

M. Somogyi Škoc*

SOL-GEL PREVLAKE ZA ANTISTATIČNU ZAŠTITU TEKSTILIJA

UDK 677:678.6.02
PRIMLJENO: 20.4.2012.
PRIHVAĆENO: 5.6.2012.

SAŽETAK: Sol-gel postupak jedan je od novih i potpuno drugačijih pristupa u površinskoj modifikaciji tekstilnih materijala, te se smatra jednim od najvažnijih otkrića znanosti o materijalima i inženjerstva materijala posljednjih desetljeća. U području tekstilne tehnologije sol-gel postupak pruža velike mogućnosti u pogledu osmišljavanja i stvaranja novih površinskih svojstava tekstilija s obzirom na prilagodljivost i postizanje ciljanih modifikacija kombiniranjem različitih anorganskih i organskih polaznih materijala. Takve kombinacije mogu rezultirati potpuno novim, višefunkcionalnim svojstvima tekstilija poput tekstilnih materijala za posebnu namjenu, tj. za zaštitu od statičkog elektriciteta. Takva modifikacija ima vrlo važno značenje budući da se njezinom uspješnom provedbom štiti najvrednije – ljudski život.

Ključne riječi: sol-gel postupak, modifikacija tekstilija, antistatična zaštita, zaštitni materijali

UVOD

Iz svakodnevnog života poznato je da mnoga tijela nakon trljanja privlače prašinu, komadiće papira, vlasi kose i druge lagane predmete. Vrlo često se opaža i osjeća iskrenje pri hodanju po tepisima ili tijekom skidanja odjeće. Riječ je o pojavi induciranja električnog naboja na površini koja se naziva statički elektricitet (*Martinis, 1993.*). Često se čuje da se ljudsko tijelo trljanjem elektriziralo. Ta pojava može se tumačiti time da se ljudsko tijelo u dodiru s odjevnim predmetom koji je nabijen statičkim elektricitetom ponaša kao vodič te se u njemu inducira naboj i tada dolazi do električnog pražnjenja koji se pojavljuje kao iskra koja pucketa ili se jednostavno osjeća pucketanje.

Nekada naboj može biti dovoljno velik da pražnjenje bude popraćeno opasnom iskrom, a to je iznimno opasna posljedica za osobu koja nosi taj naboj. Zato je vrlo važno kontrolirati neželjeni statički elektricitet u prostorima u kojima je ili može biti prisutna zapaljiva ili eksplozivna atmosfera. U takvim prostorima obvezna je uporaba osobne zaštitne opreme, a njezin odabir mora uvijek proizlaziti iz procjene rizika radnog mjesta. Ako je utvrđeno da je nužno nositi antistatička odijela koja imaju mogućnost provođenja statičkog elektriciteta, tada ona moraju biti izrađena prema zahtjevima norme HRN EN 1149-5. Elektrostatička otpornost zaštitne odjeće nužna je u prostorima gdje zbog prisutnosti plinova, para ili prašine može nastati zapaljiva ili eksplozivna atmosfera kao npr. u kemijskoj i petrokemijskoj industriji, kemijskim laboratorijima i dr., dok u finoj elektronskoj industriji od statičkog elektriciteta čovjeka treba zaštititi proizvod.

*Dr. sc. Maja Somogyi Škoc, dipl. ing., Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila (maja.somogyi@ttf.hr), Prilaz baruna Filipovića 28a, 10000 Zagreb.

Danas svaki radnik ima pravo na sigurno radno mjesto budući da vrlo strogo zakonodavstvo Europske unije (EU) zahtijeva od svih poslodavaca osiguravanje sigurnosti i zdravlja svojih radnika te poduzimanje svih potrebnih mjera za smanjenje rizika na radnim mjestima. Uporaba osobne zaštitne odjeće na radu u Republici Hrvatskoj regulirana je pomoću tri propisa:

1. Zakona o zaštiti na radu
2. Pravilnika o uporabi osobne zaštitne opreme
3. Pravilnika o stavljanju na tržište osobne zaštitne opreme.

Pravilnik o uporabi osobne zaštitne opreme donesen je na temelju EU direktive 89/656 o minimalnim zahtjevima koje mora ispunjavati osobno zaštitno sredstvo da bi ostvarilo svoju svrhu, a Pravilnik o stavljanju na tržište osobne zaštitne opreme donesen je temeljem Zakona o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenjivanju sukladnosti u koji je implementirana EU direktiva 89/686.

