

Pomen protimikrobnih sredstev pri plemenitenju tekstilij

V prispevku so predstavljena protimikrobna sredstva, ki se največkrat uporabljajo za zaščito tekstilij pred napadom mikroorganizmov. Glede na mehanizem protimikrobnega delovanja so razdeljena na sredstva, ki delujejo po mehanizmu nadzorovane sprostitve, po principu regeneracije ali po mehanizmu oviranja oziroma blokiranja. Pri opisu posameznih mehanizmov protimikrobnega delovanja so prikazane kemične strukture najpomembnejših predstavnikov, način njihovega nanosa na vlakna ter kakovost nanosene apreture. Predstavljeni so mikrobiološki testi, ki se večinoma uporabljajo za določitev učinkovitosti protimikrobnih sredstev na tekstilnem substratu.

Ključne besede: protimikrobna sredstva, kemične strukture, mehanizmi protimikrobnega delovanja, kakovost apreture, mikrobiološki testi.

Importance of Antimicrobial Agents for Textile Finishing

The article presents antimicrobial agents that are widely used for protection of textile from the microbiological attack. According to the mechanism of antimicrobial activity the classification of agents is made to that function by the controlled release mechanism, the regeneration principle and the barrier or blocking action. In the description of particular antimicrobial mechanisms the chemical structure of representative agents is shown and the methods of application and the finishing quality are discussed. The microbiological test methods that are mostly used for evaluation of the antimicrobial activity are represented.

Key words: antimicrobial agents, chemical structures, mechanisms of antimicrobial activity, finishing quality, microbiological tests.

UDK 677.027

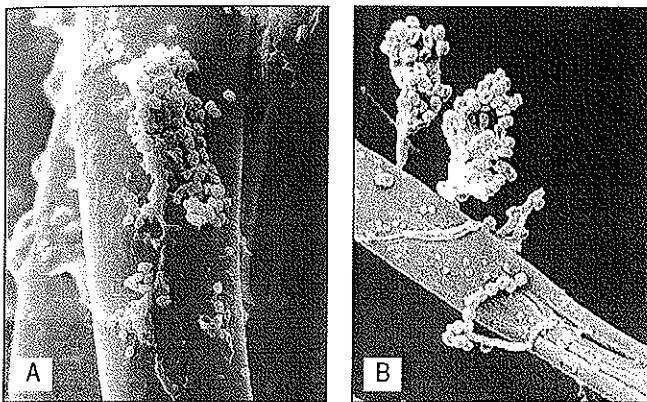
1.0 UVOD

Mikroorganizmi se nahajajo v in na človeškem telesu v različnih oblikah. Na delih kože, kjer je prisotna vlaga, na primer lasišču, licih, dlaneh, podplatih, med prsti rok in nog, pod pazduho in v področju spolovil, imajo le-ti dobre življenjske pogoje. Zaradi neposrednega stika teh delov telesa s tekstilijami, se mikroorganizmi hitro naselijo tudi na tekstilu, kjer se lahko pod ugodnimi pogoji, kot so vlaga, toplota in umazanija, nenadzorovano razmnožijo. Pod idealnimi pogoji se lahko en mikroorganizem v osmih urah razmnoži v 1,6 milijona mikroorganizmov. V takšnem obsegu postanejo mikroorganizmi škodljivi, saj lahko povzročijo:

- neprijetne vonjave, ker pospešijo razpad človeškega potu ali zaradi proizvodnje smrdljivih razkrojnih produktov pri razmnoževanju,

- draženje kože in infekcije,
- spremembo barve tekstilij ali celo
- razpad tekstilnih vlaken.

Odlične pogoje za razvoj mikroorganizmov nudijo različne vrste tekstilij tako iz naravnih kot sintetičnih vlaken. Medtem ko se na sintetičnih vlaknih v večji meri nahajajo bakterije in v manjši meri tudi glive, pa so naravna vlakna, predvsem celulozna vlakna zaradi svoje hidrofilnosti zelo dovzetna tako za bakterije kot tudi glive in alge (slika 1). Med bakterijami, ki se večinoma nahajajo na koži in povzročijo smrad telesa in oblačil, so pomembne gram-pozitivne bakterije, in sicer *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* in *Corynebacterium diptheroides*, med glivami, ki lahko povzročijo infekcijo kože in nohtov, pa *Candida albicans*, *Epidermophyton floccosum* in vrste *Tricophyton* [1, 2].



Slika 1: Rast bakterije (A) in glive (B) na tekstilnem vlaknu (iz propagandnega gradiva proizvajalcev protimikrobnih sredstev).

Med tekstilne izdelke, ki so neposredno izpostavljeni napadu mikroorganizmov, uvrščamo spodnje perilo, nekatera vrhnja oblačila, obutev, posteljno perilo, brišače, tekstilije za oblaženo pohištvo, talne obloge, zavese in zračne filtre. Prisotnost mikroorganizmov na teh izdelkih v veliki meri zmanjša njihovo uporabnost tako s higienskega kot tudi z estetskega vidika [3]. Če se tekstilije nahajajo in uporabljajo v hotelih, šolah, bolnišnicah, dvoranah, javnih prevoznih sredstvih, obstaja tudi možnost prenašanja mikroorganizmov s človeka na človeka.

Ljudje se lahko dokaj uspešno zaščitimo pred mikroorganizmi s pravilno nego tekstilij. Ker se veliko število mikroorganizmov uniči v vročem, je pranje tekstilij pri temperaturi 95 °C in naknadno vroče likanje pomemben in učinkovit način tovrstne zaščite. Težave pri odstranjevanju mikroorganizmov s tekstilij pa so se močno povečale z množično uporabo sintetičnih vlaken, ki se lahko perejo le pri nižjih temperaturah in krajši čas kot naravna celulozna vlakna, hkrati pa tudi ne prenesejo vročega likanja. Takšne "čiste" tekstilije, pri katerih s pranjem nismo uspeli uničiti mikroorganizmov, lahko pridobijo neprijeten vonj pri skladiščenju [4, 5].

Zaradi vse večjega zanimanja potrošnikov se je v preteklih letih na tržišču močno povečalo število izdelkov s protimikrobno zaščito. Cilj tovrstne zaščite je varovanje uporabnika pred bakterijami, glivami in drugimi mikroorganizmi iz estetskih, higienskih in medicinskih vzrokov, zaščita tekstilij pred biorazgradnjo zaradi plesnenja ali gnitja, ki ga povzročajo glive, in zaščita uporabnika ter tekstilij pred insekti in pršicami.

