

# PAŠATTĪROŠI AUDUMI: KAS TIE IR UN KĀPĒC TĀDI NEPIECIEŠAMI?

**RAIVIS EGLĪTIS<sup>1</sup>, GUNDARS MEŽINSKIS<sup>2\*</sup>, IEVA BUIĶE<sup>3</sup>**

<sup>1-3</sup> *Silikātu materiālu institūts, Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija*

**Kopsavilkums.** Pašattīroši audumi ir tekstilmateriāli, kuriem piemīt spēja ārēju vides faktoru iedarbībā atbrīvot savu virsmu no dažādiem piesārņojumiem. Šādi audumi ļauj samazināt ūdens un enerģijas patēriņu, kas saistīts ar drēbju mazgāšanu, samazināt infekciju risku, pateicoties to biocīdām īpašībām, kā arī pasargā cilvēkus no UV starojuma. Papildus tam šādus audumus arī būtu grūtāk saslapināt; tas mūsdienīgu mitrajā klimatā samazinātu diskomfortu no salijušām drēbēm. Šādus efektus pašattīroši audumi iegūtu ar tādiem mehānismiem kā fotokatalīze un superhidrofobitāte. Lai audumi iegūtu augstāk minētās īpašības, piemērotākie ir ZnO un TiO<sub>2</sub> nanodaļiņu veidotie pārklājumi. Savukārt pārklājumu ieguvei jāizmanto sola-gēla metode, kas sniedz iespēju izveidot homogēnus pārklājumus pie temperatūrām, kuras iztur organiskas dabas materiāli. Kopš 2011. gada ar šādu audumu izstrādi ir nodarbojies Rīgas Tehniskās universitātes Dizaina tehnoloģiju institūts. Kopš 2016. gada ar šādiem pārklājumiem nodarbojas arī Rīgas Tehniskās universitātes Silikātu materiālu institūtā. Izmantojot savas gadu desmitu laikā iegūtās zināšanas sola-gēla tehnoloģijā un nanostrukturētu pārklājumu ieguvē, sekmīgi uzsākti pētījumi rūpnieciski izmantojamu tehnoloģiju izstrādei kokvilnas audumiem.

**Atslēgas vārdi** – pašattīroši audumi, sola-gēla metode, TiO<sub>2</sub>, ZnO.

## I. Ievads

Pētījumi pašattīrošu audumu izstrādē uzskatāmi par mūsdienīgiem un aktuāliem, jo veiksmīga šādu audumu izstrāde ļautu atrisināt vairākas problēmas, kas tuvākajos gados kļūs arvien aktuālākas. Pirmkārt, tas ir laika trūkums ikdienā; to varētu atrisināt audumi ar pašattīrošām

\* Korespondējošais autors.

E-pasts: [gundars.mezinskis@rtu.lv](mailto:gundars.mezinskis@rtu.lv)

īpašībām. Samazinot laiku, kas tiek patērēts mazgājot drēbes, samazinātos arī ūdens un enerģijas patēriņš. Otrkārt, mūsdienās arvien vairāk baktēriju kļūst imūnas pret antibiotikām. Tas nozīmē, ka ir jāmeklē jauni veidi kā samazināt infekciju risku [1]. Pašattīrošiem audumiem, kas modificēti ar specifiskiem nanodaļiņu pārklājumiem, piemistu arī biocīdas īpašības, kas ļautu samazināt infekciju risku. Treškārt, šādi audumi ļauj pasargāt cilvēkus no UV starojuma kaitīgās ietekmes, kas, gadiem ejot, pastiprinās [2], [3]. UV starojums iedalāms 3 kategorijās: UVA (400–320 nm), UVB (320–280 nm) un UVC (280–100 nm). No šiem visbīstamākais cilvēkam ir UVB starojums, kas var izraisīt tādas slimības kā melanomu [2].

Audumu pārklājumi iedalās pasīvajos un aktīvajos. Pasīvie pārklājumi ir tie, kas pasīvi veic kādu funkciju, piemēram, piešķir krāsu vai ugunsizturību. Aktīvie pārklājumi ir spējīgi reaģēt uz apkārtējās vides izmaiņām. Pie aktīvajiem pārklājumiem pieskaita pašattīrošus pārklājumus, kas darbojas gaismas ietekmē [4]. Aktīvu pārklājumu iegūšanai izmanto dažādas tehnoloģijas: mikroiekapsulēšana, plazmas tehnoloģijas, nanotehnoloģijas, kā arī sola-gēla tehnoloģija [4].

## II. Pašattīrošu audumu vēsture

Audumi, kas būtu noturīgi pret baktēriju un mikroorganismu kolonizāciju, kā arī pret netīrumiem ar relatīvi vienkāršām metodēm tika veidoti jau ap Otrā pasaules kara laiku. Kā piemēru var minēt telšu brezenta audumu, kas tika piesūcināts ar ķīmikālijām, lai tas nesāktu bojāties un lai uz tā neattīstītos mikroorganismi. Taču šādi audumi bija ar nepatīkamu aromātu un ļoti stīvi, kas tos padarīja nepiemērotus lietošanai ikdienas apģērbā [5], [6].

Turpmākajos gados tika veikti eksperimenti, kas balstīti uz kokvilnas auduma šķiedru modificēšanu ar dažādām ķīmikālijām (acetilēšana, cianoetilēšana), taču tie netika ieviesti ražošanā, pateicoties metožu dārgajām izmaksām. Sintētiski radītie audumi, kas kļuva arvien populārāki, šādu ideju padarīja vēl neizdevīgāku [5].

Attīstoties nanotehnoloģijām, pašattīroši audumi ieguva otru elpu un mūsdienās ir jau komerciāli pieejami audumi ar superhidrofobām īpašībām, kā arī nemitīgi tiek veikti pētījumi šādu audumu tālākai attīstībai.

### A. Pašattīrošu audumu izveide pasaulē

Pašattīrošu audumu izgatavošanai var tikt izmantotas dažāda veida nanodaļiņas: ZnO [7], TiO<sub>2</sub> [8], Cu<sub>2</sub>O [9], CuO [10], Ag<sub>2</sub>O [11], SiO<sub>2</sub> [12], Ag [5], utt. No nanodaļiņu veidiem vispopulārākās ir ZnO un TiO<sub>2</sub> nanodaļiņas. TiO<sub>2</sub> un ZnO nanodaļiņām piemīt unikālas optiskās, fotokatalītiskās,

hidrofīlas īpašības. Tas padara šīs nanodaļiņas piemērotas izpētei dažādās jomās, piemēram, pašattīrošajos materiālos, antibakteriālos līdzekļos, UV aizsargmateriālos, ūdens un gaisa attīrīšanā, gāzes sensoros, augstas efektivitātes saules šūnās un citās jomās [13].