Glavni izvor statičkog elektriciteta nije tkanina, već ljudsko tijelo koje je u mogućnosti proizvesti napone i do 40 kV, a tada će nošenje elektrostatičke disipativne zaštitne odjeće pružiti preventivnu zaštitu od nastanka opasne iskre (Horvat, 2009.). O mehanizmu tvorbe statičkog elektriciteta na tekstilnim materijalima kao i o mogućnostima ispitivanja sklonosti tekstilija nabijanju statičkim elektricitetom, primjenom različitih metoda i postupaka pisala je R. Čunko (Čunko, 1988., 1995., 2000.). Problem nastajanja statičkog elektriciteta na tekstilu poznat je od početka masovne proizvodnje i primjene odjeće od umjetnih vlakana. Danas na tržištu postoji veći broj instrumenata, a metode ispitivanja su standardizirane. Razvojem metoda išlo se za tim da se sklonost tekstilija statičkom elektricitetu ocjenjuje odvojenim mjerenjem električnog otpora i količine naboja na materijalu. Danas norma HRN EN 1149 detaljno obrađuje elektrostatička svojstva zaštitne odjeće:

- Dio 1: Površinska otpornost,
- Dio 2: Metode mjerenja električnog otpora kroz materijal – vertikalni otpor,

- Dio 3: Metode ispitivanja disipacije naboja,
- Dio 4: Ispitivanja odjeće (u razvoju),
- Dio 5: Performanse materijala i zahtjeva na dizajn.

Prema navedenim normama zahtjevi za elektrostatički disipativni materijal su:

- $t_{50} < 4$ s ili $S > 0,2$ (HRN EN 1149-3, metoda 2) ili
- površinski otpor $\leq 2,5 \times 10^9 \Omega$ barem na jednoj od površina (HRN EN 1149-1).

gdje je t_{50} vrijeme polurasapa polja, a S zaštitni faktor koji se računa iz izraza $S = 1 - E_R/E_{\max}$ (E_R – maksimalna moć električnog polja s uloženim ispitnim uzorkom (kV), E_{\max} – maksimalna moć električnog polja bez uloženog uzorka - kV).

Zaštitna odjeća namijenjena za zaštitu od statičkog elektriciteta, tj. elektrostatička disipativna odjeća označava se u skladu sa zahtjevima norme HRN EN 340, odnosno piktogramom prikazanim na slici 1.



Slika 1. Piktogram zaštite od statičkog elektriciteta

Figure 1. Pictogram for protection against static electricity

Antistatična svojstva tekstilija prema najnovijoj podjeli razvrstavaju se prema ocjenama na temelju vrijednosti koje su određene prema D. Behru, a prikazane u Tablici 1 (Mahltig, Textor, 2008.).

Tablica 1. Ocjena antistatičnosti na temelju vrijednosti površinskog otpora

Table 1. Ranking for antistatic properties of textiles in correlation to surface resistance

Ocjena antistatičnosti	Površinski otpor R [Ω]
Izvršno	$< 5 \times 10^9$
Vrlo dobro	$5 \times 10^9 - 5 \times 10^{10}$
Zadovoljavajuće	$5 \times 10^{10} - 2,5 \times 10^{11}$
Nezadovoljavajuće	$> 2,5 \times 10^{11}$

Materijali različitog sirovinskog sastava pokazuju različita elektrostatička svojstva, a na njihovu sklonost nabijanju elektrostatičkim nabojem utječu: električna vodljivost, dielektričnost, broj, gustoća i čistoća dodirnih točaka dviju površina, promjene u strukturi materijala, temperaturna razlika između površina te čimbenici okoline (npr. vlažnost zraka, sadržaj iona u zraku i sl.); (Čunko, 1995.).

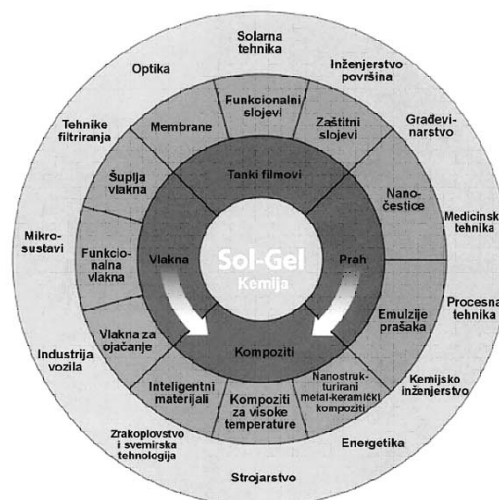
Površinski otpor tkanina znatno se razlikuje od površinskog otpora vlakana s obzirom na različite uvjete proizvodnje, doradu i slično. Glavni razlog za razliku u vrijednostima površinskog otpora tekstilnih materijala je količina vlage u njima. Apsolutno suhi materijali su dobri izolatori, a upijanjem vlage vodljivost im se povećava. Prema tome, niska otpornost površine prirodnih vlakana je posljedica vlage na površini polimera. Elektrostatički naboj relativno lako se odvodi s površine tekstilnih materijala od prirodnih vlakana visoke apsorbivnosti, dok male količine vlage na površini poliesterskih vlakana mogu izazvati stvaranje iskri. Napon koji se može postići na hidrofobnim materijalima je veći od 35 000 V (Schwab, 2007.). Ako se i odaberu tekstilni materijali zadovoljavajućih elektrostatičkih karakteristika, mora se paziti jer elektrostatički naboj uvelike ovisi o klimatskim uvjetima.