2.0 PROTIMIKROBNA SREDSTVA

Plemenitjenje tekstilij s protimikrobnimi sredstvi ima pomembno vlogo pri zaščiti tekstilnih izdelkov pred napadom mikroorganizmov. Na tržišču se nahajajo različna klasična in sodobna protimikrobna sredstva, ki se med seboj razlikujejo po kemični strukturi, načinu na-

našanja na tekstilna vlakna, delovanju, učinkovitosti, trajnosti, vplivu na ljudi in okolje, ceni. Med njimi na splošno razlikujemo biocide in biostate. Medtem ko so biocidi (baktericidi, fungicidi in insekticidi) sredstva, ki bakterije, glive in insekte uničijo, pa je za biostate (bakteriostate in fungistate) značilno, da le zmanjšajo njihovo hitrost in stopnjo rasti [3].

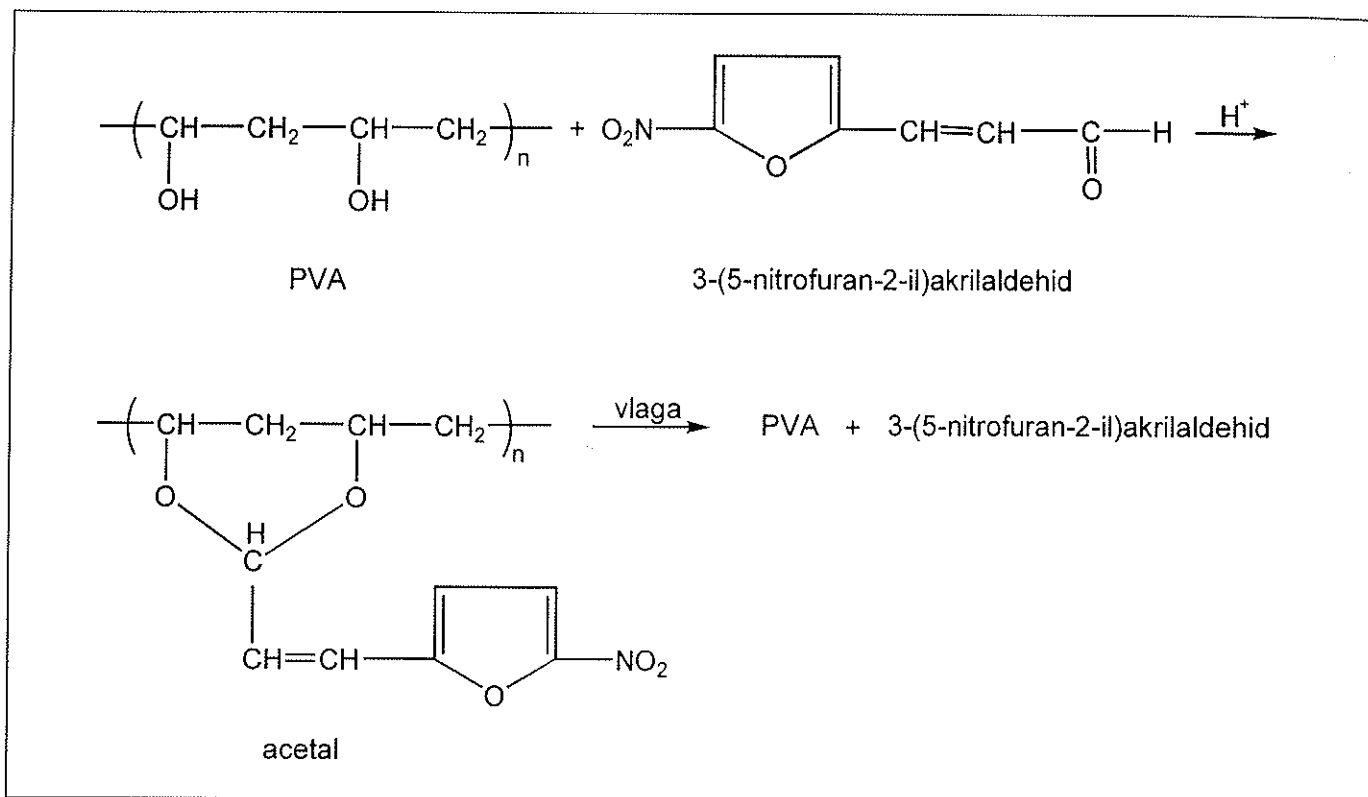
Protimikrobna sredstva lahko na tekstilna vlakna nanašamo na različne načine, med katerimi so pomembni postopek insolubilizacije sredstva v in na vlaknih, cepitvena polimerizacija, homo- in kopolimerizacija, kemična modifikacija vlaken, premazovanje površine vlaken s protimikrobnim sredstvom in mikrokapsuliranje. Od načina nanosa sredstva na vlakna je v veliki meri odvisno tudi njegovo protimikrobno delovanje [1].

2.1 Mehanizmi delovanja protimikrobnih sredstev

Glede na način protimikrobnega delovanja na oplemenitenih tekstilijah razlikujemo sredstva, ki delujejo po mehanizmu nadzorovane sprostitve, regeneracije, ali po mehanizmu oviranja oziroma blokiranja [1, 2].

Večina protimikrobnih sredstev deluje po mehanizmu nadzorovane sprostitve. V tem primeru je sredstvo učinkovito, če se v prisotnosti zadostne količine vlage sprosti iz vlaken v tolikšni meri, da povzroči uničenje ali zaviranje rasti mikroorganizmov. Sredstva torej niso kemično vezana na vlakna in se pod ustreznimi pogoji iz njih izlužijo. Učinkovitost sredstev, ki delujejo po mehanizmu nadzorovane sprostitve, je odvisna od različnih dejavnikov, med katerimi so pomembni koeficient razgradnje, površinska adsorpcija, parni tlak in topnost v vodi. Dejavniki vplivajo na učinkovitost sredstev ter na hitrost, s katero se le-ta izlužijo iz vlaken in sprostijo v okolico. Sproščena sredstva se lahko absorbirajo v mikroorganizme ter kemično uničijo njihove celice z zastrupitvijo, s prekinitvijo življenjskih procesov ali povzročijo smrtonosnih mutacij. Počasno prehajanje sredstev v okolico ima za posledico zniževanje koncentracije sredstva v tekstilijah, ki sčasoma pade pod mejo učinkovitosti. Pralna obstojnost sredstev je omejena s količino protimikrobnega sredstva v vlaknih. Prav tako se v procesu delovanja sredstva postopno izrabijo. To daje možnost prilagoditve mikroorganizmov nanje. Negativna lastnost te skupine protimikrobnih sredstev je tudi ta, da so večinoma bolj ali manj strupena za ljudi. V stiku s telesom uničijo bakterije, ki se nahajajo na koži, povzročajo pa tudi draženje kože in izpuščaje.