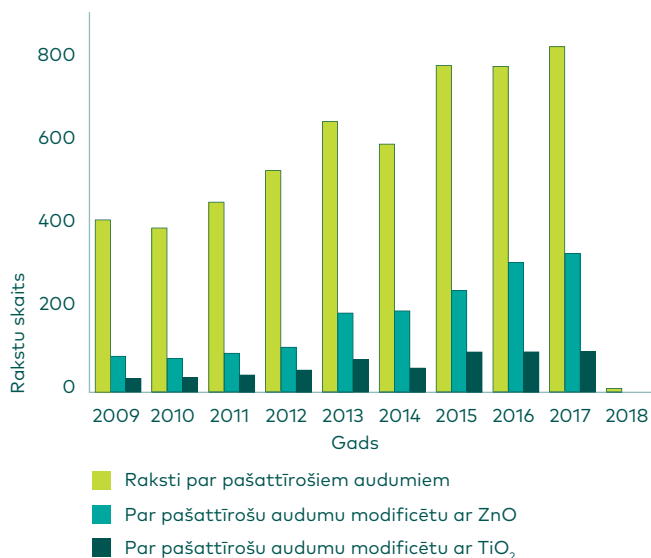
TiO<sub>2</sub> nanodaļiņas galvenokārt tiek sintezētas ar sola-gēla metodi, taču tiek izmantotas arī citas metodes. ZnO nanodaļiņu sintēzei arī izmanto sola-gēla metodi, taču bieži izmanto arī citas metodes, piemēram, hidrotermālo sintēzi.

Nanodaļiņu uznešana uz auduma var notikt *in situ* un *ex situ*. Vairums nanodaļiņu iegūšanas procesu notiek *ex situ*: nanodaļiņas tiek sintezētas atsevišķi un tad uznestas uz auduma. Galvenā šīs metodes problēma ir tā, ka norit nanodaļiņu aglomerācija, kas ierobežo nanodaļiņu izkliedi pa auduma šķiedru virsmu. Šādos gadījumos kā stabilizatorus var izmantot lielmolekulārus savienojumus, taču to klātbūtne uz auduma var ietekmēt rezultējošās fotokatalītiskās īpašības [7]. *In situ* sintēzē nanodaļiņas tiek sintezētas šķīdumā, kurā tiek iemērīts audums, līdz ar to daļiņas uzreiz pēc to izveidošanās var nonākt uz auduma. Šīs metodes trūkums ir tas, ka nanodaļiņu sintēzes procesu parametru nelielas izmaiņas var novest gan pie daļiņu aglomerācijas, gan pie dažādas nanodaļiņu morfoloģijas izveides. Tas savukārt var novest pie nanodaļiņu izveides ar atšķirīgām optiskajām, antimikrobiālajām, katalītiskajām u. c. īpašībām [7].

Vienu no pirmajām publikācijām par anatāza nanodaļiņu uznešanu uz kokvilnas publicēja *W. Daoud et al.* 2004. gadā [14]. Pēc tam publicēti vairāki raksti, kas apskata anatāza nanodaļiņu uznešanu (galvenokārt uz kokvilnas), lai gan tika veikti pētījumi arī vilnas [15], [16] un sintētisko šķiedru modificēšanā [17]. Par spīti tam, ka šajā jomā strādā daudzi zinātnieki no visas pasaules, nanodaļiņu sintēze principā ir nemainīga. Anatāza nanodaļiņas tiek galvenokārt pētītas tāpēc, ka tās var vienlaicīgi samazināt UV caurlaidību un piešķirt antibakteriālas īpašības [17]. Nanodaļiņu sasaistes ar kokvilnu uzlabošanai zinātniskajos darbos izmanto dažādas priekšapstrādes metodes kokvilnas modifikācijai: apstarošanu ar UV gaismu [18], [19], oksidāciju KMnO<sub>4</sub> šķīdumā [15], tīrīšanu ar plazmu [18], ķīmisku modifikāciju ar skābēm [20], [21] un aldehīdiem [22] un mazgāšanu [23]. Mazgāšana ir populārākais priekšapstrādes veids.

Jaunākajos pētījumos, ko publicējis *M. Abid et al.*, anatāza nanodaļiņas iegūtas, izmantojot titāna prekursora hidrotermālu apstrādi bez iepriekšējas hidrolīzes [24]. Šādi iegūtie pārklājumi sastāv no 10–14 nm daļiņām. Pārklājumiem bija nelielas (apmēram 100 nm) platas plaisas, kurām, ņemot vērā baktēriju izmērus, nevajadzētu ietekmēt antibakteriālās īpašības.

Pirmie darbi, kuros kokvilnas audumi tika modificēti ar ZnO nanodaļiņām, tika publicēti 2009. gadā. *O. V. Abramov et al.* publicēja rakstu,



1. att. Publikāciju par pašattīrošiem audumiem skaits *Science Direct* datubāzē 2009.–2017. g.

kurā uz auduma ar sonoķīmisku metodi ieguva ZnO un CuO pārklājumus [25]. Šādu pārklājumu iegūšanai ir tikušas izmantotas arī solagēla tehnoloģija, slāņa pēc slāņa (*layer-by-layer*) metode [26] un pašsakārtošanās (*self-assembly*).

2017. gadā pētījumi par šādi modificētiem audumiem vēl joprojām bija aktuāli. *ScienceDirect* mājaslapā katru gadu tiek publicēti simtiem rakstu, kas veltīti pašattīrošiem audumiem, un ikgadējais rakstu skaits turpina pieaugt. No šiem rakstiem kopš 2013. gada vairāk kā puse ir veltīta pašattīrošiem audumiem, kas iegūti izmantojot ZnO vai arī TiO<sub>2</sub>.

## B. Poliestera audumi ar TiO<sub>2</sub> un ZnO pārklājumu

Pagājušā gadsmita sešdesmitajos gados parādījās interese par lētākām un pārstrādājamām sintētiskajām šķiedrām, piemēram, poliestera šķiedrām. To ražošanas un pieprasījuma apjomi strauji pieauga, un tādējādi dabiskās šķiedras zaudēja lielu daļu tirgus [27].