Svaka modifikacija, pa i sol-gel postupak, hidrofobna ili oleofobna dorada i sl. utjecat će na količinu vlage u tekstilnom materijalu. Pri vrijednostima površinskog otpora ispod 109 Ω nema stvaranja iskre, tj. tekstilija se više ne nabija statičkim elektricitetom, jer je pokretljivost elektrona, a time i električna vodljivost takva da omogućuje uspostavu električne neutralnosti materijala nakon prianjanja, pa razdvajanja (Mahltig, Textor, 2008.).

U novije vrijeme istraživanja statičkog elektriciteta u obliku njegova određivanja i uklanjanja vrlo su intenzivna, a što je povezano s razvojem novih tehnologija koje nastoje poboljšati antistatični tekstil, npr. sol-gel tehnika i anorgansko-hibridni polimeri, primjena nanočestica, primjena plazme i sl.

SOL-GEL POSTUPAK

Danas je u razvoju vrlo raširen sol-gel postupak koji omogućuje stvaranje materijala u obliku prašaka, vlakana, membrana, slojeva, kompozitnih struktura i drugih oblika materijala za raznolika područja daljnje primjene, od kemijskog inženjerstva, zrakoplovstva, svemirske tehnologije, optike, strojarstva do tekstilnog inženjerstva (slika 2); (Filetin, 2009.). Temeljna ideja istraživanja i razvoja organsko-anorganskih hibridnih materijala je postizanje kombinacije anorganskih i organskih dijelova na molekularnoj razini uz postizanje sinergijske kombinacije svojstva tipičnih za svaki sastavni dio.



Slika 2. Područja primjene sol-gel postupka

Figure 2. Application of the sol-gel process

Sol-gel postupak jedan je od novih i potpuno drugačijih pristupa u površinskoj modifikaciji tekstilnih materijala, ali i šire te se smatra jednim od najvažnijih otkrića znanosti o materijalima i inženjerstva materijala posljednjih desetljeća.

Sol-gel postupak pruža velike mogućnosti u pogledu osmišljavanja i stvaranja novih površinskih svojstava tekstilija (Tablica 2); (Somogyi i sur., 2011.). Istovremeno, primjena sola može se provesti tehnikama koje se inače upotrebljavaju u tekstilnoj industriji (npr. postupkom uranjanja ili fulardiranjem, odnosno fulardiranjem nakon čega slijedi toplinsko geliranje).

Tablica 2. Izabrani primjeri poboljšavanja nekih svojstva tekstilija primjenom sol-gel postupka**Table 2. Examples of the improvement of some textile properties by sol-gel process**

Primjena sol-gel postupka na tekstilu	
Tekstilna svojstva	pad tkanine, udobnost, opip, apsorptivnost, propusnost
Svojstva površine	vodo/uljeodbojnost, otpornost na habanje, (foto-)katalitička aktivnost, funkcija barijere
Optička svojstva	boja, fotokromatski učinak, UV - apsorpcija
(Bio-)aktivni sustavi	biocidne prevlake
Poboljšana svojstva	otpornost na toplinu, magnetska svojstva, električna vodljivost

Sol-gel postupak uključuje nastajanje anorganske mreže iz koloidne otopine (sol) preko geliranja sola do formiranja mreže u kontinuiranoj tekućoj fazi (gel). Koloidna otopina (sol) je otopina koja sadrži vrlo sitne čestice, promjera od 1 nm do 1 μ m, jednoliko suspendirane u tekućini. Gel je naprotiv koloidna suspenzija tekućine u krutini, pri čemu nastaje želatinasti materijal krući od sola. Za provođenje sol-gel postupka na funkcionalnoj razini važne su tri reakcije:

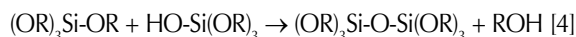
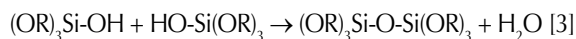
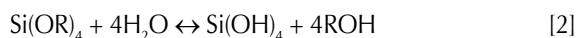
1. hidroliza,
2. kondenzacija alkohola,
3. kondenzacija vode.

Stoga možemo reći da sol-gel postupak u užem smislu obuhvaća reakcije hidrolize i kondenzacije metalnih alkoksida, pri čemu nastaje neprekinuta trodimenzijska metaloksidna mreža (Macan, 2006.).

Prekursor, tj. polazni materijal za sintezu tog sola sastoji se od atoma metala okruženih različitim reaktivnim ligandima (atomi vezani za centralni atom).