Klasična primera delovanja protimikrobnega sredstva po mehanizmu nadzorovane sprostitve sta počasno sproščanje nitro spojine iz kemično modificiranih polivinilalkoholnih vlaken v prisotnosti vlage (slika 2) [1] ali pa sproščanje magnezija oziroma cinka ter vodikovega peroksida med pranjem iz celuloznih vlaken, ki



Slika 2: Reakcija polivinilalkohola (PVA) z nitro spojino v acetal ter sproščanje nitro spojine v prisotnosti vlage (lit. vir 1, str. 373).

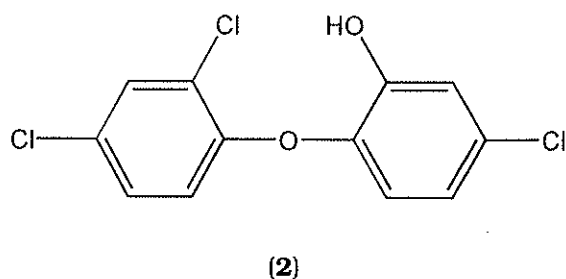
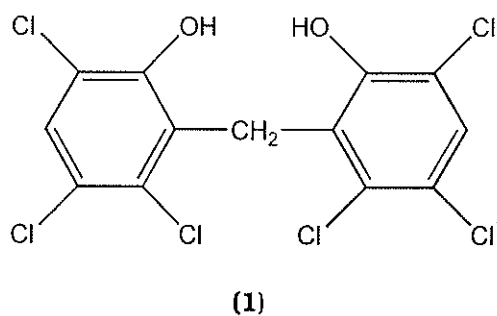
so bila predhodno apretirana z reakcijskim produktom magnezijevega ali cinkovega acetata z vodikovim peroksidom [1, 2, 6, 7].

Mehanizem nadzorovane sprostitve je značilen tudi za protimikrobna sredstva, ki vključujejo srebrove ione, ki so z reakcijo ionske izmenjave vezani v mineralno strukturo zeolitov, to je alumosilikatov s tridimenzionalno strukturo [8, 9]. Ti produkti, ki so po naravi anorganski, so zelo obstojni in celo pri temperaturi 800 °C ohranijo popolno protimikrobno učinkovitost. To jim daje možnost vgraditve v sintetična ali regenerirana vlakna že pri samem predenju iz taline, lahko pa se vlakna s produkti tudi naknadno prevlečejo. Pozitivno nabiti srebrovi ioni se iz keramične protimikrobne strukture sproščajo neprekinjeno, počasi z nadzorovano hitrostjo, ki je odvisna od vsebnosti vlage v okolju. Sproščeni srebrovi ioni, ki delujejo biostatično, zmanjšajo oziroma zavrejo stopnjo rasti mikroorganizmov. Pomembna prednost teh protimikrobnih sredstev je, da zaradi njihove anorganske narave mikroorganizmi ne morejo razviti odpornosti proti njim.

Med protimikrobna sredstva, ki delujejo po mehanizmu nadzorovane sprostitve, uvrščamo tudi halogenirane fenole in tiofenole [10-12] ter kationske površinsko aktivne snovi, med njimi predvsem kvarterne amonijeve spojine [4, 13-15].

Halogenirani fenoli, med njimi 2,2'-metilen-bis(3,4,6-triklorofenol) (1), ki so v preteklih letih predstavljali pomembna biocidna protimikrobna sredstva za zaščito celuloznih vlaken ter mešanic celuloze s sin-