Mūsdienās 72 % Eiropas tirgus aizņem tieši sintētiskie audumi un tekstilpreces. Poliesteris polietilēnteraftalāts (PET) ieņem vadošo pozīciju starp visām sintētiskajām šķiedrām. Salīdzinot dabiskās šķiedras ar PET šķiedrām, ir viegli iegūt PET šķiedras ar kontrolējamām īpašībām, piemēram, elastības moduli, izturību, stiepes izturību, izmēra stabilitāti pie temperatūras izmaiņām, nodilumizturību, izturību pret saules gaismu, skābēm un balinātājiem un virkni citām

īpašībām [28], [29]. Poliestera šķiedras neburzās un ir izturīgas pret mazgāšanu, tāpēc tās tiek plaši izmantotas sadzīvē dažādās jomās, piemēram, mājas tekstilā, apģērbos, paklājos, automobiļu audumos u. c. No otras puses, tās ir ārkārtīgi hidrofobas (nepolāras) šķiedras; tā tas ir benzola gredzena un  $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$  grupu klātbūtnes, kā arī hidrofilu funkcionālo grupu trūkuma dēļ. Poliesteris ir kristāliska šķiedra, kas sastāv no blīvi sapakotām, sakārtotām polimēra molekulām. Tā kā poliesterim nav polāro funkcionālo grupu, tās spēj labi veidot ūdeņraža saites ar citām molekulām [29]. Tomēr šķiedru hidrofobā daba izraisa arī nevēlamas īpašības: statiskā elektriskā lādiņa uzkrāšanos, vieglu smilšu un augsnes piesaisti [30].

Šobrīd globālās tendences tekstilrūpniecībā ir daudzfunkcionāli un "gudri" audumiem. Papildus tādām īpašībām kā modernums un ērtums vēl tiek prasītas pašattīrošas, antibakteriālas un UV staru aizsargājošas īpašības. Jaunajām tehnoloģijām jāatbilst ne tikai funkcionalitātei un efektivitātei, bet arī vides un ekonomikas prasībām [31].

Tekstilizstrādājumu virsmas apstrādei tiek izmantotas dažādas metodes. Šobrīd lielu popularitāti un interesi ir ieguvusi apstrāde tieši ar  $\text{TiO}_2$  un  $\text{ZnO}$  nanodaļiņām. Šīm nanodaļiņām piemīt optiskas, fotokatalītiskas un hidrofilas īpašības, kas padara tās piemērotas pielietošanai dažādās jomās, piemēram, pašattīrošajos materiālos, antibakteriālos līdzekļos, UV aizsargmateriālos, ūdens un gaisa attīrīšanā, gāzes sensoros, augstas efektivitātes fotoelementiem jeb saules elementiem un citās [13], [27].

Lai uznestu  $\text{TiO}_2$  un  $\text{ZnO}$  nanodaļiņas uz poliestera auduma, tiek izmantotas dažādas metodes, piemēram, pirms nanodaļiņu uzklāšanas, poliestera šķiedras tika apstrādātas ar ultraskaņas aktivētu sārnu hidrolīzi [30], izmantota iemērkšanas metode uz plazmas modificētām poliesteru un poliamīdu šķiedrām [32]; neapstrādātām poliestera šķiedrām uzklātas  $\text{TiO}_2$  nanodaļiņas, kas modificētas ar (3-aminopropyl)-trimetoksisilānu [33], kā arī sonoķīmiskā metode [34].

Sonoķīmiskā metode ir efektīva metode nanomateriālu sintēzē, jo var iegūt nanodaļiņas, nelietojot augstas temperatūras un spiedienu, nav nepieciešami arī ilgi reakcijas laiki. Sonoķīmija nodarbojas ar ķīmisko reakciju realizāciju apstākļos, kas nodrošina reaģējošo vielu maisījuma apstrādi spēcīgā ultraskaņas laukā (20 KHz – 10 MHz). Fizikālā parādība, kas ir sonoķīmisko procesu pamatā, ir saistīta ar akustisko kavitāciju. Galvenie procesi, kas norit ultraskaņas apstrādes laikā, ir nanoizmēra burbuļu veidošanās šķīdumā, to augšana un sabrukums. Burbuļu sabrukuma laikā tiek sasniegta 500–25000 K temperatūra. Šādas temperatūras ir pietiekamas, lai sarautu šķīdumā izšķīdušo vielu ķīmiskās saites. Literatūrā atrodamās ziņas liecina, ka ultraskaņas apstrādes laikā izveidojušās nanoizmēra nanodaļiņas veido homogēnu pārklājumu uz poliestera auduma šķiedrām [35].

Parasti starp neorganiskām daļiņām un polimērmateriālu nenotiek mijiedarbība, tādēļ ar nanodaļiņām apstrādātā virsma nav noturīga, it īpaši pret mazgāšanu. Šī iemesla dēļ tāpēc daudzi pētījumi veltīti tieši daļiņu stabilizēšanai uz tekstilmateriāla. Daļiņu stabilizēšanai uz virsmas ir nepieciešami daudzpakāpju procesi, piemēram, funkcionalizācija, gala apstrāde, žāvēšana, cietināšana, u. c. Šobrīd virsmas stabilizēšanai vēl ir pārāk augstas izmaksas un tā ir pārāk laikietilpīga, lai varētu to ieviest plašā produktu ražošanā. Piemēram, poliestera virsmas apstrādei var izmantot apstarošanu ar UV gaismu, kas veicina dažu radikāļu grupu veidošanos, kas saistās ar neorganiskajām nanodaļiņām; var izmantot arī polisiloksāna šķīdumu, kas ne tikai saista daļiņas, bet arī nodrošina antibakteriālas īpašības [36]; vēl var izmantot askorbīnskābi, kas ir ne tikai dabisks antioksidants, bet arī spontāns, reducējošs aģents, kas novērš daļiņu oksidēšanos [37].

### C. Pašattīrošu audumu izveide Latvijā

Rīgas Tehniskās universitātes Dizaina tehnoloģiju institūta darbinieki kopš 2011. g. ir mēģinājuši modificēt kokvilnas audumu ar Zn un Si saturošiem savienojumiem [38]–[45]. Izmantojot sola-gēla tehnoloģiju, apstrādāja kokvilnas audums, galvenokārt ar cinka acetāta dihidrātu (divās publikācijās arī ar cinka sultātu [39], [40]) un tetraetoksasilānu. Iegūtie pārklājumi sākotnēji pētīti ar skenējošās elektronu mikroskopijas (SEM) un rentgenstaru enerģijas dispersijas spektroskopijas palīdzību, lai noskaidrotu to morfoloģiju un pārklājuma ķīmisko sastāvu [38]–[41]. Noskaidrots, ka ar sistēmas ZnO-SiO<sub>2</sub> pārklājumiem, kas iegūti pēc iepriekšējos darbos aprakstītajām sola ieguves metodēm [38–41], ir iespējams uzlabot UV aizsardzības spēju kokvilnas audumam [42], kā arī iegūt hidrofobus [43] un antimikrobiālus kokvilnas audumus [44].

