

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 darba kopsavilkums

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

UDK 677.017.5+621.38:687.1(043)
Vi 375

Vihodceva S. Nanolīmenī modificētu tekstiliju
Sortimenta paplašināšana. Promocijas darba
kopsavilkums.-R.:RTU, 2014.- 39. lpp

Iespiests saskaņā ar TTD institūta 2014.gada 3.
janvāra lēmumu, protokols Nr. 1.



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».

ISBN 978-9934-507-64-9

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA
IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ MATERIĀLZINĀTNES
NOZARĒ TEKSTILA UN APĢĒRBU TEHNOLOĢIJAS APAKŠNOZARĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts
2014.g. 30. jūnijā 12:00 Rīgas Tehniskās universitātes Dizaina tehnoloģiju institūtā, Rīgā,
Āzenes ielā 18, 117. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr. habil. chem., Valdis Kampars
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors, Dr. sc. ing., Rimvīds Milašus
Kauņas Tehnoloģiju universitāte, Lietuva

Profesors, Dr. habil. sc. ing. Arnis Treimanis
Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Latvija

Vadošā pētniece, Dr. sc. ing., Ināra Helēna Konošonoka
Valsts Priekuļu laukaugu selekcijas institūts, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

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

Svetlana Vihodceva Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus,
literatūras sarakstu, 22 tabulas, 125 attēlus un ilustrācijas, kopā 207 lapas. Literatūras sarakstā
ir 217 nosaukumi.

IZMANTOTIE SAĪSINĀJUMI UN APZĪMĒJUMI

UV – ultravioletais starojums

UPF – ultravioletā starojuma aizsardzības faktors

SEM – skenējoša elektronu mikroskopija

EDS – enerģijas dispersīvā rentgenstaru spektroskopija

ASM – atomspēku mikroskopija

Pa – spiediens (gaisa caurlaidības mērījumos)

DNS – dezoksiribonukleīnskābe

TEOS – tetraetilortosilikāts

CSH – cinka sulfāta heptahidrāts

CAD – cinka acetāta dihidrāts

KVV – kolonijas veidojošās vienības

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*

SATURS

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS.....	6
1.1. Ievads	6
1.2. Darba mērķis	7
1.3. Darba uzdevumi.....	7
1.4. Darba zinātniskās novitātes	8
1.5. Aizstāvamās tēzes.....	8
1.6. Darba praktiskā vērtība	9
1.7. Darba aprobācija.....	9
2. SITUĀCIJAS ANALĪZE	13
3. EKSPERIMENTU TEHNOLOĢIJAS UN TESTĒŠANAS METODES	17
3.1. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija.....	17
3.2. Magnetrona izputināšanas tehnoloģija.....	18
3.3. Sola-gēla tehnoloģija	18
3.4. Testēšanas metodes.....	18
4. REZULTĀTI.....	20
4.1. Termiskās iztvaicēšanas procesā modificēto tekstiliju virsmu mikrostruktūra.....	20
4.2. Magnetrona izputināšanas procesā modificēto tekstiliju virsmu mikrostruktūra.....	21
4.3. Kokvilnas tekstiliju apstrādātu ar solu virsmas struktūra, sastāvs un topogrāfija	22
4.3.1. Kokvilnas tekstiliju apstrādātu ar solu virsmas struktūra (SEM)	22
4.3.2. Kokvilnas tekstiliju apstrādātu ar solu enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas rezultāti (EDS).....	24
4.3.3. Modificēto paraugu Furjē transformāciju infrasarkanās spektroskopijas (FTIR) analīze	25
4.3.4. Modificēto paraugu rentgenstaru difrakcijas (XRD) analīze.....	26
4.3.5. Ar solu modificētu tekstiliju virsmas topogrāfija (ASM).....	26
4.4. Kokvilnas tekstiliju pārklājuma adhēzijas un nodilumizturība	27
4.5. Modificēto kokvilnas tekstiliju antimikrobiālās īpašības.....	27
4.5.1. Patogēnie mikroorganismi	27
4.5.2. Celulozes tekstiliju destrukciju izraisīšie mikroorganismi	30
4.5.3. Mikroorganismu adhēzija pie modificēto tekstiliju virsmas.....	32
4.6. Modificēto tekstiliju aizsardzība pret UV	32
4.7. Modificēto tekstiliju gaisa caurlaidība un higroskopiskums	33
4.8. Modificēto tekstiliju šķidrumsorbcija	34
4.9. Modificēto tekstiliju slapēšanas līdzsvara lēņķis.....	34
SECINĀJUMI.....	36
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	37

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

3.1. 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, mīkstums u.c., var piešķirt virkni jaunieģu īpašību, kā aizsardzība pret UV, antimikrobiālā iedarbība, virsmas pašattīrīšanas spējas, ūdens atgrūšanas spējas, uzlabota ķīmiskā un mehāniskā izturība u. c. Nākotnes tendence tekstiliju nozarē ir vairākfunkciju materiāli no dabiskām šķiedrām ar tādām integrētām 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 antimikrobiālā iedarbība, aizsardzība pret UV starojumu un hidrofobitāte. Modificētu tekstiliju ar integrētām 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 destrūkcijas, ko izsauc mikroorganismi.

Nemot 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

apritē 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 ierosinātais 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 .

3.2. Darba mērķis

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

3.3. 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.

3.4. Darba zinātniskās novitātes

1. Izpētīti kokvilnas 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 tiem ir radījusi pamatojumu mērķtiecīgai modifikācijas metodes izvēlei un priekšstatu par sagaidāmo nomākuma selektivitāti.
3. Izstrādātā „Bezkontakta metode uznestās 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.

3.5. Aizstāvamās tēzes

1. Pētījumu rezultātā pierādīts, ka vara pārklājumus var uznest uz tekstiliju virsmas gan ar termiskās 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).

3.6. 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 pabeigts 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.

3.7. 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. *
5. Vihodceva S., Kukle S. Tekstilparaugu sagatavošanas metālpārklājumu uznešanai// Žurnāls RTU Zinātniskie raksti Materiālzinatne. – 2010. - Sējums 5. – lpp. 123-128. ISSN 1691-3132.
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 Material Science and Clothing Technology. – 2011. - Volume 9. – pp. 24-29. ISSN 1691-3132.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
1. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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

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// 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// International conference Functional Materials and Nanotechnologies. – 2012. – p. 122. ISBN 9789985407448.
5. Vihodceva S., Kukle S., Muter O. Evaluation of Antibacterial and Fungicide Activity of Cotton Textile Treated via Sol-gel // Book of Abstracts of 18th International Conference "Ecobalt 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*

Starptautiskās konferences:

1. Kukle S., Barloti J., Blums J., Vihodceva S. „Functionalization of cotton textiles with metals” 5th International textile, Clothing & Design Conference, Magic World of Textiles, Dubrovnik, Croatia. 03.10. – 06.10.2010.
2. Vihodceva S., Kukle S. „Tekstilparaugu sagatavošanas metālpārklājumu uznešanai” RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija. 15.10.2010.
3. Vihodceva S., Barloti J., Kukle S., Zommere G. „Natural fiber textile nano-level surface modification” 8th International Scientific and Practical Conference „Environment. Technology. Resources.”, Rezekne, Jelgava. 20.06. -22.06.2011.
4. Kukle S., Vihodceva S., Zommere G. „Traditional fibrous products from basic to functionality” 7th International Conference on Management of Technological Changes. Alexandropolis, Greece. 01.09. – 03.09.2011.
5. Vihodceva S., Kukle S. „Natural textile surface modification using sol-gel technique” RTU 52. International Scientific Conference, Riga, Latvia. 13.10. – 15.10.2011.
6. Vihodceva S., Kukle S., Blums J., Zommere G. „The effect of the amount of deposited copper on textile surface light reflection intensity” RTU 52. International Scientific Conference, Riga, Latvia. 13.10. – 15.10.2011.
7. Vihodceva S., Kukle S., Barloti J. „Nanolevel functionalization problems of natural fiber textiles” International Conference on Functional Materials and Nanotechnologies, Riga, Latvia. 05.04. – 08.04.2011.

8. Vihodceva S., Kukle S. „Cotton fabric surface modification by sol-gel deposition of ZnO thin films” International conference Functional materials and nanotechnologies, Riga, Latvia. 17.04. – 20.04.2012.
9. Vihodceva S., Kukle S. „Sol-gel method for protective textile processing” 12th World Textile Conference AUTEX, Zadara, Croatia. 13.06.- 15.06.2012.
10. Vihodceva S., Kukle S. „Modification of the cotton textile surface by the depositing of thin coatings using the sol-gel method” 2nd International Conference Nanomaterials: Applications and Properties, Alushta, Ukraine. 17.09. – 22.09.2012.
11. Vihodceva S., Kukle S., Barloti J., Blums J. „Metal deposition on textile fabrics from natural fibers by magnetron sputtering” 6th International Textile Clothing and Design Conference „Magic World of Textiles.”, Dubrovnik, Croatia. 07.10. – 10.10.2012.
12. Vihodceva S., Kukle S. „Thin-coatings on the raw cotton textile deposited by sol-gel method” RTU 53rd International Scientific Conference, Riga, Latvia. 11.10.- 12.10.2012.
13. Vihodceva S., Kukle S., Barloti J. „Improvement of UV protection properties of the textile from natural fibres by the sol-gel method” International conference Functional materials and nanotechnologies, Tartu, Estonia. 21.04. – 24.04.2013.
14. Vihodceva S., Kukle S. „Dipping time influence on the UV properties of natural textiles treated via sol-gel method” 3rd International Conference Nanomaterials: Applications and Properties, Alushta, Ukraine. 16.09. – 21.09.2013.
15. Vihodceva S., Kukle S. „Improving of UV blocking properties of natural fabric via sol-gel method” 4th Conference on Natural Fibre Composites, Rome, Italy. 17.10.2013. – 18.10.2013.
16. Vihodceva S., Kukle S., Muter O. „Evaluation of antibacterial and fungicide activity of cotton textile treated via sol-gel method” 18th International Scientific Conference „Ecobalt 2013”, Vilnius, Lithuania. 25.10. – 27.10.2013.