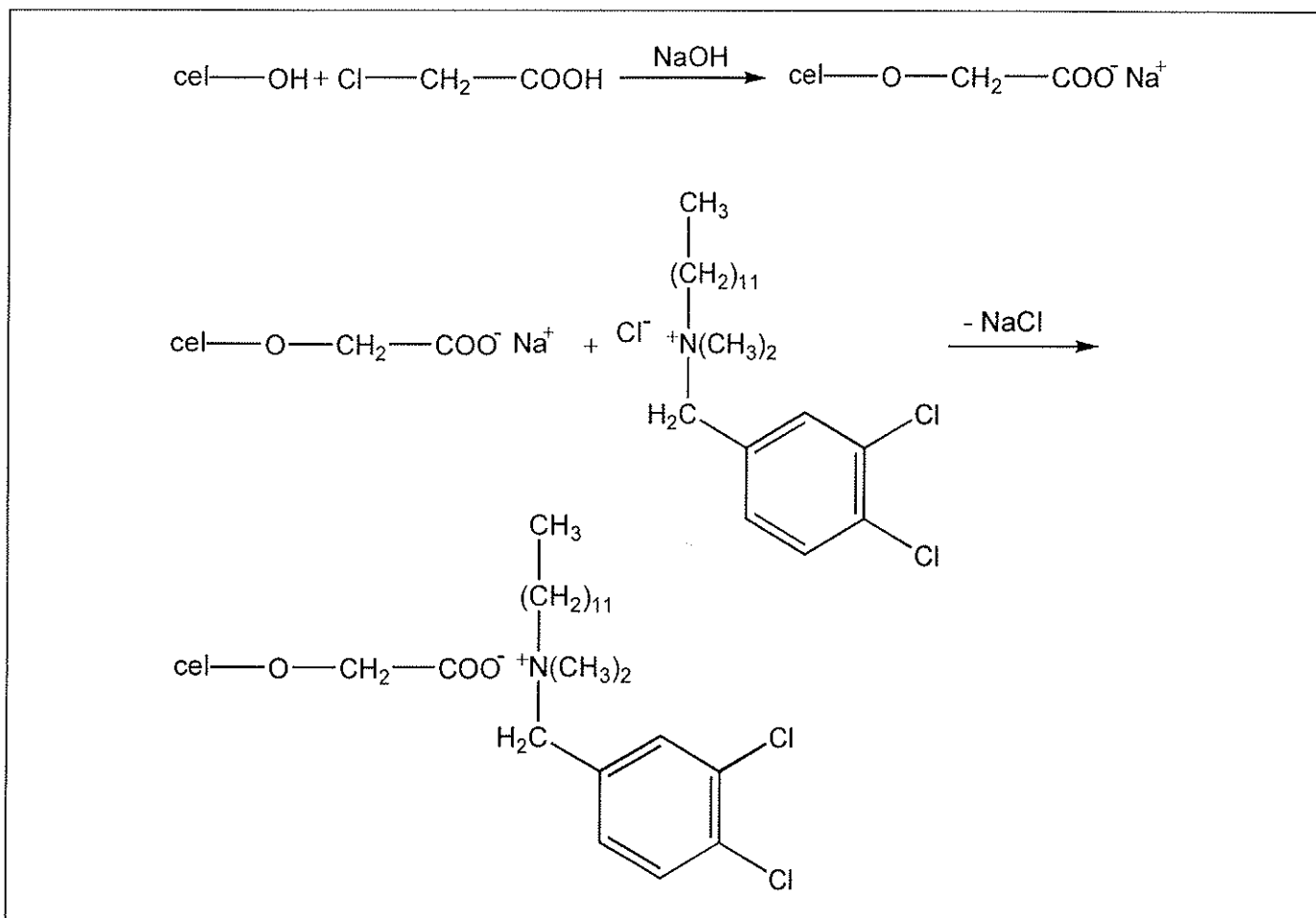
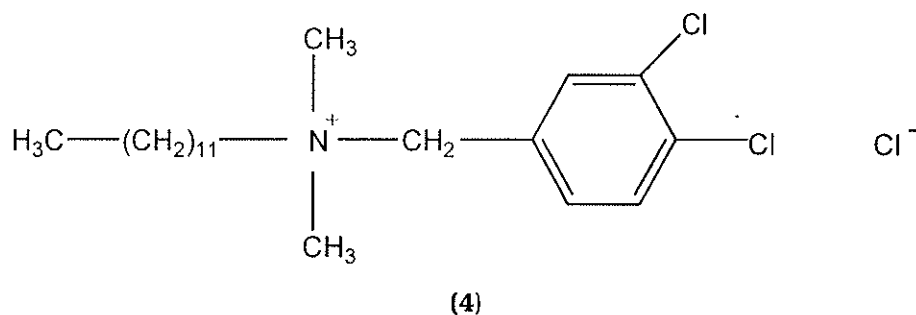
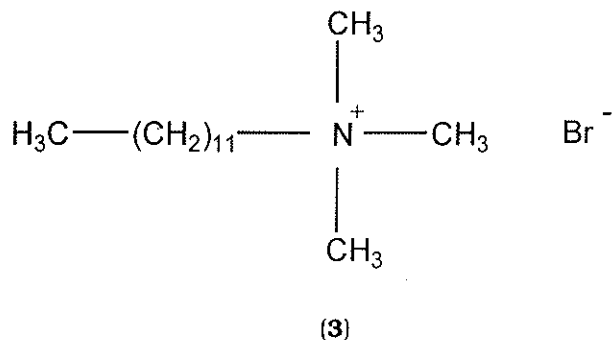
tetičnimi vlakni, so se v večini primerov na vlakna nanašali v kombinaciji z zamreževali na podlagi dimetilolsečninskih produktov ali s fluoroogljikovimi polimeri, kar je izboljšalo njihovo pralno obstojnost. Posebno mesto med halogeniranimi fenoli zavzema triclosan, ki je strukturno 2,4,4'-trikloro-2'-hidroksidifenil eter oziroma 5-kloro-2-(2,4-diklorofenoksi) fenol (2). Je široko in splošno uporabljeno protimikrobno sredstvo z biostatičnim delovanjem. Sodobna protimikrobna sredstva, ki kot aktivno snov vključujejo triclosan in so na-



menjena za plemenitje tekstilij, se pri nanosu na vlakna ne vgradijo le na površino, temveč tudi v njihovo notranjost. Od tam pri pranju difundirajo na površino

šino vlaken, kjer razvijejo svojo polno aktivnost. Zadostna količina vgrajenega triclosana zagotovi trajnost in pralno obstojnost apreture. Pri plemenitju poliestrskih in poliamidnih vlaken se pri nanosu triclosana poleg impregnirnega postopka lahko uporablja tudi izčrpalni postopek, pri katerem je zagotovljena visoka stopnja izčrpanja protimikrobnega sredstva.

Kvarterne amonijeve spojine, kot so alkiltrimetilamonijev klorid (3), alkilbenzilmetilamonijev bromid z 12 do 18 ogljikovih atomov v alkilni verigi ter diklorobenzildimetildodecilamonijev klorid (4), zavzemajo pomembno mesto med biocidi [4]. Kljub slabi pralni obstojnosti se veliko uporabljajo za zaščito tekstilij, predvsem dekorativnih. Kvarterne amonijeve spojine učinkujejo



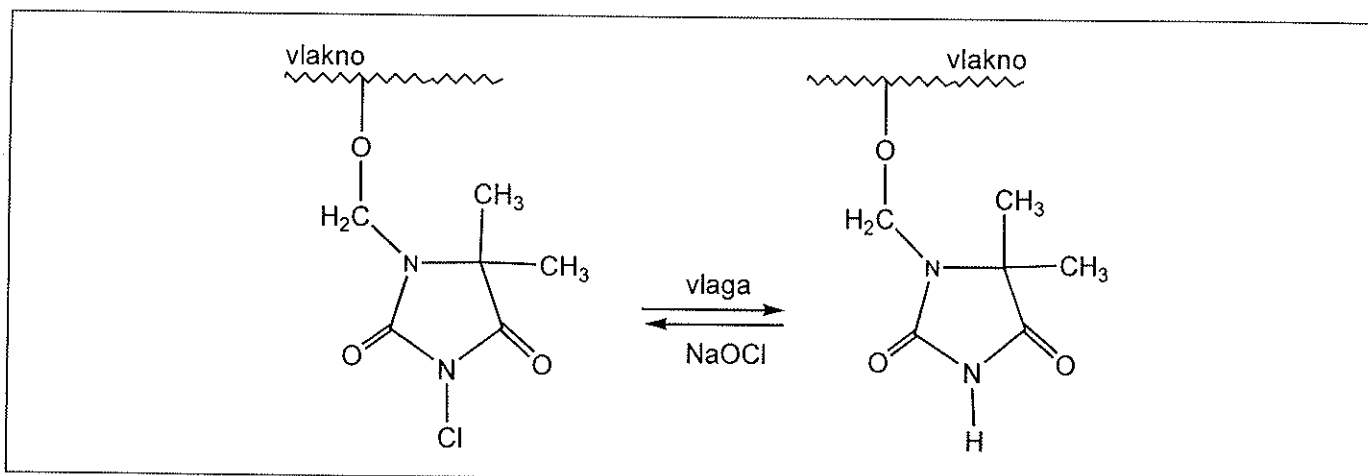
Slika 3: Nastanek karboksimetilceluloze, na katero se veže diklorobenzildimetildodecilamonijev klorid (lit. vir 13, str. 219).