Minētajos pētījumos tika veikta amorfu pārklājumu iegūšana hidrofobitātes palielināšanai [43]. Taču, nevienā no publikācijām nav apskatīta fotokatalītiskā aktivitāte, kas varētu piemist audumiem, pateicoties iespējamajai ZnO klātbūtnei, kā arī nav pieejami rentgenstaru difrakcijas dati, kas parādītu uz šķiedru virsmas iegūtā pārklājuma mineraloģisko sastāvu. Lai gan tiek uzsvērts, ka iegūti ZnO nanodaļiņu pārklājumi, nav rezultātu, kas pierādītu ZnO nanodaļiņu klātbūtni [38–45]. Visos pieejamajos darbos tika izmantota viena sola-gēla sintēzes shēma, kas balstās uz tetraetoksasilāna hidrolīzi spirta šķīdumos. Tā kā izmantotais kokvilnas audums ar veidoto pārklājumu nevar tikt ilgstoši apstrādāts temperatūrās, kas augstākas par 100–120 °C, izmantotā sintēzes shēma ļāva iegūt tikai amorfus, polimērveida pārklājumus. Daļiņveida solu ieguve ūdens šķīdumos ļautu iegūt kristālisku oksīdu nanodaļiņu veidus pārklājumus ar potenciāli labākām īpašībām un līdzīgu noturību pret mazgāšanu. Šeit arī der pieminēt, ka ar sola-gēla metodi ir iespējams

uz auduma iegūt pārklājumus, kas sastāv no kristāliskām ZnO un TiO<sub>2</sub> nanodaļiņām [46], [47]. Literatūrā ir pieejamie dati liecina, ka kokvilnas pārklājumiem, kas veidoti no amorfa SiO<sub>2</sub>, piemīt arī ļoti labas hidrofoobās īpašības, kas Zn prekursora lietošanu padara lieku [48], [49].

Publicētie rentgenstaru enerģijas dispersijas spektroskopijas analīžu rezultāti arī parāda, ka pārklājumi satur F jonus [38]–[41], [44]. Tas liecina par fluorīdu, tai skaitā iespējamu fluorūdeņražskābes klātbūtni. Tā nav vēlama materiālos, kas ir tiešā kontaktā ar cilvēka ādu. Pēc darbos publicētā sintēzes apraksta var spriest, ka šo problēmu varētu vienkārši novērst, fluorūdeņražskābes vietā lietojot hlorūdeņražskābi vai slāpekļskābi.

Vēl jāatzīmē nesen publicēts darbs, kas veltīts kokvilnas un lina šķiedru modifikācijai [45]. Šī raksta autori nepiekrīt apgalvojumam, ka skenējošās elektronu mikroskopijas (SEM) rezultāti liecina par pārklāto šķiedru nanolīmeņa raupjainību. Publicēto SEM attēlu palielinājums (2.–5. att. [50]) padara šādu apgalvojumu neiespējamu.

Jāatzīmē Dizaina tehnoloģiju institūtā veiktie pētījumi, kas raksturo tekstilmateriālu parametrus [38]–[41], [50]. Atzinību pelna arī veiktie mikrobioloģiskie testi [44], kas parāda, ka apstrādātiem audumiem var būt arī biocīda iedarbība.

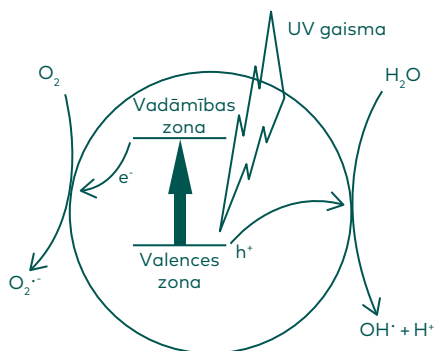
### III. Mūsdienu pašattīrošu audumu darbības mehānismi

Par materiāla pašattīrīšanos sauc tā spēju mitruma vai ūdens klātbūtnē pašattīrīties, atgrūžot, vai fizikāli ķīmisku procesu rezultātā sadalot netīrumus, kas nokļuvuši uz tā virsmas. Pašattīrīšanās process norisinās pateicoties materiāla virsmas mikro- un nanostruktūras īpatnībām un tā mijiedarbībai ar ārējiem vides faktoriem. Šī spēja parasti izpaužas kā viena vai vairāku materiālam esošu īpašību kombinācija. Galvenie pašattīrīšanos vadošie mehānismi ir fotokatalīze, superhidrofobitāte un superhidrofilītāte. Pašattīrošo audumu darbības mehānismi balstās uz fotokatalīzi, superhidrofobitāti vai arī abiem mehānismiem reizē [6].

#### A. Fotokatalīze

Svarīga īpašība pašattīrošiem materiāliem ir fotokatalītiskā aktivitāte [23]. Definīcija šim procesam ir vienkārša – to var aprakstīt šādi: gaismai krītot uz puvadītāja materiālu, fotoni, kam ir pietiekoši liela enerģija, izraisa elektrona pāreju no valences un vadāmības zonu, atstājot aiz sevis caurumu. Lielākā daļa šādu elektronu-caurumu pāru (kas fizikā tiek apskatīti kā kvazidaļiņas ar nosaukumu eksitoni) lielākoties

Pašattīroši audumi:  
kas tie ir un kāpēc  
tādi nepieciešami?



2. att. Fotokatalīzes darbības princips [51].

rekombinējas. Taču daļa no šiem eksitoniem var mijiedarboties ar uz pusvadītāja daļiņas virsmas esošajām ūdens un skābekļa molekulām, un tā rezultātā rodas reaktīvi skābekļa radikāļi (*reactive oxygen species* jeb ROS). ROS ir spējīgi iesaistīties radikāļu reakcijās ar organiskām molekulām. Rezultāts ir šo organisko molekulu sadalīšanās, iegūstot atsevišķu elementu oksīdus ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ , utt.). Šāda veida darbības mehānisms pašattīrošām virsmām parādīts 2. att. [51].

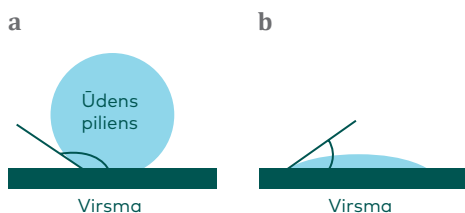
Fotokatalītiskā aktivitāte ir viena no mūsdienās visplašāk pētītākajām materiālu īpašībām. Galvenie materiāli, kas tiek pētīti šajā jomā ir  $\text{ZnO}$  un  $\text{TiO}_2$ , galvenokārt cīnīta un anatāza kristāliskajās fāzēs. No šiem abiem materiāliem anatāzs izceļas ar savām lieliskajām fotokatalītiskajām īpašībām. Diemžēl anatāza aizliegtās zonas platums ir  $\sim 3,2$  eV. Tas nozīmē, ka tā fotokatalītiskās īpašības izpaužas tikai apstarojot to ar UV gaismu. Līdzīga problēma ir  $\text{ZnO}$ . Viens veids kā zinātnieki cenšas šo problēmu risināt ir šo oksīdu dopēšana jeb legēšana ar citiem katjoniem, kas šo oksīdu aizliegtajā zonā ieviestu donor- vai akceptorlīmeņus, kas samazinātu samazinātu aizliegtās zonas platumu materiālam. Problēma ar šādu legēšanu ir stabilitāte un Red/Oks potenciāla samazinājums, kas rodas, ieviedot papildus enerģijas līmeņus aizliegtajā zonā. Pārlietu sašaurinot aizliegto zonu, var rasties situācija, ka materiāla Red/Oks potenciāls ir pārāk mazs, lai spētu radīt radikāļus. Līdz ar to pazūd fotokatalītiskā aktivitāte [52].