2. SITUĀCIJAS ANALĪZE

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 [1-3]. Tekstilijas viegli uzkrāj mikroorganismus un kalpo kā rezervuārs infekciju pārvešanai [4, 5], 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 modificēto 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 antimikrobiālās 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 [6-8]. 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 preparātos izmanto lielos apjomos ik gadu visā pasaulē lauksaimniecībā [6].

Neskatoties uz to, ka Cu un to savienojumi jau ir atraduši lietojumus dažādās jomās un nozarēs, joprojām nepieciešamība pēc vara un vara savienojumu jaunu lietojumu izpētes un īstenošanas ir ļoti aktuāla. Viena no jomām ir to patogēnu, kas izraisa nozokomiālās jeb hospitālās infekcijas, augšanas nomākšana un nogalināšana tādās medicīniskās iestādēs, kā slimnīcās, klīnikās un pansionātos veidojot mīkstās virsmas - palagus, pacientu ietērpus, medicīniskā personāla apģērbus no tekstilijām, kas apstrādāti ar varu; pateicoties tā spēcīgām pretvīrusu īpašībām [6], kā arī filtrācijas ierīcēs, kas var deaktivēt 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 [10]. Kā vienu no iemesliem straujam saslimstības pieauguma tempam var uzskatīt UV starojuma intensitātes pieaugumu, kas sasniedz atmosfēras apakšējos slāņus ozona slāņa sarūkšanas rezultātā, kā arī ilgstoši valdošo uzskatu, ka UVA starojuma 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 kancerogēnēzes veicinātājs, arī UVS imūnsistēmas vājināšanas efekts veicina tā kancerogēno darbību [11]. 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, jo satur ievērojamu daudzumu aktīvo -OH grupu. Rezultātā celulozes šķiedru tekstilijas nodrošina labu zemāpģērba 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 pašattīrīšanās efekts [13 - 15]. Turklāt papildus antimikrobiālai iedarbībai ūdens atgrūšanas spējas var būtiski samazināt inficēšanas risku. No literatūras apskata var secināt, ka mūsdienās hidrofobas tekstiliju virsmas galvenokārt veido izmantojot vienu no diviem paņēmieniem: formējot raupju hidrofilo virsmu struktūru vai modificējot virsmas ar tādiem savienojumiem ar mazu virsmas enerģiju, kā fluoru vai silīciju saturoši savienojumi [16]. Tai pat laikā 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, vinilaacetāta, akrilāta bāzes. Šo metožu lietošanu tekstiliju pārklāšanai ierobežo tas, ka adhezīvs var pilnībā iekapsulēt pulvera daļiņas/nanodaļiņas, traucējot kontaktu ar patogēniem mikroorganismiem, līdz ar to pasliktinās modificētā materiāla antimikrobiālās īpašības, un daudzkārtīgas hidrotermiskās apstrādes izraisa daļiņu atraušanos no tekstilijas virsmas vai pārklājuma adhēzijas samazinājumu līdz ar saistvielas izmazgāšanos. Neskatoties uz to, mūsdienās šo metodi plaši lieto tekstiliju 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, tekstiliju virsmas, neietekmējot to struktūru vai faktūru. Tomēr netīrumi, kas

atrodas uz tekstilijas 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 [17]. 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.

Tekstiliju metalizācijas process ar vakuuma termiskās iztvaicēšanas tehnoloģiju saistīts ar grūtībām, ko izraisa tādas tekstiliju 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 nogulsnešoties 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 un 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 tekstiliju apstrādes tehnoloģiju saimē, jo nav jālieto videi kaitīgas ķīmikālijas, nav notekūdeņu un tekstiliju 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 skābekļa plazmā var mainīt virsmas struktūru.

Mūsdienās plaši tiek veikti pētījumi, mēģinot piemērot sola-gēla tehnoloģiju tekstiliju pārklāšanai, liecina, ka galvenais ierobežojums ir tekstiliju relatīvi zema termiskā stabilitāte (lielākai daļai tekstilšķiedru ir zem 200 °C), ļauj procesā formēties tikai neorganiskiem kserogēliem [18]. Tomēr sola-gēla tehnoloģiju ir iespējams zināmā mērā pielāgot tekstiliju virsmas īpašībām un apvienot vairākas funkcijas vienā pārklājumā. Svarīgs nosacījums sola izmantošanai tekstiliju pārklāšanai ir pārklājuma un pamatnes pietiekoša sasaiste, lai novērstu pārklājuma atslāņošanu no pamatnes hidrotermiskās apstrādes un lietošanas procesā. Kokvilnas tekstiliju sola-gēla pārklājuma adhēziju var uzlabot ar silanolgrupu (Si-OH) ķīmisko kondensāciju, kas veido noturīgās saites ar kokvilnas hidroksilgrupām (-OH).

Sola-gēla metodes tekstiliju pārklāšanai var realizēt tradicionālās apdares līnijās vai ar vienkāršu nestandarta aprīkojumu mērcējot, izsmidzinot vai pat iespiežot sola šķīdumu tekstiliju virsmā ar sekojošu žāvēšanu un/vai karsēšanu. Lietojot izsmidzināšanas metodi katru tekstiliju virsmu var modificēt atsevišķi, piem., no vienas puses var iegūt hidrofobu, no otras puses hidrofilu virsmu, taču līdztekus priekšrocībām, ar izsmidzināšanas metodi, pārklājot lielu virsmu, grūti iegūt vienmērīgu 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.

3. EKSPERIMENTU TEHNOLOĢIJAS UN TESTĒŠANAS METODES

3.1. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģija

Termiskā iztvaicēšana veikta uz sērijveida vakuumiekārtas UVN-2U. Maksimālie iegūto paraugu izmēri ir 5 x 6,3 cm. Eksperimentāli noskaidrots, ka izvēlētais tehnoloģiskais process ļauj vienu sekundi ilgstošā ekspozīcijā iegūt 60 nm biezu vara kārtiņu. Biezākas un vienmērīgākas vara kārtiņas iegūšanai paraugi pakļauti atkārtotai ekspozīcijai mainot vara uznešanas laiku ar vai bez modifikācijas/attīrīšanas ar zema spiediena gaisa plazmas joniem.

3.2. Magnetrona izputināšanas tehnoloģija

Magnetrona izputināšana veikta uz sērijveida vakuumiekārtas UVN-2 ar iebūvētu pašgatavotu magnetrona tipa izputināšanas iekārtu. Maksimālie iegūto paraugu izmēri ir 5,3 x 6,3 cm. Izputināšanas procesā tekstiliju paraugi nostiprināti speciālos lodziņos rotējošā diskā. Pirms vara uznešanas tekstiliju virsmas apstrādā ar plazmas mirdzislādi; lai novērstu paraugu destrukciju uznešanas procesā, mainot vara uznešanas laiku, noteikts optimāls diska rotācijas ātrums.

3.3. Sola-gēla tehnoloģija

Solu sintezē izmantots silīcija alkoksīds tetraetilortosilikāts $C_8H_{20}O_4Si$ (TEOS), hidrolīzes un kondensācijas procesa veikšanai pievienots spirts un ūdens, kā arī procesu katalizators fluorūdeņraža skābe HF. Kā sola-gēla sistēmas modifikators lietots cinka acetāta dihidrāts $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ vai cinka sulfāta heptahidrāts $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$.

Soli sintezēti pēc divām metodēm:

1. TEOS pievieno etanolu, šķīdumu maisot pievieno destilētu ūdeni ar HF, intensīvi maisot 30 minūtes, lai iegūtu viendabīgu šķīdumu, tālāk pievienots cinka acetāta dihidrāts (CAD) vai cinka sulfāta heptahidrāts (CSH), intensīvi maisot 10 minūtes.
2. TEOS pievieno etanolu, šķīdumu maisot pievieno destilētu ūdeni ar HF, intensīvi maisot un sildot 30 minūtes 50 °C temperatūrā, lai iegūtu viendabīgu šķīdumu, tālāk pievienots CAD vai CSH, intensīvi maisot un sildot 10 minūtes 50 °C temperatūrā.

Tekstiliju paraugi 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 iemērcot tos iegūtajā solā. Pēc paraugu apstrādes paraugi žāvēti termoskapī, ar sekojošu termisku pēcapstrādi; pakļaujot paraugus ilgstošākai zemas temperatūras iedarbībai, žāvēšana un termiskā pēcapstrāde apvienotas.

3.4. Testēšanas metodes

Modificēto tekstiliju paraugi pakļauti sekojošiem testiem:

- virsmas struktūras skenējošo elektronu mikroskopijas (SEM) analīzei,
- pārklājuma sastāva enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas (EDS), Furjē transformācijas infrasarkanā spektroskopijas (FTIR), rentgenstaru difrakcijas metodes (XRD) analīzei,
- virsmas topogrāfijas atomspēku mikroskopijas (ASM) analīzei,