Metalni alkoksidi (organski spojevi koji se upotrebljavaju kao jake baze, a dobivaju se u reakcijama metala s alkoholom ili fenolom gdje se na atom kisika veže metal) su najčešći jer reagiraju s vodom. Stoga je prvi korak sol-gel sinteze hidroliza SiO-R veze [1], gdje je R najčešće alifatski lanac, a ovisno o količini vode i katali-

zatora, hidroliza može biti potpuna [2], praćena kondenzacijom uz izdvajanje vode [3] ili alkohola [4]; (Brinker, Scherer, 1990.):



Kada reakcija hidrolize započne, navedene reakcije teku jedna za drugom do nastanka gela. Time se ne zaustavlja sol-gel proces, budući da gel stari, odnosno grana se daljnjim stvaranjem Si-O-Si veza.

Osim silicijevih alkoksida, kao polazne tvari za pripremu gelova sol-gel postupkom koriste se organometalni spojevi drugih metala. To su prije svega metali iz skupine prijelaznih elemenata Ti, V, Zr te B i Al iz IIIB skupine periodnog sustava elemenata.

SOL-GEL PREVLAKE ZA ANTISTATIČNU ZAŠTITU

Na temelju pregledanih radova sol-gel postupak djeluje perspektivno u pogledu postizanja antistatičnih svojstava (*Xu i sur., 2005., Mahltig i sur., 2005., Mahltig, Textor, 2008.*). Kombinacijom antistatičnih dodataka i sol-gel postupka nastaju prevlake koji poboljšavaju trajnost i učinak dorade. Paralelno razvoju sredstava za postizanje antistatičnih svojstava tekstilija javlja se trend razvoja tekstilija koje provode elektricitet. Tako Coyle i sur. ističu važnost tekstila koji provodi elektricitet, a smatraju da je to onaj koji ima otpor manji od $10^3 \Omega$ (Coyle i sur., 2007.). U skladu s navedenim, sol-gel postupkom na tekstilijama može se postići:

1. antistatičnost (antistatični tekstilni materijali),
2. vodljivost (elektrovodljivi tekstil) i magnetizam (Mahltig, Textor, 2008.),
3. super-paramagnetizam (Mahltig, Textor, 2008.).

Da bi antistatična dorada mogla ispunjavati svoju zadaću, a to je zaštita uz što dulje razdoblje uporabe, ona mora imati odgovarajuću trajnost. Do sada konvencionalne antistatične dorade nisu pružale odgovarajuću trajnost te se dorada morala ponavljati nakon određenog broja ciklusa njege. Antistatični učinak, kako je prethodno objašnjeno, uglavnom je uzrokovan povećanjem unosa vlage raznim hidrofilnim prevlakama. Treba razlikovati tri vrste antistatičnih sol-gel prevlaka, i to:

- čiste anorganske prevlake, bez daljnjih organskih modifikacija (*Yoneda i sur., 1986., Terrier i sur., 1995.*),
- anorganske prevlake, modificirane fizičkom ugradnjom hidrofilnih organskih aditiva koji povećavaju vlažnost (tako su se najviše modificirali polimeri ili površine tekstilija); (*Matsushita i sur., 1990., Roth i sur., 1997.*),
- organsko-anorganske hibridne prevlake, s kemijski vezanim nabijenim ili hidrofilnim skupinama, npr. formirane od amonij ili aminoalkiltrialoksisilana (*Amberg-Schwab, 2003.*).

Čiste anorganske prevlake metalnih oksida obično ne povećavaju vodljivost površine jer pokazuju izolacijsko ponašanje. U literaturi su nađeni primjeri kombinacije TiO_2 i Al_2O_3 te prevlake SiO_2 , modificirane s alumosilikatima (*Yoneda i sur., 1986., Yamada i sur., 2004.*).

Za povećanje antistatičnog učinka sol-gel prevlaka preporuča se modifikacija karboksilnim kiselinama ili alkoholima. Isto tako za tekstilnu primjenu upotrebljava se sol pripremljen s neodimijevim nitratom. U tom slučaju, antistatični učinak postiže se ugradnjom neodimijevih kationa (Nd^{3+}) u mrežu kserogela (*Kissel, 1991.*). Čiste silicij-oksidge prevlake smanjuju površinski otpor, ali neznatno (Tablica 3); (*Mahlting, Textor, 2008.*).