Stabilitāte arī ir problēma, it īpaši anatāza gadījumā. Iemesls tam ir tas, ka anatāzs ir metastabila fāze. No visām  $\text{TiO}_2$  kristāliskajām modifikācijām vienīgā, kas ir stabila istabas temperatūrā, ir rutilis. Bet rutilam ir daudz sliktākas fotokatalītiskās īpašības, salīdzinot ar anatāzu [53].

## B. Superhidrofobitāte

Jebkurš šķidrums veidos pilienu, nonākot kontaktā ar kādu virsmu. Leņķi, ko piliens veido ar gludu virsmu, sauc par slapināšanas leņķi. Tā noteikšana parādīta 3. att. Ja šķidrums, kas tiek pilināts uz virsmas, ir





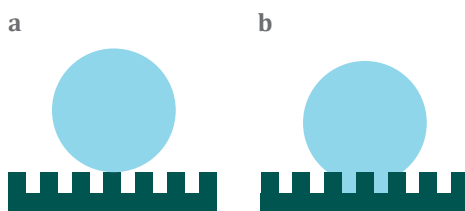
3. att. Virsmas slapināšana hidroforu un hidrofilu virsmu gadījumā.

ūdens un šis leņķis ir lielāks par  $150^\circ$ , tad šādu virsmu sauc par superhidroforu. Dabā ir sastopami daudzi augi, kuru lapām piemīt šāda īpašība. Plaši izmantots piemērs ir lotosa auga lapa, uz kuras nonākušais ūdens saveļas pilienos un noslīd nost [54].

Šādu efektu materiāli iegūst, pateicoties to virsmas struktūrai. Lotosa lapas virsmā ir klāta ar mikro- un nanoizmēra struktūrām. Šīs struktūras padara ūdens savelšanos pilienā par enerģētiski izdevīgāko stāvokli.

Pilienam atrodoties uz superhidrofobas virsmas, tas var būt 2 savstarpēji konkurējošos stāvokļos: Kesija (*Cassie*) stāvoklī un Venzela (*Wenzel*) stāvoklī. Atšķirība starp šiem 2 stāvokļiem parādīta 4. att.

Atšķirība starp abiem modeļiem ir vienkārša. Kesija modelī piliena virsmā atbalstās pret struktūrām, arī zem piliena ir gaisa kabatas, un šķietamais slapināšanas leņķis ir lielāks. Venzela modelī piliena virsmā ir pārdurta, un spraugas starp virsmas struktūrām ir aizpildītas ar ūdeni. Piliens it kā "iegrimst" virsmā, un šķietamais slapināšanas leņķis ir mazāks nekā, ja piliens atrastos uz strukturētas virsmas [54].

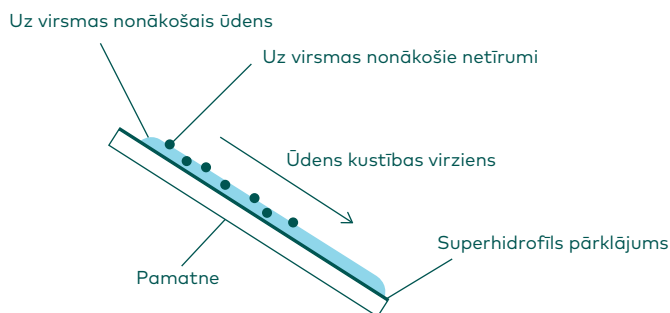


4. att. Superhidrofobu virsmu a) Kesija modelis; b) Venzela modelis [54].

## B. Superhidrofilītāte

Superhidrofilītāte ir pretējs efekts superhidroforitātei – ūdens ideāli slapina virsmu un piliens uz tās izplūst vienmērīgā plēvētē. Ja virsmā, uz kuras atrodas šāds pārklājums, ir slīpa, tad ūdens notecēs nost, vienlaicīgi noņemot uz virsmas esošos putekļus vai citas cietās daļiņas. Šāda situācija ir parādīta 5. att. Savukārt audumiem šāds efekts ir nevēlams vienkāršu iemeslu dēļ: superhidrofils audums, nonākot kontaktā ar ūdeni, acumirkļi saslapinātos (tīra kokvilna tā arī uzvedas) un to uzsūktu. Bet superhidrofobs audums ilgstoši paliktu sauss, arī nonākot saskarsmē ar ūdeni.

Pašattīroši audumi:  
kas tie ir un kāpēc  
tādi nepieciešami?

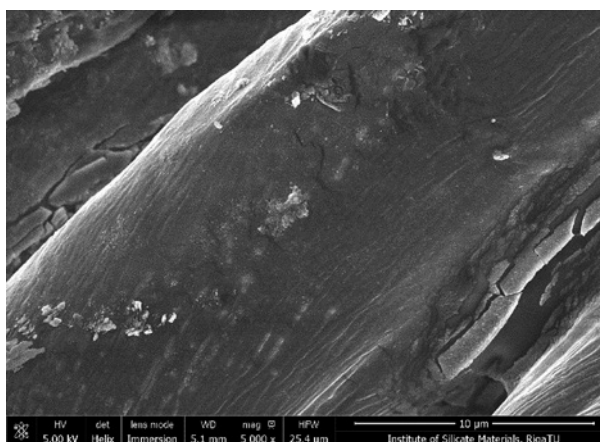


5. att. Superhidrofīlas virsmas pašattīrošo īpašību princips [6].

#### IV. Silikātu materiālu institūtā veiktie pētījumi pašattīrošu audumu izstrādē

2015. g. rudenī Rīgas Tehniskās universitātes Silikātu materiālu institūtā uzsākti pētījumi audumu modificēšanā, izmantojot nanodaļiņas. Pirmajos pētījumos veiksmīgi iegūti kokvilnas audumi, kas UV gaismā uzrādīja fotokatalītisku aktivitāti. Šie audumi bija pārklāti ar anatāza nanodaļiņām, kas sintezētas ar zemtemperatūras sola-gēla metodi [55]. Pašlaik pētījumi tiek turpināti, veidojot arī ZnO nanodaļiņu pārklājumus uz kokvilnas, kā arī mēģinot uzlabot anatāza nanodaļiņu pārklājumus, pakļaujot audumu dažādām priekšapstrādes un pēcapstrādes metodēm, kas manāmi ietekmē rezultējošo fotokatalītisko aktivitāti. Papildus tiek pētīta arī sintētisko audumu modificēšana ar šādiem pārklājumiem.