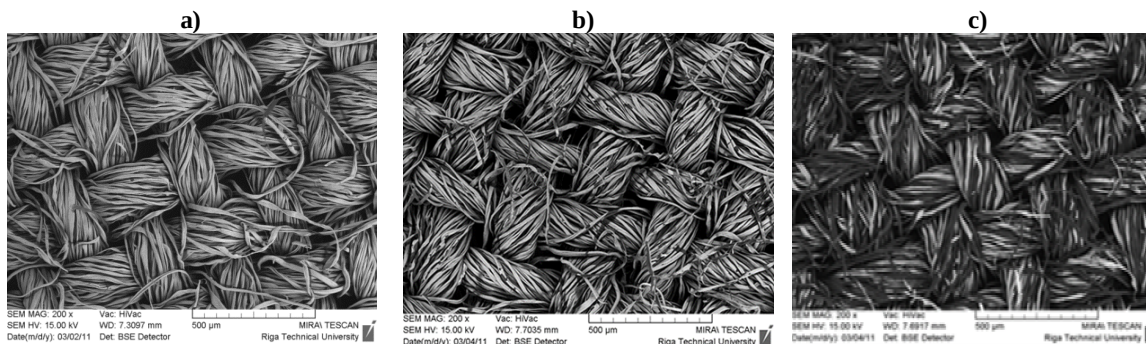
- pārklājuma adhēzijas pārbaudei pret hidrotermisko apstrādi saskaņā ar EN ISO 105C10-AO1:2006,
- pārklājuma berzes un nodilumizturības novērtēšanai ar Martindale Atlass MTT BV-LOCHEM NL (Nīderlandes) un Martindale SDL Atlas M235 abrazīvtesteri saskaņā ar EN ISO 12947-2:2000/AC,
- antimikrobiālo īpašību novērtēšanai pret patogēniem mikroorganismiem ar Paralēlo svītru metodi saskaņā ar AATCC 147-2004, testos izmantojot medicīnas praksē biežāk veselības problēmas izsaucošos patogēnus:
 - *Staphylococcus aureus* grampozitīva baktērija, ir cilvēka patogēns, kas pateicoties tā virulences faktoriem spēj nokļūt organisma sterilajās vidēs un izsaukt smagas hospitālas (nozokomiālās) un sabiedriskās vidēs iegūtas infekcijas, kā arī ir biežāk sastopams aerobs mikroorganisms pacientiem ar brūču infekcijām, sastrutojumiem un iekaisumiem [19, 20];
 - *Pseudomonas aeruginosa* gramnegatīva baktērija, 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 [21,22];
 - *Escherichia coli* gramnegatīva baktērija, var izraisīt urīnceļu un kuņģa-zarnu trakta infekcijas, var izraisīt brūču infekcijas un hospitālas (nozokomiālās) infekcijas [20];
 - *Candida albicans* mikroskopiska sēnīte, izraisa hospitālas (nozokomiālās) infekcijas [21].
- antimikrobiālo īpašību novērtēšanai pret celulozes tekstiliju destrukciju izraisošiem mikroorganismiem ņemot par pamatu Paralēlo svītru metodi AATCC 147-2004:
 - *Pseudomonas fluorescens* baktērija, kas izsauc celulozes tekstiliju destrukciju, daudzu ekstracelulāro hidrolītisko enzīmu veidošanas rezultātā. Turklāt šīs baktērijas degradē un izmanto augu audu sastāvdaļas, t.i., ogļhidrātus, taukskābes un eļļas [23, 24];
 - *Trichoderma viride* ir mikroskopiska sēne, kas arī izsauc celulozes tekstiliju destrukciju. *T. viride* micēlijs var veidot enzīmus (celulāzes un hitināzes), kas attiecīgi noārda celulozi un hitīnu [2, 25, 26];
 - *Saccharomyces cerevisiae* raugs, mikroorganisms, kas pieder sēņu valstij un ir zināms ar ilgu drošas lietošanas vēsturi. Fermentācijas procesā raugs pārvērš ogļhidrātus uz CO₂ un spirtiem. *S. cerevisiae* kultūru pēta kā eikariotiskā organisma modeli [23, 27].

- mikroorganismu adhēzijas novērtēšanai uz tekstiliju virsmas:
 - *Pseudomonas aeruginosa* gramnegatīva baktērija, 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 [21,22];
 - *Staphylococcus epidermidis* grampozitīva baktērija, 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 [22].
- UV aizsardzības noteikšanai ar sertificētu iekārtu Varian Cary 50 Solascreen (Austrālija) saskaņā ar Austrālijas/Jaunzēlandes standartam AS/NZS 4399:1996 Eiropas standartam EN 13758-1:2001+A1:2006: E;
- gaisa caurlaidības novērtēšanai ar sertificētu iekārtu Air Permeability Tester III FX 3300 (TEXTTEST Instruments, Vācija) atbilstoši Eiropas standartam EN ISO 9237:1998,
- šķidrumsorbcijas noteikšanai ar pilienu testu saskaņā ar Polijas standartu PN-91 P-04746;
- higroskopiskuma noteikšanai saskaņā ar Polijas standartu PN-80 P-04635;
- slapēšanas līdzsvara leņķa noteikšanai ar optisko tensiometru Theta Attension (Somija) ar pilienu metodi.

4. REZULTĀTI

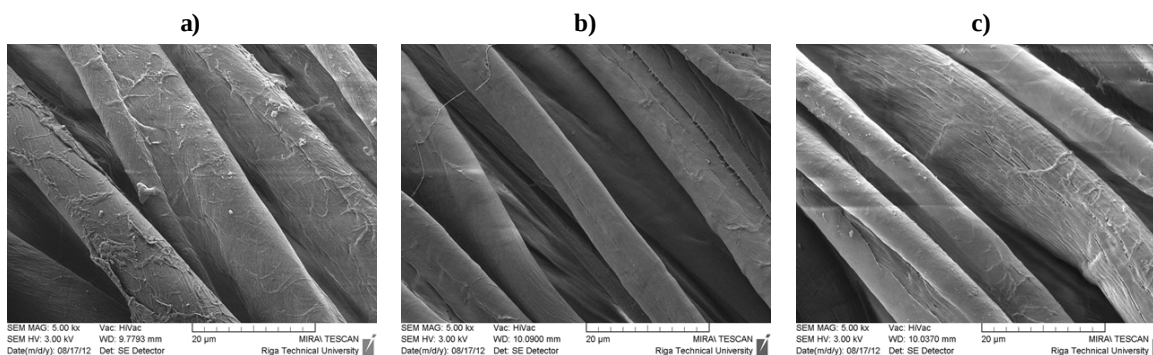
4.1. Termiskās iztvaicēšanas procesā modificēto tekstiliju virsmu mikrostruktūra

No SEM mikrofotogrāfijas (1. att., a) var redzēt, ka vara pārklājums termiskās iztvaicēšanas procesā uzņests ne tikai uz virsējiem kokvilnas tekstilijas pavedieniem, bet arī uz dziļākiem slāņiem, tas ir vienmērīgs un bez redzamiem defektiem, pat ja vara uzņemšanas laiks ir 1 s. Pēc hidrotermiskās apstrādes cikla vara pārklājumā tomēr vietām sastopami dažādu izmēru mikrodefekti (1. att., b), kas var apdraudēt pārklājuma noturību pakļaujot materiālu deformācijām lietošanas un mazgāšanas procesos.



1. att. Termiskās iztvaicēšanas tehnoloģijas procesā iegūta vara pārklājuma struktūra uz kokvilnas tekstilijas virsmas, vara pārklājuma biezums 60 nm (uznešanas laiks 1 s): a) pārklāts, b) pēc hidrotermiskās apstrādes c) pēc hidrotermiskās apstrādes: pirms pārklāšanas ar varu apstrādāts plazmas vidē 3 min

Dabiskas kokvilnas tekstiliju apstrāde ar zema spiediena gaisa plazmu pirms pārklāšanas ne tikai neuzlabo tekstilijas virsmas adhēziju ar vara pārklājumu, bet to pasliktina (1. att., c).



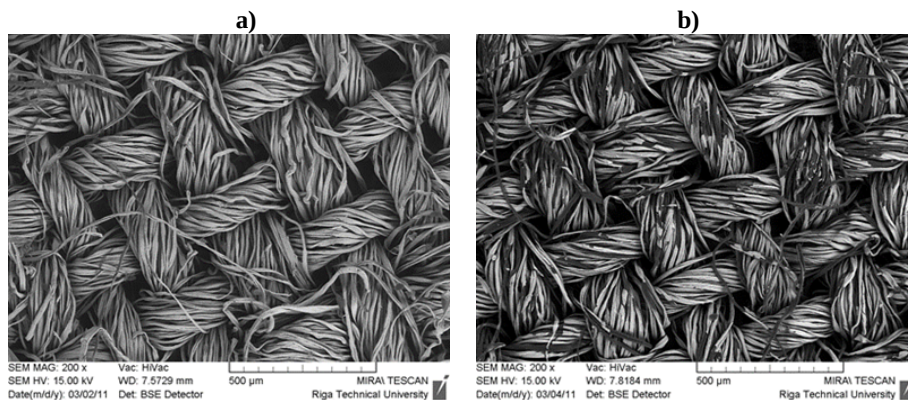
2. att. Plazmas apstrādes ietekme
a) neapstrādāts, b) plazmas apstrāde - 30 s c) plazmas apstrāde - 3 min

No mikrofotogrāfijām redzams, ka neapstrādātu (2. att., a) un ar plazmu apstrādātu paraugu šķiedru virsmas reljefi (2. att., b) ir atšķirīgi jau pēc 30 s 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 kokvilnas šķiedru destrukcija (2. att., c).

4.2. Magnetrona izputināšanas procesā modificēto tekstiliju virsmu mikrostruktūra

Paraugu virsmas SEM mikrofotogrāfijā (3. att., a) redzams, ka magnetrona izputināšanas procesā iegūtais pārklājums ir blīvs, nav novērojama tā atslāņošanās, vara pārklājums uz kokvilnas tekstilijas virsmas nemaina tās reljefu, iegūtais pārklājums ir

vienmērīgs un bez redzamiem defektiem. Tomēr, no mikrofotogrāfijas (3. att., b) redzams, ka hidrotermiskās apstrādes ciklam pakļautā kokvilnas tekstilijas vara pārklājumā ir saskatāmi metāla kārtiņas bojājumi, kas liecina par to, ka 100% kokvilnas tekstilijas ar vara pārklājumu ekspluatācijas procesā nevar pakļaut mazgāšanai.