Tablica 3. Površinski otpor tkanine od poliesterskih vlakana modificirane različitim nanosolovima

Table 3. Surface resistance of the polyester fabric modified by different nanosols

Prevlaka	Aditiv	Površinski otpor [Ω]
Nenaslojeni PES	/	$8,2 \cdot 10^{11}$
SiO_2	/	$1,6 \cdot 10^{10}$
SiO_2 / PMMA	/	$5,5 \cdot 10^9$
SiO_2 / Al_2O_3	/	$1,5 \cdot 10^8$
SiO_2	hitozan	$1,6 \cdot 10^{12}$
SiO_2 / Al_2O_3	hitozan	$4,4 \cdot 10^{11}$
SiO_2	Hidrofilni polisiloksan	$3,2 \cdot 10^8$
SiO_2	Površinski aktivna tvar na osnovi fluora	$1,0 \cdot 10^8$
SiO_2	Cetiltriamonij bromid	$3,9 \cdot 10^8$
SiO_2	Poli(stiren sulfonat)	$1,3 \cdot 10^8$
SiO_2	Tween 80 [®]	$2,5 \cdot 10^9$

Pad vrijednosti površinskog otpora na $10^{10} \Omega$ može se postići primjenom odgovarajućih aditiva (*Schottner, 2001.*). Hidrofilnom modifikacijom polimera silikatnim solima, površinski aktivnim tvarima, pa čak i glinom može se smanjiti površinski otpor PET tkanina na $10^8 \Omega$, a što je dovoljna vrijednost za antistatičnu obradu i njezinu dobru klasifikaciju prema Tablici 1. Mnogi primjeri dobrih antistatičnih prevlaka mogu se naći među patentima, a neki su navedeni u Tablici 4 (*Mahlting, Textor, 2008.*).

Tablica 4. Odabrani patenti i antistatični aditivi

Table 4. Selected patents and antistatic additives

Aditivi za postizanje antistatičnosti	Patent
Karboksilna kiselina ili alkoholi	Yoneda i sur. (1986.)
Neionske površinski aktivne tvari, ciklički alkoholi	Matsushita i sur. (1990.)
Kationske površinski aktivne tvari, polistirensulfonati, acetati celuloze	Roth i sur. (1997. & 2000.)
Električni vodljivi polimeri	Kohlert i sur. (2004.)
Hidrofilni polimeri	Chen (2006.)

Antistatične sol-gel prevlake u mnogočemu ovise ne samo o utjecaju vlage i prije navedenim čimbenicima, već i o utjecaju drugih hidrofилnih premaza. Kombinacija antistatičnih svojstava s vodo/ulje/odbojnom doradom jedna drugu međusobno isključuju budući da se ne može postići sinergijsko djelovanje. Za očekivati je da će poli(tetrafluoretilenski) naslojene tekstilije poslije antistatične dorade izgubiti vodo- i uljeodbojna svojstva, a što nije poželjno budući da se nastoji postići multifunkcionalnost te su potrebna daljnja istraživanja. Od antistatičnih sol-gel prevlaka na tekstilijama očekuje se dobra stabilnost u uvjetima njege.

Kemijska ili kovalentna modifikacija anorganskih solova organskim skupinama pruža niz prednosti u pogledu tražene trajnosti, tj. postojanosti na uvjete njege. Na tom polju dobre rezultate su postigli K.H. Haas i sur. primjenom amonijalkiltrialkoksilana te P. Xu i sur. uz 3-aminopropiltrioksisilan kao prekursor (*Xu i sur., 2005.*). Antistatične sol-gel prevlake uz 3-aminopropiltrioksisilan znatno smanjuju površinski otpor polieterskih tkanina čak i nakon 30 ciklusa pranja. Pri tome se ne smije zanemariti utjecaj relativne vlažnosti prostora u kojem je pripremana sol-gel prevlaka. Smanjenje relativne vlažnosti sa 65 % na 45 % dovodi do približno desetostrukog povećanja otpornosti površine tekstilija (*Mahlting, Textor, 2008.*).

Antistatične tekstilije za antistatičnu odjeću osmišljene su za zaštitu ljudskog života od opasnosti od iskrenja, jake i nagle električne iskre inducirane akumulacijom električnog punjena na tijelu i sl. Stoga svaka nova modifikacija daje nadu i svakako razvoj sol-gel postupka u tom pogledu treba podržavati uz ispunjavanje ekoloških zahtjeva.

Pregledom literature uočeno je da su najviše radova o sol-gel postupku na tekstilu objavili njemački autori. Detaljnijim pregledom ustanovljeno je da se u Njemačkoj sol-gel postupkom bave dvije vrlo aktivne skupine znanstvenika s *Textil*

Forschungszentrum Nord-West e.V. iz Krefelda i *s Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologie e.V.* iz Dresdena, koji međusobno surađuju, o čemu svjedoče radovi (*Mahlting i sur., 2004., 2005., Mahlting, Textor, 2006.*) te prva objavljena knjige o sol-gel postupku vezanom uz tekstil autora B. Mahlting i T. Textor „Nanosols and Textiles“ (*Mahlting, Textor, 2008.*).