Iegūtie pārklājumi piešķir audumam fotokatalītiskas īpašības un superhidrofobitāti, audumam ļaujot atgrūst ūdeni neierobežoti ilgi no



6. att. Modificētas kokvilnas šķiedras attēls, iegūts izmantojot augstas izšķirtspējas lauka emisijas skenējošo elektronu mikroskopiju.

auduma virsmas. Tas paver iespējas aktīvās atpūtas cienītāju apģērbu padarīt daudz grūtāk sasalpināmu un grūtāk nosmērējamu. Turklāt viss ūdens, kas nonāktu uz apģērba virsmas, ļautu notīrīt uz tā esošos netīrumus.

Šajā jomā RTU Silikātu, augsttemperatūras un neorganisko nanomateriālu tehnoloģijas katedrā izstrādāts viens bakalaura un divi maģistra darbi.

## V. Kopsavilkums

Pašattīroši audumi ir mūsdienās augošs zinātnes lauks, kurā publicēto rakstu skaits ar katru gadu aug. Galvenie materiāli, kas tiek izmantoti šādu audumu iegūšanai, ir  $\text{TiO}_2$  un  $\text{ZnO}$ , un biežāk modificētais audums ir kokvilna. Pašattīroši materiāli darbojas uz 3 dažādu mehānismu pamata: superhidrofobitātes, superhidrofilitātes un fotokatalītiskās aktivitātes. No šiem 3 mehānismiem pašattīroši audumi izmanto fotokatalīzi un superhidrofobitāti.

Latvijā pašattīrošus audumus ir pētījuši mūsu kolēģi Rīgas Tehniskās universitātes Dizaina tehnoloģiju institūtā. Viņi pētīja galvenokārt Si un Zn savienojumu veidotos pārklājumus. Mēs Silikātu materiālu institūtā esam veikuši pētījumus  $\text{ZnO}$  un  $\text{TiO}_2$  pārklājumu iegūšanā gan uz kokvilnas, gan arī uz poliestera audumiem. Rezultāti ir prezentēti starptautiskajā konferencē *Functional Materials and Nanotechnologies 2017*, par šīm tēmām ir uzrakstīts bakalaura un 2 maģistra darbi.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] P. M. Hawkey, "The origins and molecular basis of antibiotic resistance," *BMJ*, vol. 317, no. 7159, pp. 657–660, Sep. 1998. <https://doi.org/10.1136/bmj.317.7159.657>
- [2] J. Allen, "Ultraviolet Radiation: How It Affects Life on Earth," *earthobservatory.nasa.gov*, Sep. 2, 2001. [Online]. Available: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/UVB/>. [Accessed: May 1, 2017].
- [3] M. Carlowicz, "New Simulation Shows Consequences of a World Without Earth's Natural Sunscreen," *nasa.gov*, Mar. 18, 2009 [Online]. Available: [https://www.nasa.gov/topics/earth/features/world\\_avoided.html](https://www.nasa.gov/topics/earth/features/world_avoided.html). [Accessed: May 1, 2017].
- [4] J. Hu, *Active coatings for smart textiles*. Amsterdam, the Netherlands: Woodhead Publishing, 2016.
- [5] M. M. G. Fouda, "Antibacterial Modification of Textiles Using Nanotechnology," in *A Search for Antibacterial Agents*, Sep. 2012. <https://doi.org/10.5772/45653>

- [6] M. F. Ashby, P. J. Ferreira, and D. L. Schodek, *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design*. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, 2009. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-8149-0.x0001-3>
- [7] D. Staneva, D. Atanasova, E. Vasileva-Tonkova, V. Lukanova, and I. Grabchev, "A cotton fabric modified with a hydrogel containing ZnO nanoparticles. Preparation and properties study," *Applied Surface Science*, vol. 345, pp. 72–80, Aug. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.03.141>
- [8] L. Lopez, W. A. Daoud, and D. Dutta, "Preparation of large scale photocatalytic TiO<sub>2</sub> films by the sol-gel process," *Surface and Coatings Technology*, vol. 205, no. 2, pp. 251–257, Oct. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.06.028>
- [9] H. E. Emam, A. P. Manian, B. Široká, H. Duelli, P. Merschak, B. Redl, and T. Bechtold, "Copper(I)oxide surface modified cellulose fibers—Synthesis, characterization and antimicrobial properties," *Surface and Coatings Technology*, vol. 254, pp. 344–351, Sep. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.06.036>
- [10] I. Perelshtein, G. Applerot, N. Perkas, E. Wehrschoetz-Sigl, A. Hasmann, G. Guebitz, and A. Gedanken, "CuO–cotton nanocomposite: Formation, morphology, and antibacterial activity," *Surface and Coatings Technology*, vol. 204, no. 1–2, pp. 54–57, Sep. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.06.028>
- [11] Y. L. Lam, C. W. Kan, and C. W. M. Yuen, "Effect of metal oxide on antimicrobial finishing of cotton fabric," *BioResources*, vol. 7, no. 3, pp. 3960–3983, 2012.
- [12] B. Xu, Z. Cai, W. Wang, and F. Ge, "Preparation of superhydrophobic cotton fabrics based on SiO<sub>2</sub> nanoparticles and ZnO nanorod arrays with subsequent hydrophobic modification," *Surface and Coatings Technology*, vol. 204, no. 9–10, pp. 1556–1561, Jan. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.09.086>
- [13] R. Dastjerdi and M. Montazer, "A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on antimicrobial properties," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 79, no. 1, pp. 5–18, Aug. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.03.029>
- [14] W. A. Daoud and J. H. Xin, "Nucleation and Growth of Anatase Crystallites on Cotton Fabrics at Low Temperatures," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 87, no. 5, pp. 953–955, May 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2004.00953.x>
- [15] M. Montazer and E. Pakdel, "Functionality of nano titanium dioxide on textiles with future aspects: Focus on wool," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 12, no. 4, pp. 293–303, Dec. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2011.08.005>
- [16] E. Pakdel, W. A. Daoud, L. Sun, and X. Wang, "Photostability of wool fabrics coated with pure and modified TiO<sub>2</sub> colloids," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 440, pp. 299–309, Feb. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.10.032>
- [17] M. Radetić, "Functionalization of textile materials with TiO<sub>2</sub> nanoparticles," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry*