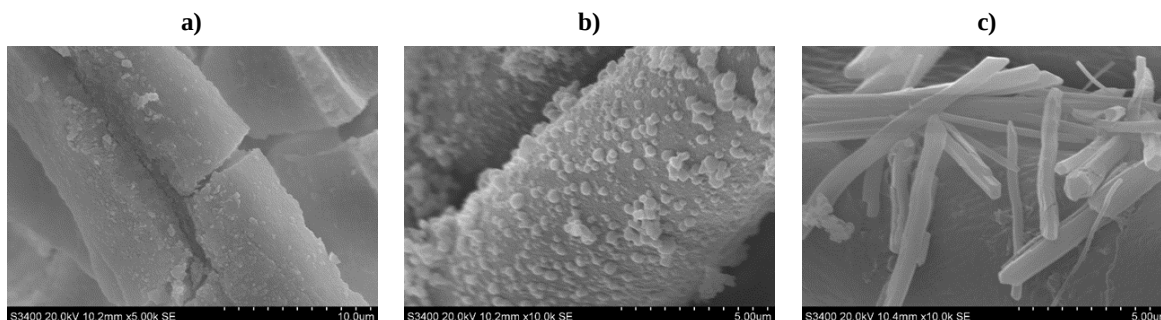


3. att. Magnetrona izputināšanas tehnoloģijas procesā iegūta vara pārklājuma struktūra, pārklājuma biezums 90 nm, uznešanas laiks 60 s (viena parauga eksponēšanas laiks 4,5 s):
a) pārklāts, b) pēc hidrotermiskās apstrādes

4.3. Kokvilnas tekstiliju apstrādātu ar solu virsmas struktūra, sastāvs un topogrāfija

4.3.1. Kokvilnas tekstiliju apstrādātu ar solu virsmas struktūra (SEM)

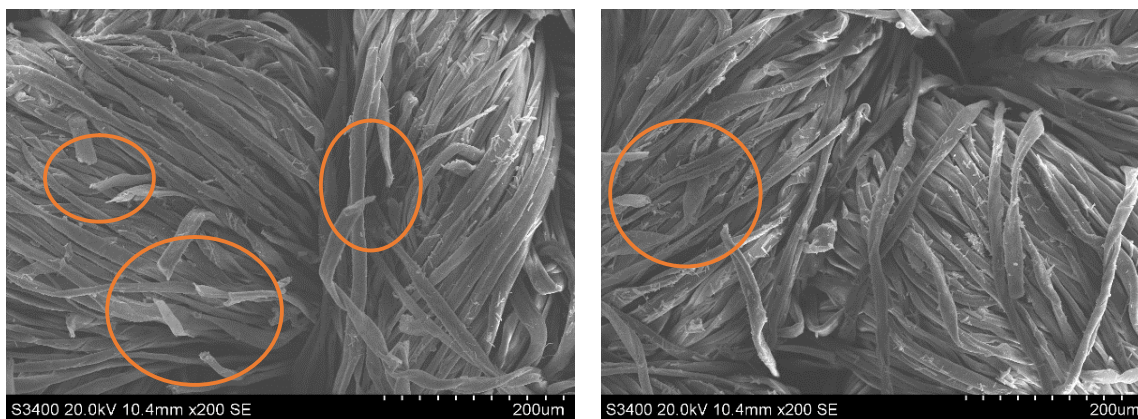
SEM mikrofotogrāfija (4 att., a) liecina, ka ar optimizēto sola pagatavošanas metodi un 0.2 M TEOS solu modificēto tekstiliju virsmas pārklājums neatkarīgi no CAD koncentrācijas ir pārāk biezs un nekvalitatīvs. EDS analīzes dati rāda, ka ar 5 mas.% CAD modificētu 0.2 M TEOS solu apstrādātās virsmās ir salīdzinoši liela silīcija procentuālā masas koncentrācija (vidēji 7 %), kas 2 reizes pārsniedz ar 5 mas.% CAD modificētu 0.1 M TEOS solu apstrādātās virsmas attiecīgo rādītāju un izskaidro, kāpēc pārklājums ir ievērojami biezāks, ja piemērota 0.2 M TEOS koncentrācija solā.



4. att. Pārklājuma struktūras izmaiņas atkarībā no sola sastāva, termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min:

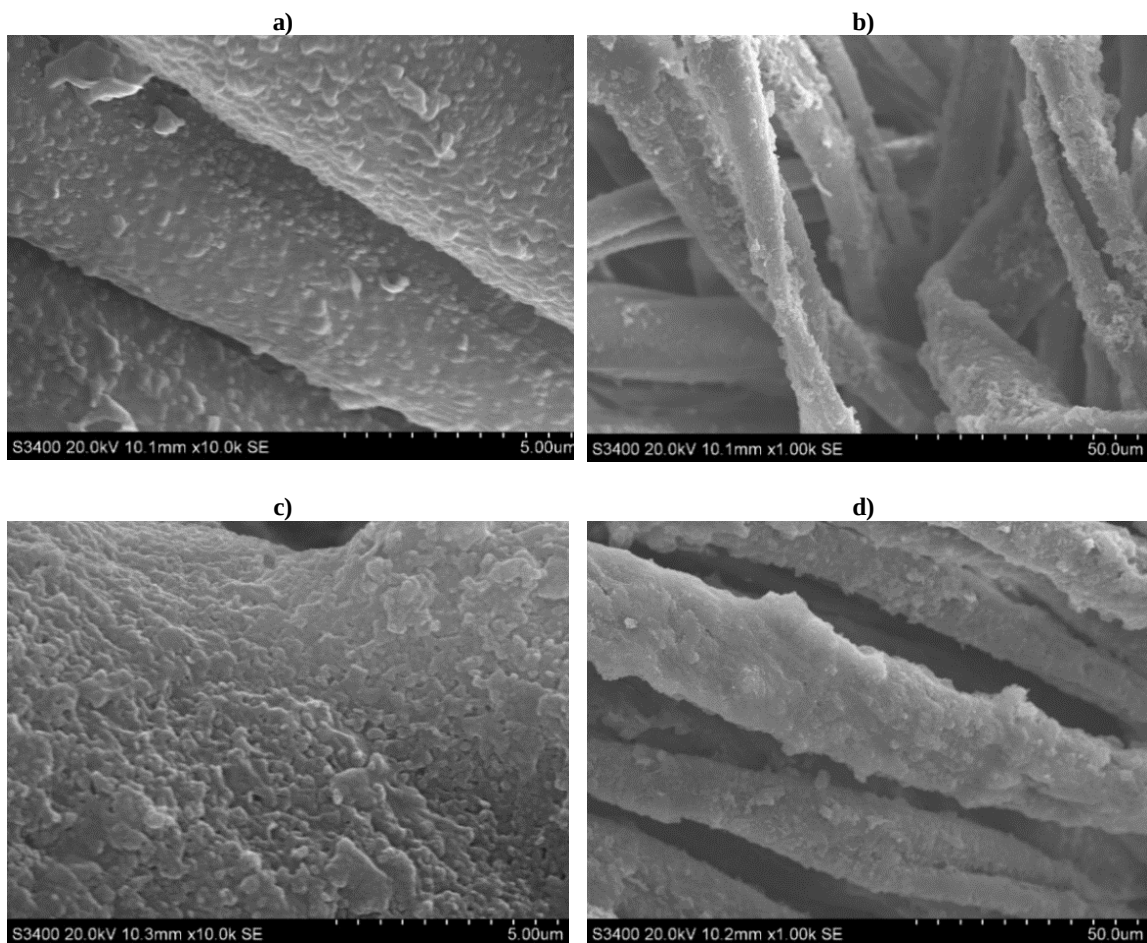
a) 5 mas.% CAD (0.2 M TEOS) sol, b) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols, c) 5 mas.% CSH (0.1 M TEOS) sols

Samazinot TEOS koncentrāciju līdz 0.1 M neatkarīgi no CAD koncentrācijas (5 mas.% vai 7,5 mas.%), iegūts plāns, vienmērīgs pārklājums, kas sastāv no atsevišķām daļiņām un to aglomerātiem, vietām aglomerāti apvienojas grupējumos veidojot uz virsmas pārklājuma neregulārus vairākus mikrometrus platus un/vai garus klasterus (4 att., b). Ar CSH solu apstrādātajām kokvilnas tekstilijām ir novērota atšķirīga pārklājuma struktūra, uz šķiedru virsmas ir redzamas nanonūjiņas (nanovadi) un izteiktas šķiedru destrukcijas pazīmes (4. att., c, 5 att., a un b). Tādējādi pētījumā lietotajās sola-gēla tehnoloģijās un to parametru robežās CSH soli nav piemēroti celulozes bāzes dabīgo tekstiliju virsmu modificēšanai.



5. att. Ar 5 mas.% CSH (0.1 M TEOS) solu modificēta kokvilnas tekstilija (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min.)

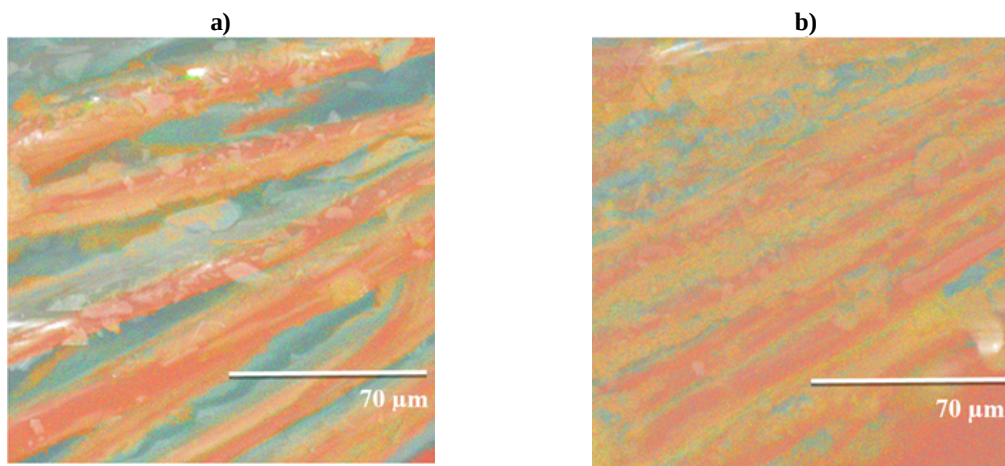
Pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla sākas pārklājuma konsolidācijas process pārklājuma virsmas agregātiem pakāpeniski pašsakārtojoties uz virsmas, līdz ar to palielinās pārklājuma biezums, mainās virsmas struktūra un, iespējams, arī ķīmiskā uzbūve, par ko liecina EDS analīze (6. att., a - d). Pārklājuma izmaiņas varēja notikt, pateicoties faktam, ka darba ietvaros piemērotās termiskās pēcapstrādes temperatūras ir zemākas par 200 °C, kas ļauj iegūt tikai amorfus pārklājumus, tā kā kristālisko pārklājumu iegūšanai nepieciešamas temperatūras pārsniedz 400 – 500 °C [17, 26]. Tā kā amorfajiem pārklājumiem salīdzinājumā ar kristāliskajiem piemīt daudz mazāka stabilitāte, hidrotermiskā apstrāde vārēja izraisīt neatgriezeniskas izmaiņas pārklājuma struktūrās.



6. att. Ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu apstrādāto kokvilnas tekstiliju virsmas struktūra (termiskā pēcapstrāde 120 °C temperatūrā 2 min a-b) pēc pirmā hidrotermiskās apstrādes cikla, c-d) pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.