U Sloveniji postoji interes za razvoj sol-gel postupka na tekstilu gdje je najaktivniji istraživač A. Lobnik koja je autor više znanstvenih radova, knjiga te projekata vezanih većinom uz antibakterijska svojstva tekstilija modificiranih sol-gel postupkom te razvoj raznih optičkih senzora sol-gel postupkom, npr. za detekciju otopine amina i dr. (*Lobnik i sur., 2005., 2007.*).

M. Sfiligoj Smole i sur. razvijaju samočisteće polieterske tkanine sol-gel postupkom u kiselom i baznom mediju uz 97 % titan(IV)-izopropoksid kao prekursor, pri čemu su bolja svojstva pokazali nanoslojevi iz kiselog medija (*Veronovski i sur., 2006.*). Istraživanja nastavljaju na polipropilenskim vlaknima pri čemu je TEOS polazna tvar, kao otapalo upotrebljavaju etanol i propanol, a reakcije provode u baznom mediju. Dobiveni rezultati ukazuju da etanol kao otapalo daje jednoličniju raspodjelu manjih čestica sola veličine od 100 do 200 nm, a nanos s TiO₂ pokazuje odlična samočisteća svojstva (*Sfiligoj Smole i sur., 2006.*).

Skupina autora s Instituta za kemiju u Ljubljani istraživala je organsko-anorganski hibridni prekursor za sol-gel postupak (di-ureapropiltrioksisil (bis(aminopropil)terminirani-polidimetilsiloksan (1000) koji je ispitan kao hidrofobna dorada za pamučne tkanine koja je pokazala postojanost i nakon višekratnog pranja (*Fir i sur., 2007.*).

B. Tomšić i sur. istraživali su antibakterijska svojstva neobrađenih i obrađenih pamučnih tkanina. Pamučne tkanine obrađene su sol-gel prevlakom postupkom fulardiranja koja kao polaznu

tvar ima 3-aminopropiltrioksisilan uz dodatak TiO_2 . Antibakterijska svojstva ispitana su nakon 10 postupaka pranja i određen je UPF faktor uz mikroskopsko snimanje površine uzoraka. Dobiveni rezultati ukazuju da dodatak TiO_2 3-aminopropiltrioksisilanu povećava antibakterijsku otpornost, dok veći udio 3-aminopropiltrioksisilana smanjuje UV zaštitu (Tomšić i sur., 2008.).

Slovenski tekstilci u suradnji s kemičarima posljednjih su godina vrlo aktivni na području sol-gel tehnologije što potvrđuje sve veći broj radova, od kojih je veći dio vezan uz antimikrobnu zaštitu (Tomšić i sur., 2008., Ocepek i sur., 2008.).

TEHNIKE PREVLAČENJA SOL-GEL POSTUPKOM

Sol-gel postupak prikladan je za prevlačenje raznih podloga npr. stakla za automobile, poluvodiča, vlakana, plošnih tekstilija i dr. Takve prevlake upotrebljavaju se za poboljšavanje svojstva podloga te zaštitu od mehaničkih, kemijskih ili mikrobioloških utjecaja.

Postoji nekoliko tehnika prevlačenja sol-gel postupkom:

- uranjanje (engl. dip coating),
- naštrecavanje (engl. spray coating),
- izlivanje (engl. flow coating),
- vrtnja (engl. spin coating),
- kapilarno prevlačenje (engl. capillary coating),
- valjanje (engl. roll coating),
- tiskanje (engl. printing coating),
- kemijsko prevlačenje (engl. chemical coating); (Filetin, Grilec, 2004.).

Prilikom prevlačenja sol-gel postupkom važno je odabrati odgovarajući postupak nanošenja prevlake, ali je još važnije dobro poznavanje prevlake i podloge kako bi ona bila stabilna.

Glavne metode nanošenja sol-gel prevlaka su uranjanje, vrtnja i nanošenje kistom, a rjeđe se upotrebljavaju ostale navedene metode.

ZAKLJUČAK

Sol-gel postupak jedan je od novih i potpuno drugačijih pristupa modifikaciji tekstilnih materijala koji pruža velike mogućnosti u pogledu osmišljavanja i stvaranja novih površinskih svojstava. Takva modifikacija tekstilne površine može rezultirati novim višefunkcionalnim svojstvima tekstilnih materijala, tj. dobivanjem visokoučinkovitih tekstilnih materijala za posebne namjene uz znanstveno, tehnološko i ekonomsko potencijalno značenje.

Sol-gel postupak je na prvi pogled jednostavan, ali da bi se dobile tekstilije točno definiranih ciljanih multifunkcionalnih svojstava, potrebno je uložiti mnogo pažljivog rada. Dobivene prevlake izrazito su osjetljive na uvjete i postupke pripreme, te je potrebno iznimno dobro poznavanje kemije, termodinamike i kinetike, a kada je riječ o tekstilijama kao supstratu tada su potrebna znanja tekstilne tehnologije (poznavanje svojstava vlakana, oplemenjivanja tekstila i sl.).