- Reviews*, vol. 16, pp. 62–76, Sep. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2013.04.002>
- [18] M. I. Mejía, J. M. Marín, G. Restrepo, C. Pulgarín, E. Mielczarski, J. Mielczarski, Y. Arroyo, J.-C. Lavanchy, and J. Kiwi, “Self-cleaning modified TiO<sub>2</sub>-cotton pretreated by UVC-light (185nm) and RF-plasma in vacuum and also under atmospheric pressure,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 91, no. 1–2, pp. 481–488, Sep. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.06.017>
- [19] A. Bozzi, T. Yuranova, I. Guasaquillo, D. Laub, and J. Kiwi, “Self-cleaning of modified cotton textiles by TiO<sub>2</sub> at low temperatures under daylight irradiation,” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 174, no. 2, pp. 156–164, Aug. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2005.03.019>
- [20] O. Galkina, “Functional hybrid bionanomaterials based on titanium dioxide and cellulose, possessing antibacterial and drug delivery properties,” licentiate thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 2015.
- [21] K. T. Meilert, D. Laub, and J. Kiwi, “Photocatalytic self-cleaning of modified cotton textiles by TiO<sub>2</sub> clusters attached by chemical spacers,” *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 237, no. 1–2, pp. 101–108, Aug. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2005.03.040>
- [22] R. N. Wijesena, N. D. Tissera, R. Perera, K. M. Nalin de Silva, and G. A. J. Amaratunga, “Slightly carbomethylated cotton supported TiO<sub>2</sub> nanoparticles as self-cleaning fabrics,” *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 398, pp. 107–114, Mar. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2014.11.012>
- [23] Kaihong Qi, Xiaowen Wang, and J. H. Xin, “Photocatalytic self-cleaning textiles based on nanocrystalline titanium dioxide,” *Textile Research Journal*, vol. 81, no. 1, pp. 101–110, Nov. 2010. <https://doi.org/10.1177/0040517510383618>
- [24] M. Abid, S. Bouattour, D. S. Conceição, A. M. Ferraria, L. F. Vieira Ferreira, A. M. Botelho do Rego, M. R. Vilar, and S. Boufi, “Hybrid cotton-anatase prepared under mild conditions with high photocatalytic activity under sunlight,” *RSC Advances*, vol. 6, no. 64, pp. 58957–58969, 2016. <https://doi.org/10.1039/c6ra10806g>
- [25] O. V. Abramov, A. Gedanken, Y. Koltypin, N. Perkas, I. Perelshtein, E. Joyce, and T. J. Mason, “Pilot scale sonochemical coating of nanoparticles onto textiles to produce biocidal fabrics,” *Surface and Coatings Technology*, vol. 204, no. 5, pp. 718–722, Dec. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.09.030>
- [26] Ş. S. Uğur, M. Sarıışık, A. H. Aktaş, M. Ç. Uçar, and E. Erden, “Modifying of Cotton Fabric Surface with Nano-ZnO Multilayer Films by Layer-by-Layer Deposition Method,” *Nanoscale Research Letters*, vol. 5, no. 7, pp. 1204–1210, May 2010. <https://doi.org/10.1007/s11671-010-9627-9>
- [27] H. Gaminian and M. Montazer, “Enhanced Self-Cleaning Properties on Polyester Fabric Under Visible Light Through Single-Step Synthesis of Cuprous Oxide Doped Nano-TiO<sub>2</sub>,” *Photochemistry and Photobiology*, vol. 91, no. 5, pp. 1078–1087, Jul. 2015. <https://doi.org/10.1111/php.12478>

- [28] A. Ojstršek, K. S. Kleinschek, and D. Fakin, "Characterization of nano-sized TiO<sub>2</sub> suspensions for functional modification of polyester fabric," *Surface and Coatings Technology*, vol. 226, pp. 68–74, Jul. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.03.037>
- [29] D. Fakin, K. Stana Kleinschek, M. Kurečić, and A. Ojstršek, "Effects of nanoTiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> on the hydrophilicity/dyeability of polyester fabric and photostability of disperse dyes under UV irradiation," *Surface and Coatings Technology*, vol. 253, pp. 185–193, Aug. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.05.035>
- [30] H. Gaminian and M. Montazer, "Simultaneous nano TiO<sub>2</sub> sensitization, application and stabilization on polyester fabric using madder and NaOH producing enhanced self-cleaning with hydrophilic properties under visible light," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 332, pp. 158–166, Jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2016.08.022>
- [31] D. Mihailović, Z. Šaponjić, M. Radoičić, T. Radetić, P. Jovančić, J. Nedeljković, and M. Radetić, "Functionalization of polyester fabrics with alginates and TiO<sub>2</sub> nanoparticles," *Carbohydrate Polymers*, vol. 79, no. 3, pp. 526–532, Feb. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.08.036>
- [32] M. Radetić, "Functionalization of textile materials with TiO<sub>2</sub> nanoparticles," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 16, pp. 62–76, Sep. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2013.04.002>
- [33] D. Pasqui and R. Barbucci, "Synthesis, characterization and self cleaning properties of titania nanoparticles grafted on polyester fabrics," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 274, pp. 1–6, Jan. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2013.08.017>
- [34] T. Harifi and M. Montazer, "A review on textile sonoprocessing: A special focus on sonosynthesis of nanomaterials on textile substrates," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 23, pp. 1–10, Mar. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.022>
- [35] T. Harifi and M. Montazer, "A robust super-paramagnetic TiO<sub>2</sub>:Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>:Ag nanocomposite with enhanced photo and bio activities on polyester fabric via one step sonosynthesis," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 27, pp. 543–551, Nov. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.04.008>
- [36] R. Dastjerdi, M. Montazer, and S. Shahsavan, "A new method to stabilize nanoparticles on textile surfaces," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 345, no. 1–3, pp. 202–210, Aug. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.05.007>
- [37] Z. Komeily-Nia, M. Montazer, and M. Latifi, "Synthesis of nano copper/nylon composite using ascorbic acid and CTAB," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 439, pp. 167–175, Dec. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.03.003>
- [38] S. Vihodceva and S. Kukle, "Natural Textile Surface Modification Using Sol-Gel Technique," *Material Science*, vol. 6, pp. 6–11, 2011.