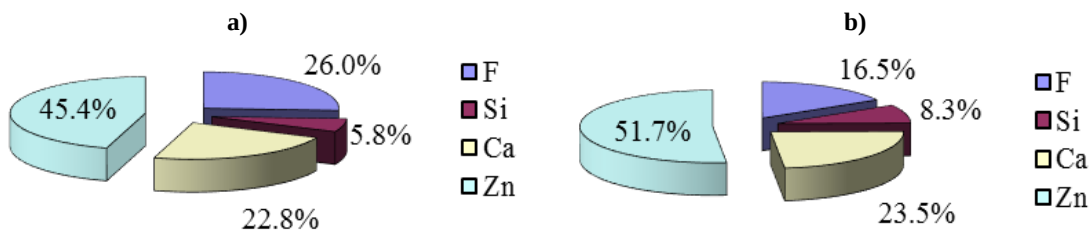
4.3.2. Kokvilnas tekstiliju apstrādātu ar solu enerģijas dispersīvās rentgenstaru spektroskopijas rezultāti (EDS)

EDS analīze liecina, ka ar CAD solu apstrādāto kokvilnas tekstiliju virsmas pārklājumos modificējošo elementu F, Si un Zn saturošās funkcionālās grupas modificēšanas procesā ir samērā vienmērīgi sadalītas uz šķiedru virsmām gan pēc apstrādes ar 5 mas.%, gan 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu (7. att., a un b).



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

Pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem atbilstoši standartam ievērojami samazinās F, Si un Zn procentuālā masas koncentrācija ar CAD solu modificēto šķiedru virsmā, bet joprojām dominē Zn funkcionālās grupas (8. att.), kas nodrošina tādas auduma īpašības kā UV aizsardzību un antimikrobiālu aktivitāti.



8. 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.

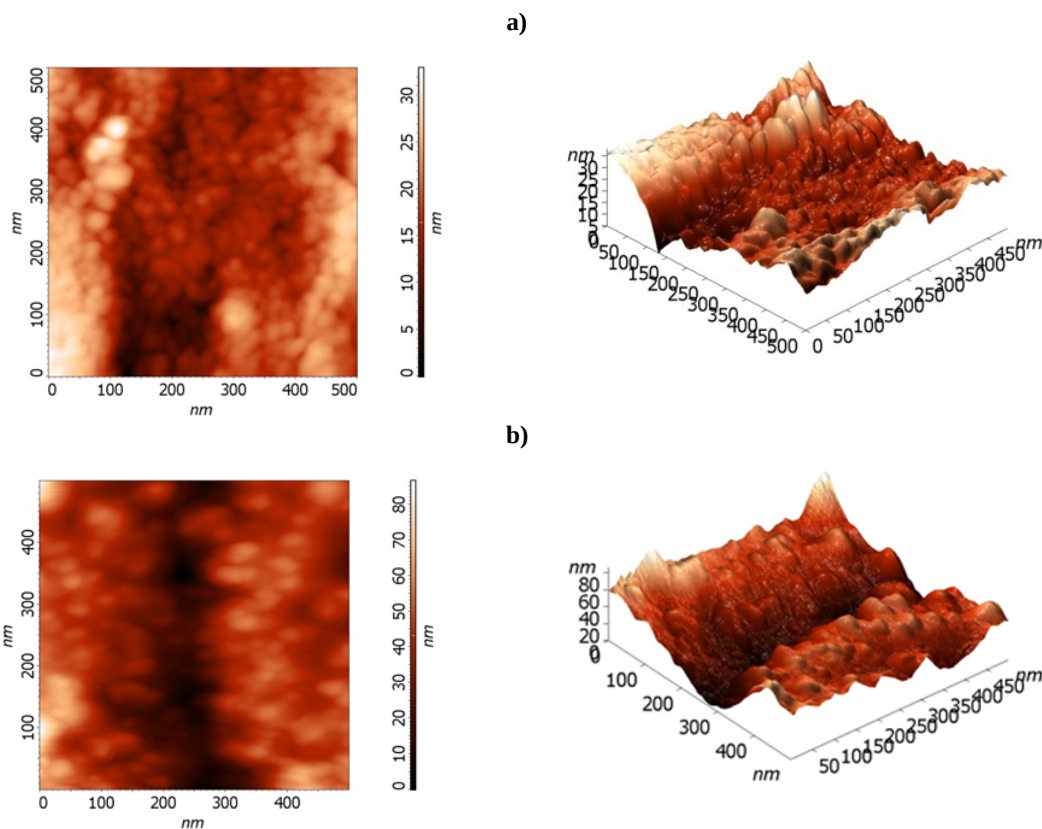
4.3.3. Modificēto paraugu Furjē transformāciju infrasarkanās spektroskopijas (FTIR) analīze

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 acetāts un, iespējams, nešķīstoši cinka bāziskie savienojumi vai cinka oksīds amorfā fāzē. FTIR analīze apstiprina Si savienojumu klātbūtni iegūtajā materiālā. Atšķirībā no EDS datiem, 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.

4.3.4. Modificēto paraugu rentgenstaru difrakcijas (XRD) analīze

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. Funkcionālā pārklājuma sastāvā galvenokārt ir cinka acetāts (C₄H₆O₄Zn), silīcija savienojumi: H₂Si₃O₇(H₂O) un H₂Si₁₄O₂₉·5.4H₂O 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.

4.3.5. Ar solu modificētu tekstiliju virsmas topogrāfija (ASM)



9. att. Ar solu apstrādātas kokvilnas tekstilijas topogrāfiskie attēli:

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

ASM topogrāfiskie attēli ļauj secināt, ka apstrādes procesā ar solu iegūtais modificējošais tekstiliju virsmas pārklājums sastāv no sfēriskām un eliptiskām daļiņām, kas ir

samērā vienmērīgi sadalītas uz pavediena virsmas, veidojot agrēgatus, ja CAD koncentrācija ir robežās no 5 mas.% līdz 7,5 mas.% (0.1 M TEOS) (9 .att., a un b).

4.4. Kokvilnas tekstiliju pārklājuma adhēzijas un nodilumizturība

Termiskās iztvaicēšanas un *magnetrona izputināšanas* procesā iegūta kokvilnas tekstiliju pārklājuma adhēzija ir salīdzinoši zema, līdz ar to modificētās tekstilijas piemērotas vienreizēja lietojuma izstrādājumos kā aktīvā komponente antimikrobiālu efektu nodrošināšanai.

Ar *CSH solu* modificēto tekstiliju nodilumizturība ir pārāk zema, līdz ar to darba ietvaros izstrādātā sola sastāvā celulozes bāzes tekstiliju modifikācijai *CSH solu* lietot nav ieteicams.

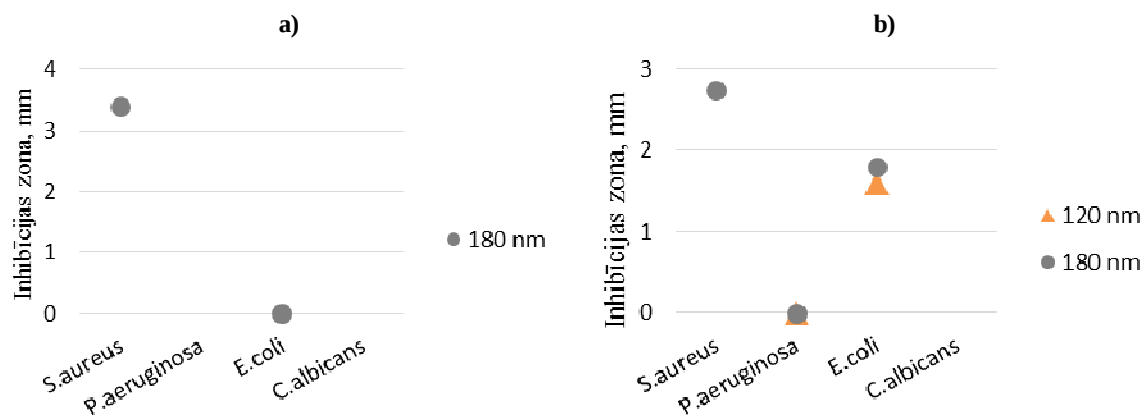
Kokvilnas tekstiliju virsmas modifikācija ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) *solu* nodrošina izcilu tekstiliju nodilumizturību, nodilumizturības pakāpe regulējama mainot termiskās pēcapstrādes temperatūru vai arī palielinot pēcapstrādes laiku un reizē radot iespēju pazemināt pēcapstrādes temperatūru.

4.5. Modificēto kokvilnas tekstiliju antimikrobiālās īpašības

4.5.1. Patogēnie mikroorganismi

Pētījumu rezultātā konstatēts, ka *termiskās iztvaicēšanas* procesā ar varu nanolīmenī pārklātas tekstilijas nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret:

- grampozitīvu baktēriju pie maksimālas mikroorganismu koncentrācijas *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) un gramnegatīvu baktēriju *Escherichia coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) (10. att., a) ar 180 nm biezu vara pārklājumu;
- gramnegatīvām baktērijām pie 10 reizes samazinātas mikroorganismu koncentrācijas *E. coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹) un *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹) (10. att., b) ar 120 nm biezu pārklājumu;
- grampozitīvu baktēriju pie 10 reizes samazinātas mikroorganismu koncentrācijas *S. aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹) un gramnegatīvām baktērijām *E. coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹), kā arī *P. aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^7$ KVV ml⁻¹) (10. att., b) ar 180 nm biezu vara pārklājumu.