S obzirom na složenost strukture, tekstilije su vrlo „nezahvalni“ supstrati za sol-gel postupak, ali i veliki izazov za tekstilno-kemijske tehnologije. Postizanje boljih rezultata za antistatičnu učinkovitost svakako bi bilo korisno budući da je zaštita zdravlja i sigurnosti na prvom mjestu, a nove modifikacije obećavaju te ih treba upotrijebiti na najbolji mogući način kako bi se zaštitilo ono najvrednije – ljudski život.

Rad je dio istraživanja koje financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske u sklopu projekta „Višefunkcionalni tekstilni materijali za osobnu zaštitu“, 117-1171419-1393, voditelja projekta prof. dr. sc. E. Pezelj. Autorica zahvaljuje Ministarstvu na novčanoj potpori projektu.

LITERATURA

Amberg-Schwab, S.: Spezifische Funktionalisierung von Chemiefasern durch neue Beschichtungsmaterialien, *Technische Textilien*, 46, 2003., 137-140.

Brinker, C.J., Scherer, G.W.: *Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing*, Academic Press, Inc. an Imprint of Elsevier, United States of America, 1990.

Coyle, S., Wu, Y., Lau, K.-T., Rossi, D. D., Wallace, G., Diamond, D.: Smart Nanotextiles: A Review of Materials and Applications, *MRS Bulletin*, 32, 2007., 434-442.

Čunko, R.: Statički elektricitet u tekstu – nastajanje, mjerenje i uklanjanje, *Tekstil*, 37, 1988., 703-710.

Čunko, R.: *Ispitivanje tekstila, Fizikalne i instrumentalne metode karakterizacije osnovnih svojstava tekstilija*, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Drugo neizmjenjeno izdanje, Zagreb, 1995.

Čunko, R.: Antistatična vlakna – vlakna za udoban i siguran tekstil, *Tekstil*, 49, 2000., 6, 296-305.

Filetin, T., Grilec, K.: *Postupci modificiranja i prevlačenja površina: Sol-gel slojevi*, 1. izd., Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004.

Filetin, T.: *Primjena nanomaterijala u tehnici*, dostupno na: http://titan.fsb.hr/~tfiletin/pdf/hazu_nano_1.pdf, 20.01.2009., pristupljeno: 28.5.2012.

Filipović, I., Lipanović, S.: *Opća i anorganska kemija, II dio Kemijski elementi, njihove elementarne tvari i spojevi*, IX. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1995.

Fir, M., Vince, J., Šurca Vuk, A., Vilčnik, A., Jovanovski, V., Mali, G., Orel, B., Simončić, B.: Functionalisation of Cotton with Hydrophobic Urea/Polydimethylsiloxane Sol-Gel Hybrid, *Acta Chimica Slovenica*, 54, 2007., 144-148.

Horvat, J., Regent, A.: *Osobna zaštitna oprema*, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, 2009.

HRN EN HRN EN 1149-1: 2007, Zaštitna odjeća -- Elektrostatička svojstva -- 1. dio: Ispitna metoda za mjerenje površinske otpornosti (EN 1149-1:2006).

HRN EN 1149-2: 2001, Zaštitna odjeća -- Elektrostatička svojstva -- 2. dio: Ispitna metoda za mjerenje električne otpornosti kroz materijal (vertikalna otpornost) (EN 1149-2:1997).

HRN EN 1149-3: 2005, Zaštitna odjeća -- Elektrostatička svojstva -- 3. dio: Ispitne metode za mjerenje pada naboja (EN 1149-3:2004).

HRN EN 1149-5: 2005:2008, Zaštitna odjeća -- Elektrostatička svojstva -- 5. dio: Zahtjevi za svojstva materijala i dizajn (EN 1149-5:2008).

Kissel, C.: Antistatic textile compositions and sol/gel/polymer compositions, *US Patent*, US5004563, 1991.

Lobnik, A., Gutmaher, A., Sitar, D., Majcen Le Marechal, A.: Surface modification of non-woven textiles via sol-gel process, *5th World Textile Conference AUTEX*, Portorož, Slovenia, 2005.

Lobnik, A., Mojca Korent, S., Mohr, G.J.: Sol-gel based optical sensor for the detection of aqueous amines, *Analytical and bioanalytical chemistry*, 387, 2007., 5, 8, 2863-2870.

Macan, J.: *Priprava hibridnih materijala za prevlake sol-gel procesom*, disertacija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.

Mahltig, B., Böttcher, H., Knittel, D., Schollmeyer E.: Light Fading and Wash Fastness of Dyed Nanosol-Coated Textiles, *Textile Research Journal*, 74, 2004., 6, 521-527.

Mahltig, B., Haufe, H., Böttcher: Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings, *Journal of Materials Chemistry*, 15, 2005., 4385-4398.