kujejo na širok spekter bakterij, manj pa so učinkovite za glive. Njihovo baktericidno delovanje temelji na tvorbi kompleksov z mikroorganizmi, v katerih se kationska amonijeva skupina privlači z negativno nabitimi skupinami proteina na stični površini med mikroorganizmom in vodo. To ima za posledico spremembo oblike in strukture mikroorganizmov, kar je zanje uničujoče. Povečanje permanentnosti protimikrobne apreture s kvarternimi amonijevimi spojinami na celuloznih vlaknih se lahko doseže s predhodno kemično modifikacijo vlaken, ki zagotovi anionska vezalna mesta. Takšen primer je delna eterifikacija celuloze do karboksimetilceluloze, ki ji sledi apretiranje s protimikrobnim sredstvom (slika 3) [13]. Pri plemenitju poliamidnih vlaken s kvarternimi amonijevimi spojinami se kot vezni člen med vlaknom in sredstvom lahko uspešno uporabijo tudi kislja barvila [14, 15]. Povečana pralna obstojnost apreture je zagotovljena z ionskimi interakcijami med kationskim protimikrobnim sredstvom in anion-

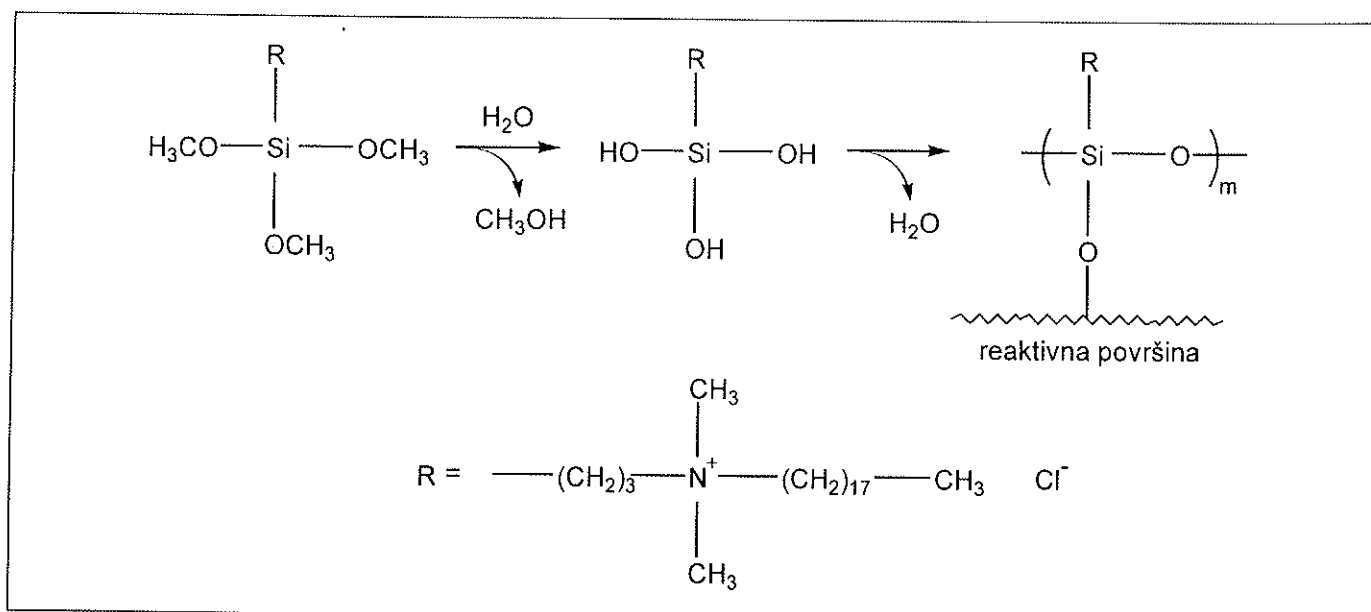
skim barvilom ob ustreznem nanosu sredstva in pod pravilno izbranimi pogoji plemenitja.

Z namenom proizvesti nadzorovano sprostitvev protimikrobnih sredstev se je uveljavil tudi fizikalno kemijski postopek mikrokapsuliranja. Pri tem postopku se sredstvo nahaja med dvema zaščitnima plastema in po potrebi migrira v okolico z izluženjem sredstva z vodo ali z degradacijo sredstva pod vplivom ultravijoličnega sevanja. Takšna apretura je lahko učinkovita v dolgem časovnem obdobju, celo več kot šest let, vendar pa je zaloge protimikrobnega sredstva, ki se nahaja v rezervoarju, omejena [1, 2, 16]. Po postopku mikrokapsuliranja se lahko plemenitijo tako naravna kot sintetična vlakna.

Pri protimikrobnih sredstvih, ki delujejo po mehanizmu regeneracije, se njihova aktivna snov na tekstilijah kontinuirno regenerira z dodatkom belilnega sredstva pri gospodinjškem pranju ali z izpostavitvijo tekstilije ultravijolični svetlobi. Zaradi možnosti regeneracije, ki poteče s cepitvijo kovalentnih vezi v ke-



Slika 4: Protimikrobno delovanje N-halogeniranih aminov na celuloznih vlaknih in njihova regeneracija (lit. vir 18, str. 21).

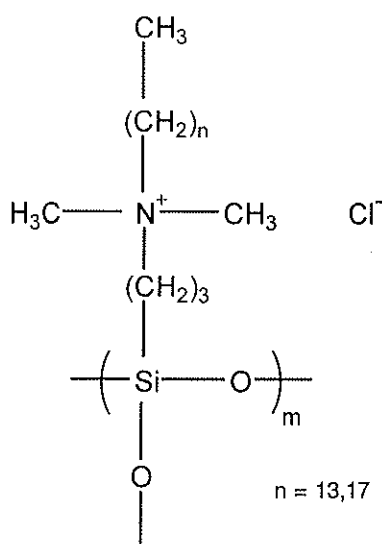


Slika 5: Hidroliza in kondenzacija 3-(trimetoksilil)propildimetiloktadecilamonijevega klorida na površini tekstilnega substrata z reaktivnimi funkcionalnimi skupinami (lit. vir 1, str. 277).

mično modificiranih vlaknih, se na plemenitenih tekstilijah nahaja neomejena količina baktericidnega sredstva. Sodobna permanentna protimikrobna sredstva s sposobnostjo regeneracije predstavljajo N-halogenirani amini, med njimi derivati hidantoina [17-19]. Njihovo protimikrobno delovanje temelji na elektrofilni substituciji klora z vodikom, ki poteče v prisotnosti vode, pri čemer nastane hipoklorasta kislina, ki deluje kot biocid. Ponovno aktiviranje protimikrobnega delovanja sredstva dosežemo pri pranju plemenitenih tekstilij v razredčeni raztopini belilnega sredstva, ki vključuje klor (na primer natrijevega hipoklorita). Pomanjkljivost halogeniranih aminov je, da se težje vgradijo v kemično nereaktivna sintetična vlakna, kot sta poliestri in poliamid. Pri njihovi uporabi pa zaradi regeneracije sredstva v prisotnosti klora obstajajo tudi določene omejitve pri izbiri barvil. Mehanizem protimikrobnega delovanja in regeneracije sredstva, vezanega na celulozna vlakna, je prikazan na sliki 4.