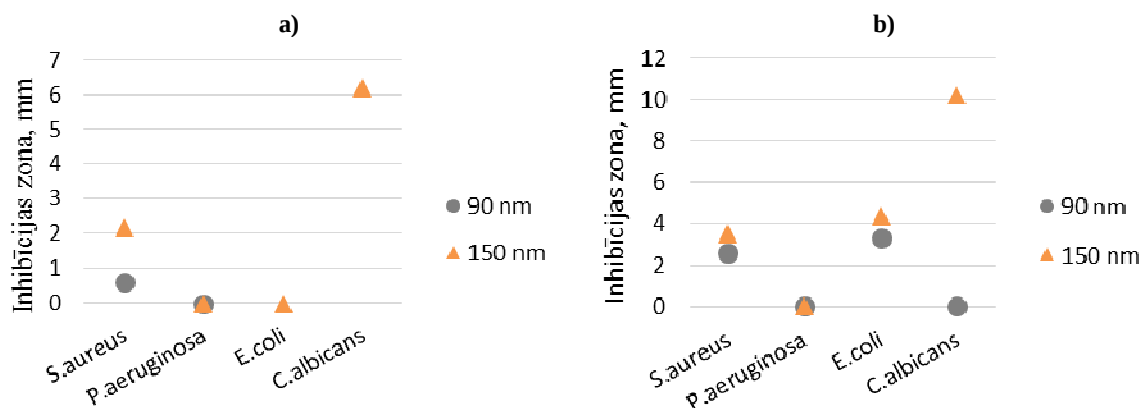


10. att. Inhibīcijas zonas

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

Abu koncentrāciju 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 biezuma.

Magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklāta tekstilija nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret:



11. att. Inhibīcijas zonas

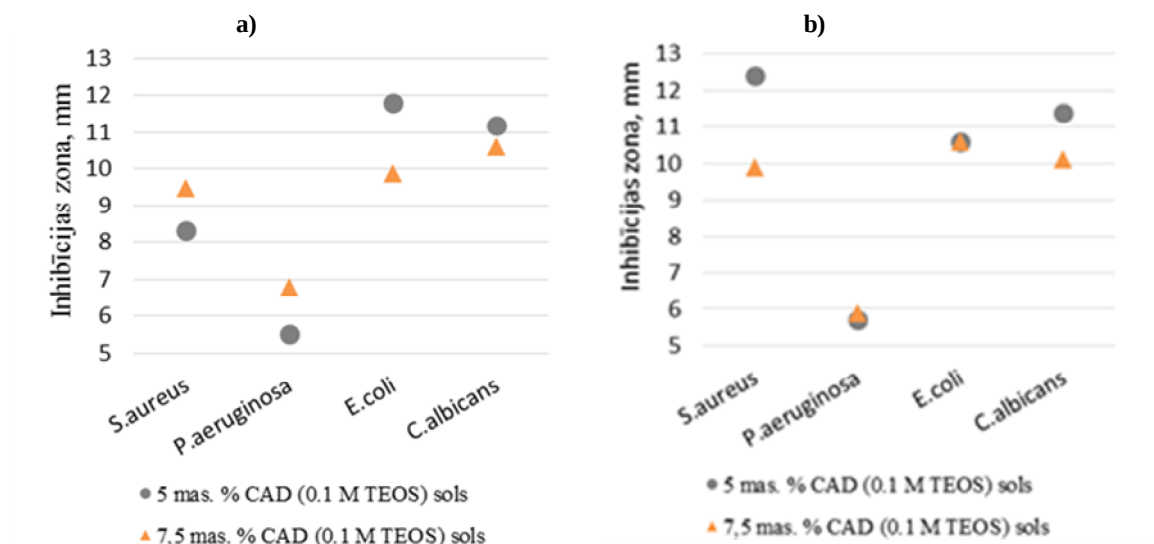
a) Maksimālā mikroorganismu koncentrācija, b) 10 reizes samazināta mikroorganismu koncentrācija. 0 - apkārt paraugiem nav inhibīcijas zonas, zem parauga nav novērota testa mikroorganismu kultūru koloniju augšana, paraugam piemīt antimikrobiālā iedarbība

- patogēniem mikroorganismiem pie to maksimālās koncentrācijas - grampozitīvu baktēriju *S. aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvu baktēriju *P. aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) (11. att., a) ar 90 nm biezu vara pārklājumu;

- patogēniem mikroorganismiem pie to maksimālās koncentrācijas - grampozitīvu baktēriju *S. aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvu baktēriju *P. aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvu baktēriju *E. coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) un mikroskopisko sēnīti *C. albicans* ATCC 60193 ($8,2 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹) ar 150 nm biezu vara pārklājumu.

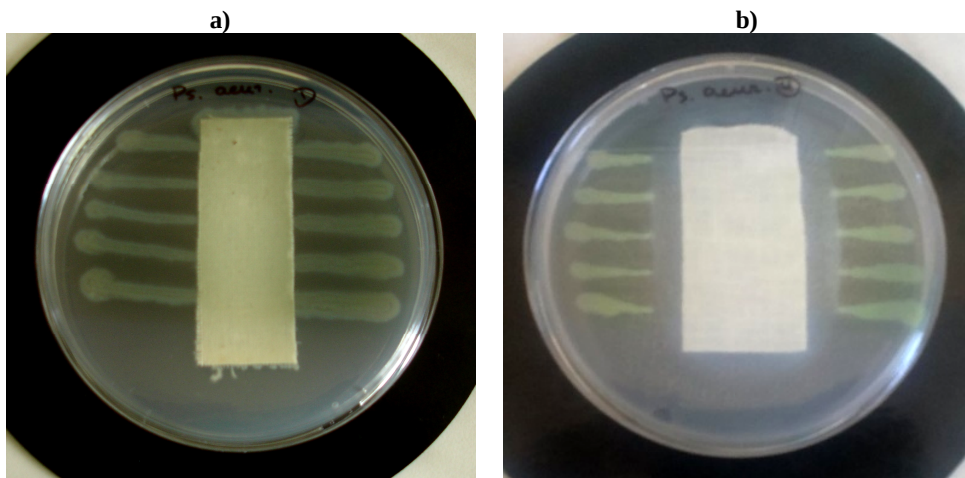
Samazinot mikroorganismu koncentrāciju 10 reizes arī 90 nm biezs vara pārklājums nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret visiem minētajiem mikroorganismiem (11. att., b).

Ar *sola-gēla tehnoloģiju* 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 *S. aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), gramnegatīvām baktērijām *P. aeruginosa* ATCC 10145 ($3,9 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) un *E. coli* ATCC 25922 ($7,1 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹) un mikroskopisko sēnīti *C. albicans* ATCC 60193 ($8,2 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹) (12. att., a un 13. att.), kā arī pret brūču infekciju, sastrutojumu un iekaisumu biežāk izraisītāju - grampozitīvo baktēriju *S. aureus* ATCC 25923 ($4,3 \cdot 10^8$ KVV ml⁻¹), saglabājot aktivitāti pēc 10 modificēto tekstiliju hidrotermiskās apstrādes cikliem; ja tekstilija modificēta ar 7,5 mas.% CAD solu, tad aktivitāte saglabājas arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.



Inhibīcijas zonas

a) maksimālā mikroorganismu koncentrācija, b) 10 reizes samazināta mikroorganismu koncentrācija



13. att. Paralelo svītru metodes rezultāti pret *P.aeruginosa* ATCC 10145
a) neapstrādāts materiāls, b) tekstilija apstrādāta ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

4.5.2. Celulozes tekstiliju destrukciju izraisošie mikroorganismi

Termiskās iztvaicēšanas procesā ar varu pārklātas tekstilijas nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret:

- 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 60 nm biezu vara pārklājumu.

Analīzei pakļautajā vara pārklājumu biezumu intervālā nav novērota antimikrobiālā iedarbība pret baktēriju *Pseudomonas fluorescens* AM11 ($1,7 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹).

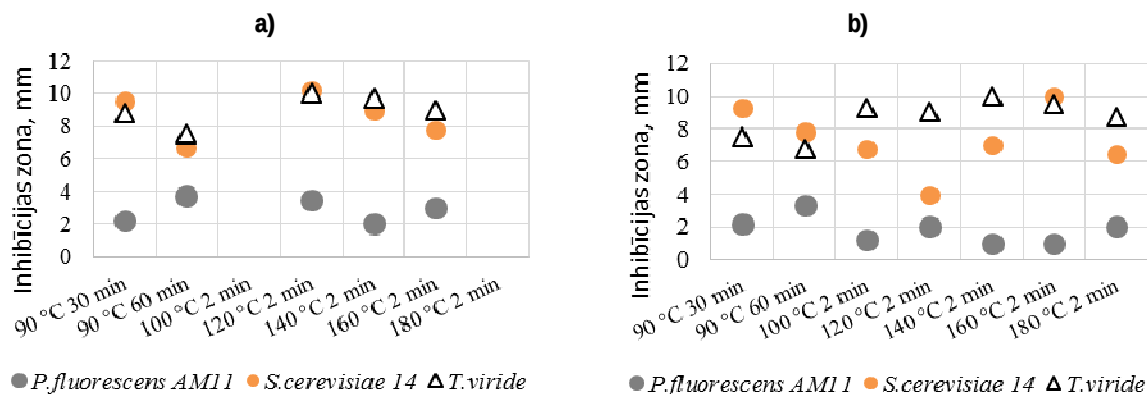
Magnetrona izputināšanas procesā ar varu pārklāta tekstilija nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret:

- baktēriju *P. fluorescens* AM11 ($1,7 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹), mikroskopisko sēnīti *T. viride* ($3,1 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹) un raugu *S. cerevisiae* 14 ($2,8 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹) ar 150 nm biezu vara pārklājumu.