- [39] S. Vihodceva and S. Kukle, "Thin Coatings on the Raw Cotton Textile Deposited by the Sol-Gel Method," *Material Science*, vol. 7, pp. 69–73, 2012.
- [40] S. Vihodceva and S. Kukle, "Cotton Fabric Surface Modification by Sol-Gel Deposition of ZnO Thin Films," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 38, p. 012022, Aug. 2012. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/38/1/012022>
- [41] S. Vihodceva and S. Kukle, "Cotton textile surface investigation before and after deposition of the ZnO coating by sol-gel method," *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2013.
- [42] S. Vihodceva and S. Kukle, "Improvement of UV Protection Properties of the Textile from Natural Fibres by the Sol-gel Method," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 49, p. 012022, Dec. 2013. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/49/1/012022>
- [43] S. Vihodceva, S. Kukle, and J. Bitenieks, "Durable hydrophobic sol-gel finishing for textiles," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 77, p. 012023, Mar. 2015. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/77/1/012023>
- [44] S. Vihodceva, S. Kukle, and O. Muter, "Antimicrobial Properties of the Modified Cotton Textiles by the Sol-Gel Technology," *Advanced Materials Research*, vol. 1117, pp. 213–216, Jul. 2015. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1117.213>
- [45] Z. Zelca, S. Vihodceva, and S. Kukle, "Sol-gel coating processing optimization for natural fibres," *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol. 66, 4, pp. 467–472, 2017. <https://doi.org/10.3176/proc.2017.4.25>
- [46] B. Xu and Z. Cai, "Fabrication of a superhydrophobic ZnO nanorod array film on cotton fabrics via a wet chemical route and hydrophobic modification," *Applied Surface Science*, vol. 254, no. 18, pp. 5899–5904, Jul. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.03.160>
- [47] M. J. Uddin, F. Cesano, F. Bonino, S. Bordiga, G. Spoto, D. Scarano, and A. Zecchina, "Photoactive TiO<sub>2</sub> films on cellulose fibres: synthesis and characterization," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 189, no. 2–3, pp. 286–294, Jun. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2007.02.015>
- [48] Y. Kotani, A. Matsuda, M. Tatsumisago, T. Minami, T. Umezawa, and T. Kogure, "Formation of anatase nanocrystals in sol-gel derived TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> thin films with hot water treatment," *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, vol. 19, no. 1–3, pp. 585–588, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1008709210723>
- [49] E. Pakdel and W. A. Daoud, "Self-cleaning cotton functionalized with TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>: Focus on the role of silica," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 401, pp. 1–7, Jul. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.03.016>
- [50] V. Mečņika, M. Hoerr, A. Schwarz, and I. Krieviņš, "Smart textiles for healthcare: applications and technologies," In Proc. 7th International

- Scientific Conference "Rural Environment. Education. Personality", 2014, pp. 7–8.
- [51] V. Etacheri, C. Di Valentin, J. Schneider, D. Bahnemann, and S. C. Pillai, "Visible-light activation of TiO<sub>2</sub> photocatalysts: Advances in theory and experiments," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 25, pp. 1–29, Dec. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2015.08.003>
- [52] J. Wen, X. Li, W. Liu, Y. Fang, J. Xie, and Y. Xu, "Photocatalysis fundamentals and surface modification of TiO<sub>2</sub> nanomaterials," *Chinese Journal of Catalysis*, vol. 36, no. 12, pp. 2049–2070, Dec. 2015. [https://doi.org/10.1016/s1872-2067\(15\)60999-8](https://doi.org/10.1016/s1872-2067(15)60999-8)
- [53] J. Zhang, P. Zhou, J. Liu, and J. Yu, "New understanding of the difference of photocatalytic activity among anatase, rutile and brookite TiO<sub>2</sub>," *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 16, no. 38, pp. 20382–20386, Aug. 2014. <http://dx.doi.org/10.1039/C4CP02201G>
- [54] P. Papadopoulos, L. Mammen, X. Deng, D. Vollmer, and H.-J. Butt, "How superhydrophobicity breaks down," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, no. 9, pp. 3254–3258, Feb. 2013. <https://doi.org/10.1073/pnas.1218673110>
- [55] R. Eglītis and G. Mežinskis, "Comparison of treatments of a cotton fabric modified with a low-temperature TiO<sub>2</sub> coating," *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol. 66, no. 4, p. 473, 2017. <https://doi.org/10.3176/proc.2017.4.21>

**Raivis Eglītis**, *Bc. sc. ing.* (2016. g.), Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Silikātu materiālu institūta zinātniskais asistents. Viņa zinātniskās intereses saistītas ar pusvadītāju materiālu fotokatalītiskās aktivitātes pētījumiem, kā arī ar eksperimentālo datu lietojumu matemātiskai simulācijai, nolūkā optimizēt eksperimentālo datu interpretāciju.

E-pasts: raivis.eglitis\_1@rtu.lv

ORCID: 0000-0002-6134-2624

**Gundars Mežinskis**, *Dr. habil. sc. ing.* (1998. g.), Rīgas Tehniskās universitātes profesors (2000. g.), RTU Silikātu materiālu institūta direktors (2000. g.) un Silikātu, augsttemperatūras un neorganisko nanomateriālu tehnoloģijas katedras vadītājs (2007. g.). Viņš ir 248 zinātnisko publikāciju autors, kā arī daudzu bakalaura, maģistra un doktora disertāciju zinātniskais vadītājs.

E-pasts: gundars.mezinskis@rtu.lv

ORCID: 0000-0002-6030-4247

**Ieva Buiķe**, *Mg. sc. ing.* (2014. g.), Rīgas Tehniskās universitātes Silikātu, augsttemperatūras un neorganisko nanomateriālu tehnoloģijas katedras doktorante. Viņas interešu lokā ietilpst tekstilmateriālu modifikācija ar oksīdu nanodaļiņām un sola-gēla tehnoloģijas izmantošana plāno kārtiņu ieguvei.

E-pasts: ieva.buik@gmail.com



## Self-Cleaning Fabrics: What Are They and How Are They Used?

**Keywords:** self-cleaning fabrics, sol-gel method, TiO<sub>2</sub>, ZnO.

Self-cleaning fabrics are textile materials, which under the influence of various external environmental factors have the ability to rid their surface from various contaminants. Such fabrics make it possible to reduce water and energy consumption associated with washing clothes, to reduce the risk of infections due to their biocidal properties, and to protect people from UV radiation. In addition, such fabrics would also be more difficult to wet. This would reduce the possibility of wet clothes in damp climates. Such effects by self-cleaning fabrics could be achieved through mechanisms of photocatalysis and superhydrophobicity. To develop textiles with above mentioned properties, the most suitable approach is the deposition of coatings formed by ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles. In turn, the sol-gel method should be used to obtain coatings. This would make it possible to create homogeneous coatings at temperatures that organic materials can withstand. Institute of Design Technologies, Riga Technical University, has been working on the development of such fabrics since 2011. The research in the field of such coatings at the Institute of Silicate Materials, Riga Technical University, has been performed since 2016. Thanks to decades long research in sol-gel technology and nanostructured coatings, the development of commercially available technologies for cotton fabrics has been successfully launched at the Institute of Silicate Materials.