Delovanje protimikrobnih sredstev po mehanizmu oviranja ali blokiranja temelji ali na tvorbi neprepustnega filma oziroma premaza na vlaknih, ki ne dopušča prehajanja mikroorganizmov skozi tekstilijo, ali na tvorbi filma, ki je v neposrednem stiku z mikroorganizmi aktiven na takšen način, da zavira njihovo rast. Pri protimikrobni zaščiti z neprepustnimi filmi ali premazi lahko veliki nanosi apreturnega sredstva neposredno vplivajo na spremembo mehanskih in fizikalno kemijskih lastnosti tekstilnih izdelkov.

Pomembna biostatična protimikrobna apreturna sredstva, ki delujejo po mehanizmu oviranja, so organosilicijevi polimeri, pri katerih je na glavno polisiloksansko verigo vezano klasično protimikrobno sredstvo, in sicer kvarтерна amonijeva spojina z dolgo linearno ogljikovodikovo verigo (5) [1, 2, 5, 20, 21]. Uporabljajo se za plemenitenje celuloznih, poliestrskih in polia-

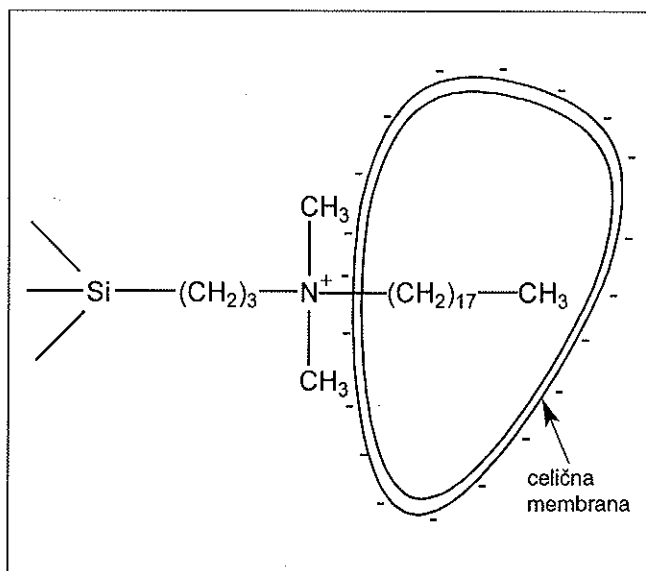


(5)

midnih vlaken, na katera se nanašajo iz vodne raztopine ali po impregnirnem postopku s polnim omakanjem, po izčrpalnem postopku, s pršenjem ali iz pene.

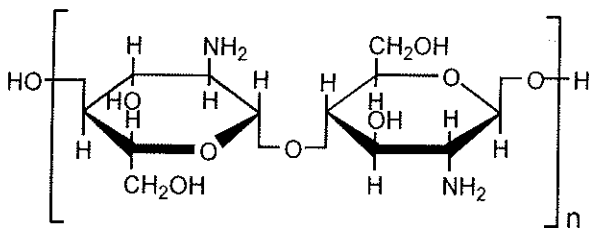
Polisiloksani se pod ustreznimi pogoji na površini tekstilij zamrežijo v polimerni film, ob prisotnosti funkcionalnih hidroksilnih skupin vlaken pa poteče tudi zamreženje med polimeri in tekstilnim substratom (slika 5) [1]. Na takšen način postanejo sestavni del površine vlaken, kar daje protimikrobnemu sredstvu visoko trajnost in pralno obstojnost predvsem na celuloznih vlaknih. Kvarterne amonijeve skupine, ki jih vključujejo polisiloksani, delujejo na vlaknih kot biološka ovira. Interakcije med mikroorganizmom in protimikrobnim sredstvom, kjer so pomembne tako nepolarne interakcije z dolgo ogljikovodikovo verigo sredstva kot tudi polarne interakcije s kationskim dušikom amonijeve skupine sredstva, imajo za posledico penetracijo hidrofobne skupine v mikroorganizem, kar omogoči kvarterni amonijevi skupini, da v stiku s celično membrano mikroorganizma, fizično prekine vse ključne celične funkcije ter s tem povzroči njegovo uničenje (slika 6). Ker je protimikrobno sredstvo vezano na površino vlaken in z nje ne prehaja v okolico tekstilnega substrata, ne more uničiti bakterij na koži, ne povzroča njenega draženja, pa tudi verjetnost prilagoditve mikroorganizmov nanj je zaradi tega manjša. Kljub mnogim prednostim, ki jih imajo organosilicijevi polimeri pred ostalimi protimikrobnimi sredstvi, pa so zanje značilne tudi nekatere pomanjkljivosti. Med njimi so sproščanje metanola v fazi mreženja, ki je strupen in gorljiv, prisotnost kloridnih anionov, ki povzročajo korozijo, in nekoliko slabša permanentnost apreture na vlaknih, ki ne vsebujejo funkcionalnih hidroksilnih skupin.

Po mehanizmu oviranja rasti mikroorganizmov lahko delujejo tudi oligomeri hitosana (6), če so na vlakna kemijsko vezani z zamreževali [22, 23]. Takšen primer



Slika 6: Prikaz prekinitve celične membrane mikroorganizma z organosilicijevim polimerom.

protimikrobnega plemenitenja je apretiranje celuloz-nih vlaken z vodotopnimi oligomeri hitosana v prisotnosti dimetiloldihidroksietilen sečnine (DMDHEU) ali citronske kisline (CA) [15-17]. Za hitosan je namreč značilno, da je polisaharid, ki ima celulozi podobno strukturo. To mu omogoča, da se s hidroksilnimi skupinami prav tako kot celuloza vključi v reakcijo eterifikacije z DMDHEU ali v reakcijo esterifikacije s CA. Na takšen način se kemično veže na celulozna vlakna, od koder ne more prehajati v njihovo okolico.