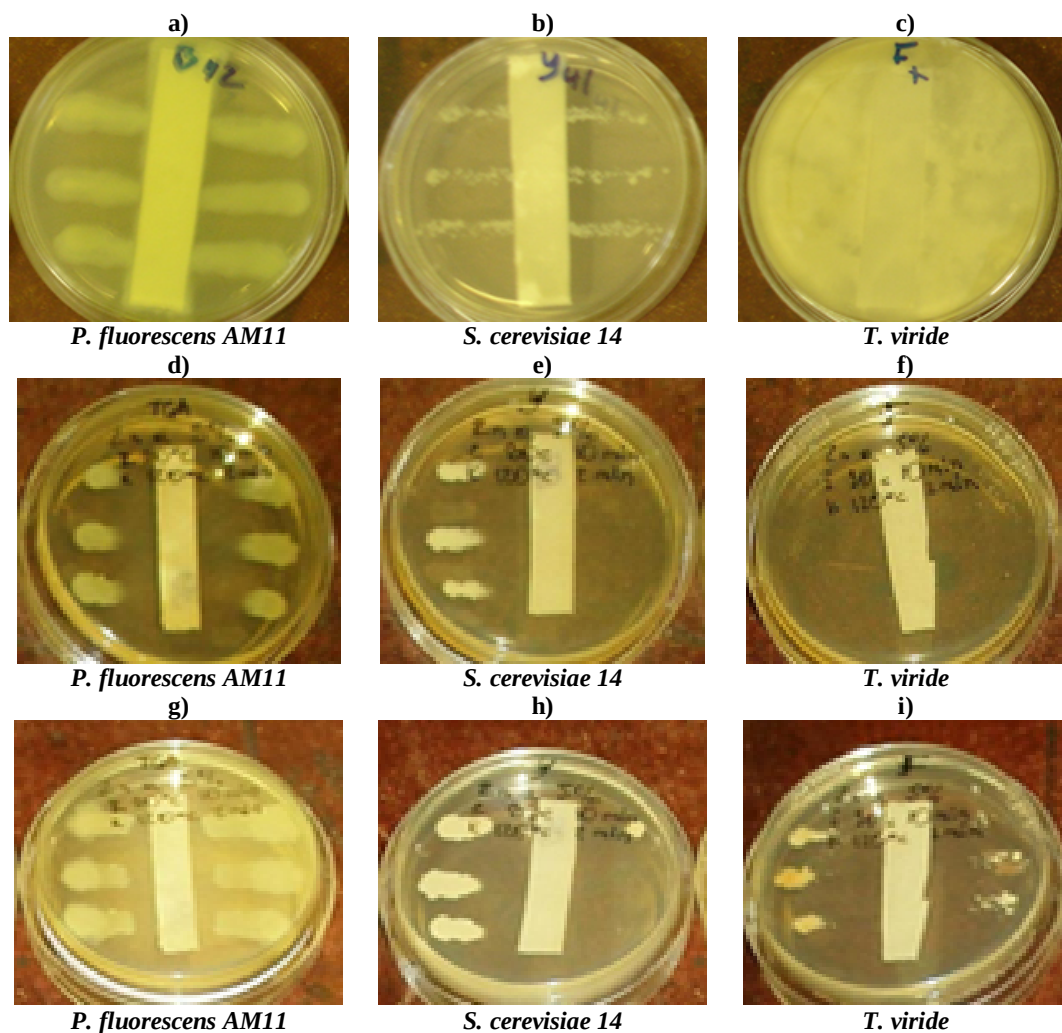
Ar 5 mas.% un 7.5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas tekstilijas (14. att. un 15. att.) nodrošina antimikrobiālu iedarbību pret:

- visiem testētiem mikroorganismiem - baktēriju *P. fluorescens* AM11 ($1,7 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹), mikroskopisko sēnīti *T. viride* ($3,1 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹) un raugu *S. cerevisiae* 14 ($2,8 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹). Antimikrobiālā iedarbība saglabājas pēc 96 h inkubācijas (4 diennaktis), kas liecina par spēcīgu antimikrobiālo iedarbību.

Antimikrobiālā iedarbība pret baktēriju *P. fluorescens* AM11 ($1,7 \cdot 10^6$ KVV ml⁻¹) saglabājas pēc 10 hidrotermiskās apstrādes cikliem un pret raugu *S. cerevisiae* 14 ($2,8 \cdot 10^5$ KVV ml⁻¹) pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.



14. att. Inhibīcijas zonas pēc 96 h inkubācijas paraugiem apstrādātiem ar CAD solu
a) 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, b) 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu



15. att. Antimikrobiāla testa rezultātu vizuālizācija paraugiem apstrādātiem ar solu
Viršējā rinda (a-b): nepārklātie 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; apakšrinda (g-i): paraugi apstrādāti ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu pēc 96 h inkubācijas

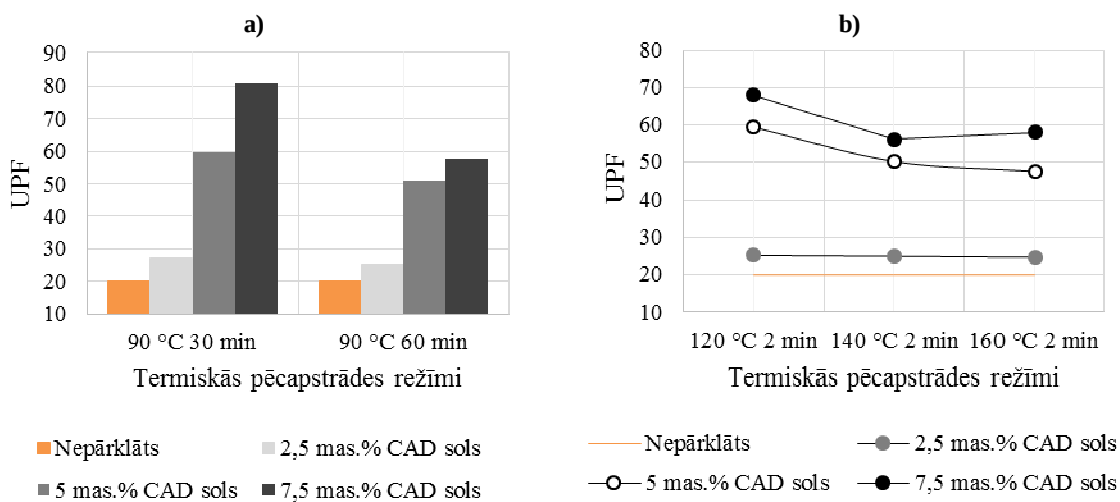
4.5.3. Mikroorganismu adhēzija pie modificēto tekstiliju virsmas

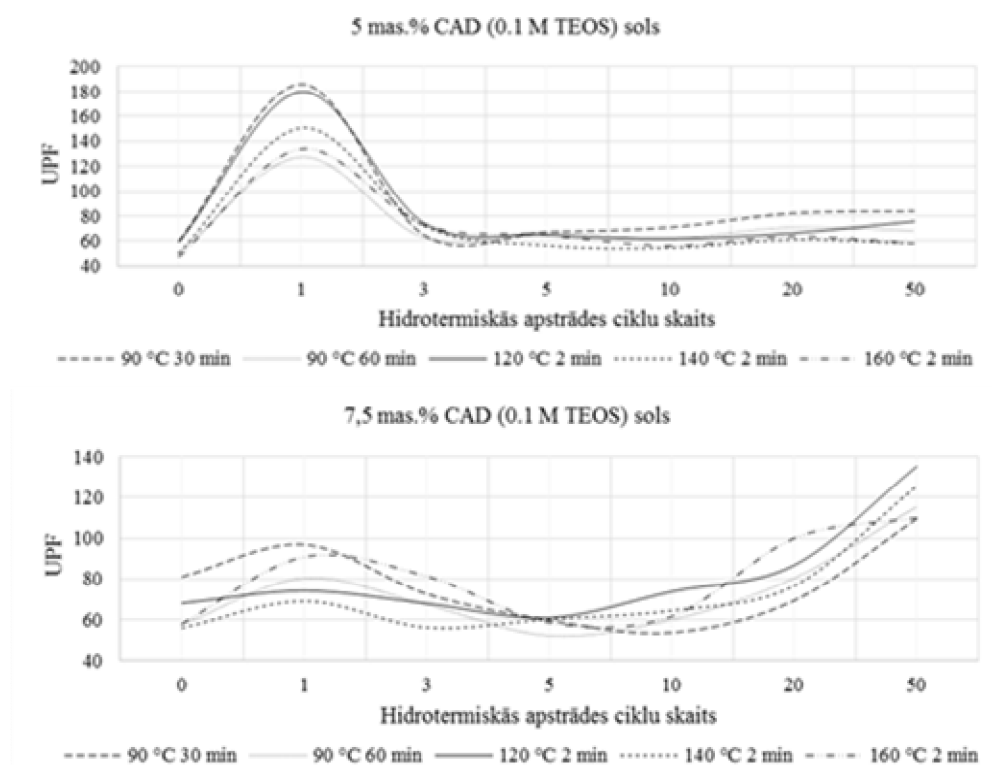
Tādu nozokominālo infekciju izraisīto patogēnu mikroorganismu adhēziju pie tekstilijas virsmas kā gramnegatīvā baktērija *P. aeruginosa* ATCC 27853 (10^2 KVV ml⁻¹) un grampozitīvā baktērija *S. epidermidis* ATCC 12228 (10^2 KVV ml⁻¹) kavē:

- ar 60 nm biezu vara pārklājumu termiskās iztvaicēšanas procesā pārklāta kokvilnas tekstilija;
- ar 90 nm biezu vara pārklājumu magnetrona izputināšanas procesā pārklāta kokvilnas tekstilija;
- ar 5 mas.% un 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēta tekstilija, pakļauta līdz 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.

4.6. Modificēto tekstiliju aizsardzība pret UV

Kokvilnas tekstiliju apstrāde ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu nodrošina izcilu UV aizsardzību jeb 50+ UPF kategoriju (16. att.), bloķējot UVB un UVA starojumu visu viļņu garuma spektru un saglabājot pilnu aizsardzības spēju arī pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem (17. att.). Arī apstrāde ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu ļauj iegūt 50+ UPF kategorijai atbilstošas kokvilnas tekstilijas, tomēr modifikācijas procesā jāreķinās ar stingrākiem ierobežojumiem termiskās pēcapstrādes režīmu izvēlē (16. att.).





17. att. Modificētas kokvilnas tekstilijas UPF vērtības pēc hidrotermiskās apstrādes

Konstatētā kokvilnas tekstiliju pārklājuma (CAD sols) izturība un stabilitāte pret daudzkārtīgu hidrotermisko apstrādi norāda uz labu pārklājuma sasaisti ar tekstilijas virsmu, kas ir būtiski sola-gēla tehnoloģijas praktiskam lietojumam tekstilnozarē (17. att.).

