13. att.).



1.15. att. Caurejošās gaismas daudzuma salīdzināšana paraugiem ar pārklājumiem, kas iegūti ar dažādām tehnoloģijām pēc mazgāšanas

9. Caurejošās gaismas intensitātes mērījumu rezultātu salīdzināšanas

Bezkontakta metode ir nesalīdzināmi lētāka, kā arī pati lāzera iekārta ir viegli uzstādama un neprasa lielus ieguldījumus. Metode ļauj kvantitatīvi pētīt pārklājumus un

pārklājuma izmaiņas pēc ekspluatācijas. Salīdzinot atstaroto staru līknes, var procentuāli noteikt pārklājuma biezuma zudumus.

Metode sniedz arī informāciju par uznestā pārklājuma veidu, ar šo metodi var noteikt, vai pārklājums ir nepārtraukts, vai sastāv no metāla saliņām, kuras tiek uznestas tikai uz tekstiliju šķiedrām, nemainot tekstiliju porainību un struktūru, ko var noteikt izmērot caurejošās gaismas intensitāti, salīdzinot pārklātus paraugus ar nepārklātiem paraugiem. Caurejošās gaismas intensitātes mērījumu rezultātu salīdzināšana ļauj iegūt arī informāciju par pārklājumu biežumiem un pārklājuma nevienmērību un par pārklājuma biezumu izmaiņām un nevienmērības palielināšanos pēc ekspluatācijas.

VISPARĪGI SECINĀJUMI

1. Eksperimentos tika pārbaudīta lāzera stara atstarošanas spēja paraugiem ar metāla pārklājumu un tā salīdzināta ar neapstrādāto paraugu un teorētisko difūzās atstarošanas līkni. Pārklātam ar metālu materiālam mainās atstarošanas līknes absolūtās vērtības, bet difūzais atstarošanas raksturs paliek. Eksperimentālo un teorētisko līkņu savstarpējā salīdzināšana ļauj izdarīt secinājumus par tekstila virsmas izmaiņām pēc tekstilija pārklāšanas ar metālu, kā arī dod informāciju par uznestā pārklājuma veidu. Ar šo metodi var noteikt pārklājuma veidu un to, vai tas ir nepārtraukts pārklājums, vai tas sastāv no metāla saliņām, kuras tiek uznestas tikai uz tekstiliju šķiedrām, nemainot tekstiliju porainību un struktūru.
2. Atstarotās gaismas intensitātes mērījumu rezultātu salīdzināšana ļauj iegūt informāciju par paraugu pārklājumu biezuma izmaiņām (piem. atkarībā no pārklājuma uznešanas laikiem), kā arī par metāla daudzuma izmaiņām pārklājumā pēc ekspluatācijas.
3. Caurejošās gaismas intensitātes mērījumu rezultātu salīdzināšana ļauj iegūt informāciju par pārklājumu biežumiem un pārklājuma nevienmērību, kā arī ļauj iegūt informāciju par pārklājuma biezumu izmaiņām un nevienmērības palielināšanos pēc ekspluatācijas.
4. Eksperimentu gaitā iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka lāzera atstarotā stara intensitātes un caurejošās gaismas mērījumus var izmantot, lai izsekotu uz tekstilija virsmas uznestā metāla pārklājuma izmaiņas gan iegūšanas, gan ekspluatācijas procesā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Соколов А.В. Оптические свойства металлов. – Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 464 с.
2. Dāboliņa I., Blūms J., Viļumsone A. Lāzera stara plūsmas atstarošanas izpēte veļas materiālos. RTU zinātniskie raksti. – 2008. - Sējums 3. - lpp. 62-70.
3. Vihodceva S. Tekstilmateriālu funkcionalizācija ar metālu nanolīmeņa pārklājumiem: maģistra darbs. RTU Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Tekstilmateriālu tehnoloģiju un dizaina institūts. Rīga: Rīgas tehniskā Universitāte, 2010. 62. lpp.
4. Turigina D. Funkcionālie nanomateriāli: maģistra darbs. RTU Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Tekstilmateriālu tehnoloģiju un dizaina institūts. Rīga: Rīgas tehniskā Universitāte, 2010. 68. lpp.
5. Dāboliņa, I., Blūms, J., Viļumsone, A. Lāzera stara plūsmas atstarošanas izpēte veļas materiālos// RTU zinātniskie raksti. – 2008. - Sējums 3. - lpp. 62-70.
6. Vihodceva S., Kukle S., Blums J., Zommere G. The effect of the amount of deposited copper on textile surface light reflection intensity// Scientific journal of Riga Technical university. – 2011. – Volume 6. – pp. 24-29.