(6)

Protimikrobno delovanje hitosana je povezano s prisotnostjo amino skupin v njegovi strukturi, ki v šibko kislem mediju preidejo v kvarterne amonijeve skupine. Le-te v stiku z negativno nabitimi celičnimi stenami mikroorganizmov povzročijo njihovo uničenje. Če oligomeri hitosana niso kemično vezani na vlakna in lahko zato v prisotnosti vlage prehajajo v njihovo okolico, je njihovo protimikrobno delovanje podobno delovanju klasičnih kvarternih amonijevih spojin in je v skladu z mehanizmom nadzorovane sprostitve [24].

2.2 Določitev učinkovitosti protimikrobnih sredstev

Za določitev učinkovitosti protimikrobnih sredstev na tekstilnih vlaknih se v praksi največkrat uporabljajo mikrobiološki testi. Le-te delimo v dve skupini. V prvi so kvalitativne testne metode, s katerimi na hranljivem agarju določimo velikost čistega območja ter poraščenost vzorca z mikroorganizmi, v drugi pa kvantitativni testi, s katerimi določimo delež znižanja mikroorganizmov s štetjem njihovih kolonij [25].

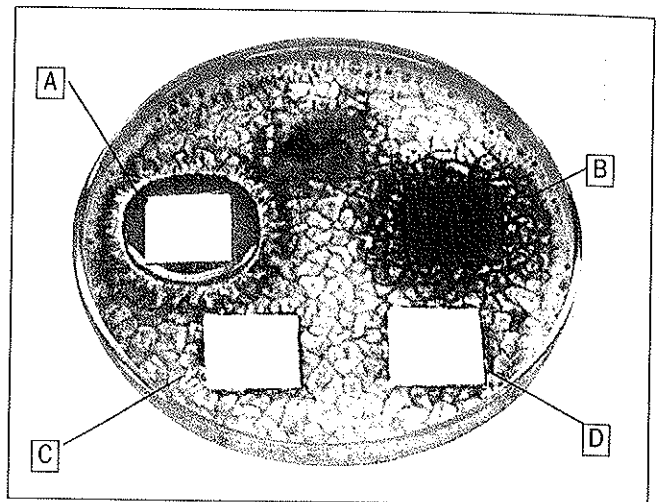
Pri določitvi čistega območja se v skladu s standardi na gojišče mikroorganizmov (hranljivi agar), ki se pri 37 °C cepi s suspenzijo bakterij ali gliv, preneseta apretiran in primerjalno tudi neapretiran tekstilni vzorec. Po predpisanem inkubacijskem času se določi širina čistega območja oziroma širina območja inhibicije. Definirana je kot širina območja, ki se nahaja ob tekstilnem vzorcu, v katerega difundira protimikrobno sredstvo in uniči mikroorganizme (slika 7, A). Velikost čistega območja je merilo za difuzijsko sposobnost protimikrobnega sredstva ter za njegovo učinkovitost. Večji ko je premer tega območja, bolj učinkovito je protimikrobno

sredstvo. Hkrati pa velika širina čistega območja tudi nakazuje, da protimikrobno sredstvo ni permanentno.

Širina čistega območja se izračuna s pomočjo naslednje enačbe [26]:

$$l = \frac{d_c - d_v}{2} \quad (1)$$

kjer je l širina čistega območja v mm, d_c premer vzorca in čistega območja skupaj v mm in d_v premer vzorca v mm.



Slika 7: Prikaz rezultatov mikrobiološkega testa določitve širine čistega območja (lit. vir. 27, str. 3). A – tvorba čistega območja, vzorec ni poraščen z mikroorganizmi; B – ni tvorbe čistega območja, vzorec je popolnoma poraščen z mikroorganizmi; C in D – ni tvorbe čistega območja, vzorec ni poraščen z mikroorganizmi.

Poleg širine čistega območja se kot rezultat testa poda tudi opisna ocena poraščenosti vzorca z bakterijami ali glivami na mestih, kjer je bil vzorec v neposrednem stiku s hranljivim agarjem. Delna ali popolna poraščenost vzorca je posledica neučinkovitega delovanja protimikrobnega sredstva, zaradi česar se bakterije in glive razrastejo tudi po njegovi površini (slika 7, B). S testom se lahko določi tudi najnižja koncentracija protimikrobnega sredstva, ki je še učinkovita pri uničevanju oziroma preprečevanju rasti mikroorganizmov na in v okolici tekstilnega substrata.

Test določitve čistega območja je primeren predvsem za preučevanje protimikrobnega učinkovanja sredstev, ki delujejo po mehanizmu nadzorovane sprostitve. Le-ta niso kemično vezana na tekstilna vlakna, iz njih difundirajo v okolico in v neposredni bližini površine tekstilnega substrata delujejo biocidno ali biostatično. Protimikrobna sredstva, ki so kemično vezana na tekstilna vlakna, ne tvorijo čistega območja okrog vzorca. Njihova učinkovita protimikrobna aktivnost pa se odraža v neporaščenosti vzorca z mikroorganizmi (slika 7, C in D).

Kvantitativni testi, pri katerih se določi delež znižanja mikroorganizmov s štetjem njihovih kolonij, so izvedbeno zahtevnejši in dolgotrajnejši kot enostavni kvalitativni testi.

Pri teh testih se preučevani plemeniteni in neplemeniteni tekstilni vzorci cepijo s suspenzijo bakterij ali gliv v hranljivi vodni raztopini segreti na temperaturo 37 °C. Količina mikroorganizmov, ki se nahajajo v suspenziji, je natančno določena. V času inkubacije se mora zagotoviti neposreden stik med mikroorganizmi in površino tekstilnega substrata. Po predpisanem inkubacijskem času se določena količina hranljive vodne raztopine prenese na hranljivi agar, inkubira pod ustreznimi pogoji, nato pa prešteje kolonije mikroorganizmov, ki so se razvile na gojišču. Iz števila mikroorganizmov, ki smo jih cepili na tekstilne vzorce, ter števila mikroorganizmov, ki so se razrasli na hranljivem agarju, se izračuna število mikroorganizmov, ki so bili uničeni zaradi delovanja protimikrobnega sredstva na tekstilnem substratu. Kot rezultat se poda stopnja znižanja mikroorganizmov, ki se izračuna na naslednji način [19]:

$$ZM = \frac{(A - B)}{A} \cdot 100 \quad (2)$$

kjer je ZM stopnja znižanja mikroorganizmov v odstotkih, A število mikroorganizmov na neplemenitem vzorcu in B število mikroorganizmov na vzorcu, na katerega smo nanесли protimikrobno sredstvo.