4.7. Modificēto tekstiliju gaisa caurlaidība un higroskopiskums

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

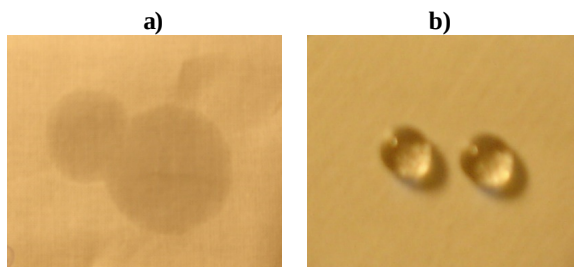
Gaisa caurlaidības testu rezultāti liecina, ka darba ietvaros izstrādātā *sola-gēla tehnoloģijas* procesā modificētas tekstilijas gaisa caurlaidība samazinās, tomēr arī pēc piecdesmit hidrotermiskās apstrādes cikliem nodrošina komforta normas valkātāja apģērbam, kas atrodas ciešā kontaktā ar ādu, sākot no trīs gadu vecuma, bet higroskopiskuma testu rezultāti atbilst komforta normām no 14 gadu vecuma, ja tekstilija modificēta ar 5 - 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, ko var variēt ar dažādu struktūras parametru tekstilijām. Virknē citos lietojumos, kur nepieciešama UV, antimikrobiālā aizsardzība un virsmas ūdens

atgrūšanas spēja (interjera tekstilijas, ārvides tekstilijas, virsgērbi), šie ierobežojumi nav būtiski.

4.8. Modificēto tekstiliju šķidrumsorbēcija

Tekstiliju ūdens sorbēcija pirms pārklāšanas *termiskās iztvaicēšanas* un *magnetrona izputināšanas* procesā ir atkarīga no tekstiliju struktūras parametriem - blīvuma, biezuma, virsmas aizpildījuma un porainības; tekstiliju ūdens sorbēcijas ātrums variē no 5 līdz $20 \pm 0,001$ s. Pēc pārklāšanas ar varu sorbēcijas ātrums samazinās saglabājoties robežās no 2 minūtēm līdz 5 ± 0.01 minūtēm. Pārklājuma biezums un tehnoloģija būtiski neietekmē ūdens sorbēcijas tempu.

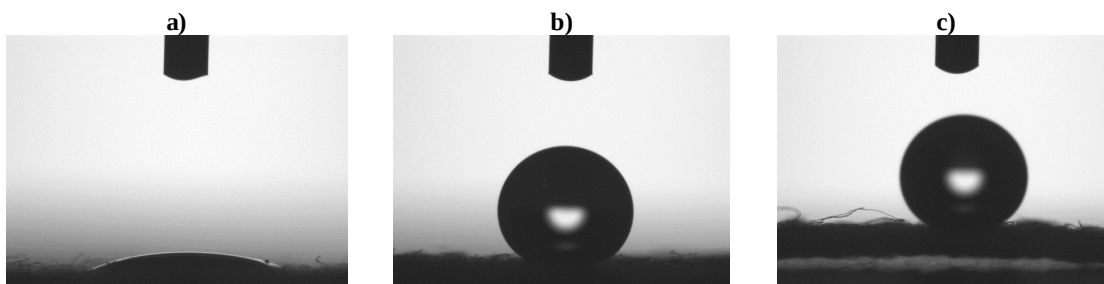
Pēc apstrādes ar 5 mas.% vai 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu tekstilijas ūdens sorbēcijas ātrums samazinājies no sākotnējā $11 \pm 0,001$ s līdz > 30 minūtēm, kas liecina, ka pēc modifikācijas slapināmība ir ievērojami samazinājusies (18 att.). Hidrotermiskās apstrādes ciklu skaits neietekmē ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētu tekstiliju sorbēcijas tempu, absorbcijas ātrums saglabājas > 30 minūtes; ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas tekstilijas šķidrumsorbēcijas laiks vidēji līdz 2 minūtēm samazinās tikai pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.



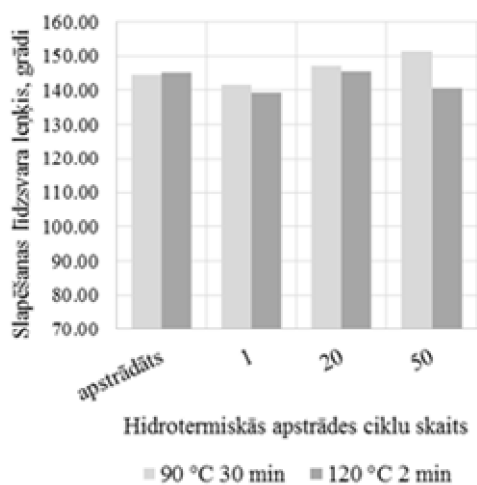
17. att. Šķidrumsorbēcija
a) neapstrādāts, b) pēc apstrādes ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu

4.9. Modificēto tekstiliju slapēšanas līdzsvara lēņķis

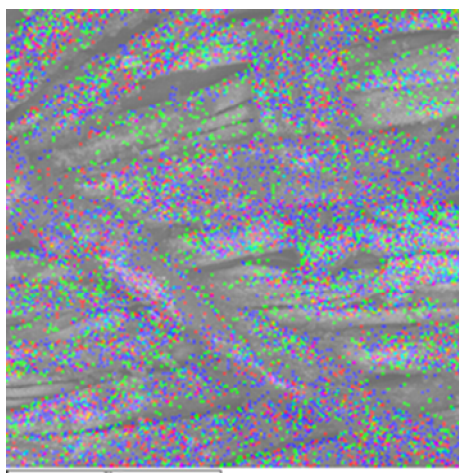
Apstrāde ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu nodrošina tekstilijas ūdens atgrūšanu, ja hidrotermiskās apstrādes ciklu skaits nepārsniedz 20. Apstrādē ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu nodrošina tekstilijām ūdens atgrūšanu pat pēc 50 intensīviem hidrotermiskās apstrādes cikliem (18. att. un 19. att.).



Kokvilnas tekstilijas virsmas slapēšanas procesi (piliens 5 μ L)
a) neapstrādāts pēc 1 s, b) apstrādāts ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu un c) apstrādāts pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem



19. att. Ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētas kokvilnas tekstilijas virsmas slapēšanas līdzsvara leņķi
a) apstrādāts, b) apstrādāts, pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem



20. att. Ķīmisko elementu sadalījumus uz šķiedru virsmas pārklājuma: **F**, **Si**, **Zn**
5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) sols; termiskā pēcapstrāde 90 °C temperatūrā 30 min.

Kā jau bija augstāk minēts, hidroforas tekstiliju virsmas galvenokārt veido formējot raupju struktūru vai modificējot virsmas ar tādiem savienojumiem ar mazu virsmas enerģiju, kā F vai Si saturoši savienojumi [16]. EDS ķīmiskā sastāva analīze rāda, ka līdztekus pārklājumam piemītošai raupjajai virsmai, darba ietvaros sintezētie sastāvi un modificēšanas tehnoloģijas ļauj vienmērīgi pārklājumā izvietot ne tikai Si un Zn saturošas funkcionālās grupas, bet arī F saturošas grupas ar zemu virsmas enerģiju (20.att.). Si un F procentuālās masas izmaiņu izsekošanas rezultātā konstatēts, ka pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificēto virsmu pārklājumā F saturs samazinās vismaz 8 reizes salīdzinājumā ar pārklājumu pirms hidrotermiskās apstrādes; savukārt ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētās virsmās F satura maksimālais samazinājums ir tikai 3 reizes, bet Si saturs pie abām CAD koncentrācijām kļūst vienāds, kas var izskaidrot ar 5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu modificētu paraugu ievērojamu slapējamības palielinājumu hidrotermiskās apstrādes rezultātā. Tas liek domāt, ka tieši funkcionāli nepolāri perfluorēti radikāļi piešķir modificētajai virsmai ekspluatācijā noturīgas ūdens atgrūšanas (hidroforas) īpašības, ja kokvilnas tekstiliju virsmu modificē ar 7,5 mas.% CAD (0.1 M TEOS) solu, jo nodrošina F savienojumu pietiekošu īpatsvaru pat pēc 50 hidrotermiskās apstrādes cikliem.

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 medicīnas 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 uznešanas, 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 amorfie 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. 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>
2. Pekhtasheva E., Neverov A., Kubica S., Zaikov G. Biodegradation and Biodeterioration of some natural polymers// Chemistry&chemical technology. – 2012. – Volume 6. – pp. 263-280.
3. Rangaswami G., Bagyaray D.J. Agricultural Microbiology second edition. – New Delhi: Prentice-Hall-India, 2005. – 382 p.
4. Hipler U.C., Elsner P. (Ed.) Biofunctional textiles and the skin. – Basel: Karger, 2006. – 204 p.
5. 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.
6. 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.
7. Vukušić S.B. (Ed.) Functional protextive textiles. – Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2012. – 397 p.
8. Grass G., Rensing C., Solioz M. Metallic copper as an antimicrobial surface// Applied and environmental microbiology. – 2011. – Volume 77. – pp. 1541-1547.

9. Kozłowski R.M. (Ed.) Handbook of natural fibres. Volume 2: Processing and applications. – Cambridge: Woodhead publishing limited, 2012. – 544 p.
10. Karls R. Ultravioletais starojums. Vienīgais novēršamais ādas kancerogēns cilvēkam/. Internets. - <http://www.doctus.lv/2013/11/ultravioletais-starojums-vienigais-noversamais-adas-kancerogens-cilvekam>
11. Tur E. (Ed.) Environmental Factors in Skin Diseases. Current problems in dermatology. – Basel: Karger, 2007. – 196 p.
12. 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>
13. 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.
14. America's Cotton Producers and Importers, Water and stain repellent finishing of cotton fabrics// Cotton incorporated. – 2004. – pp. 1-12.
15. Namligor E. S., Bahtiyari M. I., Hosaf E., Coban S. Performance comparison of new (dendimer, nanoproduct) and stain repellents// Fibres&Textiles in Eastern Europe. – 2009. – Volume 17. – pp. 76-81.
16. 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.
17. Wei Q. (Ed.) Surface modification of textiles. – Cambridge: Woodhead publishing limited, 2009. – 352 p.
18. Brzezinski S., Kowalczyk D., Borak B., Jasierski 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.
19. 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.
20. Bakterioloģija / Internets. - www.nms-laboratorija.lv/laboratorijas-testu-interpretacijas-rokasgrama-arstiem/bakteriologija/

21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. *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
25. Kirk O., Borchert T. V., Fuglsang C. C. Industrial enzyme applications// *Current Opinion in Bio-technology*. – 2002. –Volume 13. – pp. 345-351.
26. 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.
27. 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.