Mahltig, B., Textor, T.: Combination of silica sol and dyes on textiles, *Journal of Sol-Gel Science Technology*, 39, 2006., 111-118.

Mahltig, B., Textor, T.: *Nanosols and Textiles*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., British Library Cataloguing-in-Publication Data, London, 2008.

Martinis, M.: *Fizika, Elektrodinamika*, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Matsushita, K., Kamei, A., Shinno, K., Oba, Y.: Antistatic agent composition containing transparent alumina sol, *Japanese Patent*, JP2169687, 1990.

Ocepek, B., Forte-Tavčer, P., Tomšić, B., Simončić, B.: Trials of printing of anti-bacterial nanosilver finish on textiles, *4th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, 420-423, Dubrovnik, Croatia, 2008.

Pravilnik o uporabi osobne zaštitne opreme, N.N., br. 39/06.

Pravilnik o stavljanju na tržište osobne zaštitne opreme, N.N., br. 89/10.

Roth, C., Kuhrt, A., Böttcher, H., Schöne, H.-J.: Antistatic coating for photographic polymeric support, *German Patent*, DE19531038, 1997.

Schottner, G.: Hybrid Sol-Gel-Derived Polymers: *Applications of Multifunctional Materials*, Chem. Mater., 13, 3422-3455, 2001.

Schwab, A. J., Kürner, W.: *Elektromagnetische Verträglichkeit (5th revised edition)*, Springer, Berlin, 2007., 63-98.

Sfiligoj Smole, M., Stanke, K., Bele, M., Jamnik, J., Hribernik, S., Veronovski, N., Stana Kleinschek, K., Ribitsch, V.: Nanocoatings for textiles, *3rd International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, Dubrovnik, Croatia, 2006.

Somogyi, M.: *Modifikacija naslojenih tekstilija za osobnu zaštitu primjenom sol-gel procesa*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 2010.

Somogyi, M., Macan, J., Pezelj, E.: Primjena sol-gel procesa za modifikaciju površine i svojstava tekstilija, *Tekstil*, 60, 2011., 1,18-29.

Šoljić, Z., Kaštelan-Macan, M.: *Analitička kemija II*, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1985.

Terrier, C., Chatelon, J. P., Berjoan, R., Roger, J. A.: Sb-doped SnO₂ transparent conducting oxide from the sol-gel dip-coating technique, *Thin solid films*, 263, 1995., 37-44.

Tomšić, B., Orel, B., Jovanovski, V., Jerman, I., Simončić, B.: Bacterial growth reduction on cotton fabrics treated by titanium isopropoxide/aminopropyltriethoxy silane, *4th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, 465-469, Dubrovnik, Croatia, 2008.

Tomšić, B., Simončić, B., Orel, B., Černe, L., Forte Tavčer, P., Zorko, M., Jerman, I., Vilčnik, A., Kovač, J.: Sol-gel coating of cellulose fibres with antimicrobial and repellent properties, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 41, 2008.

Veronovski, N., Sfiligoj Smole, M., Kreže, T., Lobnik, A.: Samočistilne tekstilije na osnovi nanonanosov s TiO₂, *Tekstilec*, 49., 2006., 10-12, 213-217.

Zakon o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenjivanju sukladnosti, N.N., br. 20/10.

Zakon o zaštiti na radu, N.N., br. 59/96., 94/96., 114/03., 100/04., 86/08., 116/08. i 75/09.

Yamada, I., Shobu, T., Sumita, N.: Antistaining treating agent, antistaining treated fabric and method for antistaining, *Japanese Patent*, JP2004270039, 2004.

Yoneda, T., Satake, T., Kuramoto, S.: Antistatic agent containing titania hydrosol, *Japanese Patent*, JP61179285, 1986.

Xu, P., Wang, W., Chen, S. - L.: *Application of nanosol on the antistatic property of polyester*, *Melliand International*, 11, 2005., 56-59.

**SOL-GEL THIN FILMS FOR
ANTISTATIC PROTECTION OF TEXTILES**

SUMMARY: Sol-gel process is one of the newest and completely different approaches to surface modification of textile materials. It is considered to be one of the most important discoveries of the materials science and engineering in the last decades. In the field of textile technology sol-gel process provides great opportunities in terms of designing and achieving completely new surface properties of textiles. Organic-inorganic hybrid materials were investigated and developed, offering a combination of inorganic and organic components at the molecular level. Such modifications of textile surface resulted in new multifunctional protective properties of textile materials, i.e. in obtaining high-performance fabrics for special purposes – antistatic protection. Such modification has very important ramifications, as its successful implementation protects what is most valuable – human life.

Key words: *sol-gel process, modification of textiles, antistatic protection, protective materials*

*Subject review
Received: 2012-04-20
Accepted: 2012-06-05*