Stopnja znižanja mikroorganizmov je merilo za aktivnost oziroma učinkovitost protimikrobnega sredstva na tekstilnem substratu. Višji ko je odstotek znižanja, večja je njegova učinkovitost. Za zadovoljivo protimikrobno aktivnost sredstva mora stopnja znižanja mikroorganizmov preseči vrednost 55 do 60 %.

3.0 SKLEP

Na tržišču se nahajajo različna klasična in sodobna protimikrobna sredstva, ki se lahko uporabljajo v tekstilstvu. Kljub temu, da je velika pozornost usmerjena v preučevanje njihove protimikrobne učinkovitosti, pa je za uporabnika bistvenega pomena tudi njihova ekološka sprejemljivost. Med sredstvi bodo imele prednost tista, ki se ob odličnem uničujočem delovanju na čim širšo populacijo bakterij, gliv in pršic, pralni obstojnosti, možnosti regeneracije ter nizki ceni odlikujejo tudi po nestrupenosti za človeka in okolje. Nekateri proizvajalci protimikrobnih sredstev so zato za svoje produkte že pridobili Öko-Text Standard 100.

Viri:

- [1] VIGO, TL. *Protection of textiles from biological attack. V Functional finishes, Part A, Chemical processing of fibers and fabrics, Handbook of fiber science and technology.* Volume; II, uredil SB. Sello, New York and Basel: Marcel Dekker, Inc., 1983, p. 367–426.
- [2] BAJAJ, P. Finishing of textile materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 83, p. 631–659.
- [3] BÖHRINGER, A., RUPP, J. in YONENAGA, A. Antimikrobielle Textilirn. *International Textile Bulletin*, 2000, vol. 5, p. 13–32.
- [4] DATYNER, A. *Surfactants in textile processing.* Volume 14, New York and Basel: Marcel Dekker, Inc., 1983, p. 157–158. Surfactant science series.
- [5] CARTY, P. in BYRNE, MS. *The chemical and mechanical finishing of textile materials.* Newcastle: Unique Business Services Limited, 1987, p. 69–72.
- [6] VIGO, T. L., DANNA, G. F. in GOYNES, WR. Affinity and durability of magnesium peroxide-based antibacterial agents to cellulosic subpates. *Textile Chemist and Colorist*, 1999, vol. 31, no. 1, p. 29–33.
- [7] BETZ, M. in CERNY, G. Antimicrobial effects of bleaching agents, Part 2- Studies on bacteria, yeast, mould and phage. *Tenside, Surfactant, Detergent*, 2001, vol. 38, no. 4, p. 242–248.
- [8] RIVERA-GARZA, M., OLGUIN, MT., GARCIA-SOSA I., AL-CANTARA, D. in RODRIGUEZ-FUENTES, G. Silver supported on natural zeolite as an antibacterial material. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2000, vol. 39, no. 3, p. 431–444.
- [9] TAKAI, K., OHTSUKA, T., SENDA, Y., NAKAO, M., YAMAMOTO, K., MATSUOKA, J. in HIRAI, Y. Antibacterial properties of antimicrobial-finished textile products. *Microbiology and Immunology*. 2002, vol. 46, no. 2, p. 75–81.
- [10] RADFORD, PJ. Application and evaluation of anti-microbial finishes. *American dyestuff reporter*, 1973, p. 48–59.
- [11] YANG, Y., CORCORAN, L., VORLICEK, K. in LI, S. Durability of some antibacterial treatments to repeated home launderings. *Textile Chemist and Colorist & American dyestuff reporter*, 2000, vol. 32, no. 4, p. 44–49.
- [12] LINDEMANN, B. Trajno antimikrobno oplemenjivanje tekstila. *Tekstil*, 2002, vol. 51, no. 3, p. 136–138.
- [13] PAULUS, W. in PAULI, O. Permanente antimikrobielle ausrüstung von anionsiertem textilmaterial. *Textilveredlung*, 1971, vol. 6, no. 4, p. 217–224.
- [14] KIM, YH. in SUN, G. Dye molecules as bridges for functional modifications of nylon: Antimicrobial functions. *Textile Research Journal*, 2000, vol. 70, no. 8, p. 728–733.
- [15] KIM, YH. in SUN, G. Durable antimicrobial finishing of nylon fabrics with acid dyes and a quaternary ammonium salt. *Textile Research Journal*, 2001, vol. 71, no. 4, p. 318–323.

- [16] LEE, E. in STRAUGBAN, R. Opportunities in micro-encapsulation. *International Dyer*, 2002, September, p. 33–36.
- [17] SUN, G. in XU, X. Durable and regenerable antibacterial finishing of fabrics: Biocidal properties. *Textile Chemist and Colorist*, 1998, vol. 30, no. 6, p. 26–30.
- [18] SUN, G. in XU, X. Durable and regenerable antibacterial finishing of fabrics: Fabric properties. *Textile Chemist and Colorist*, 1999, vol. 31, no. 1, p. 21–24.
- [19] SUN, Y. in SUN, G. Durable and regenerable antimicrobial textile materials prepared by a continuous grafting process. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 84, p. 1592–1599.
- [20] ISQUITH, AJ., ABBOTT, EA. in WALTERS, PA. Surface-bonded antimicrobial activity of an organosilicon quaternary ammonium chloride. *Applied Microbiology*, 1972, vol. 24, no. 6, p. 859–863.
- [21] PERKINS, WS. Functional finishes and high performance textiles. *Textile Chemist and Colorist & American dye-stuff reporter*, 2002, vol. 32, no. 4, p. 24–27.
- [22] CHUNG, YS., LEE, KK. in KIM, JW. Durable press and antimicrobial finishing of cotton fabrics with a citric acid and chitosan treatment. *Textile Research Journal*, 1998, vol. 68, no. 10, p. 772–775.
- [23] LEE, S., CHO, JS. in CHO, G. Antimicrobial and blood repellent finishes for cotton and nonwoven fabrics based on chitosan and fluoropolymers. *Textile Research Journal*, 1999, vol. 69, no. 2, p. 104–112.
- [24] SHIN, Y., YOO, D. in MIN, K. Antimicrobial finishing of polypropylene nonwoven fabrics by treatment with chitosan oligomer. *Journal of Applied Polymer Science*, 1999, vol. 74, no. 12, p. 2911–2916.
- [25] PAYNE, J. From medical textiles to smell-tree socks. *Journal of Society of Dyers and Colorists*, vol. 113, no. 2, p. 48–50.
- [26] *Antibacterial activity of fabrics, detection of: agar plate method*. Standard AATCC 90–1965T.
- [27] WHITE, WC., MONTICELLO, RA., KRUEGER, JW. in VANDENDAELE, P. A comparison of antimicrobials for the textile industry. [http://www. microbeshield.com/comp-tex.htm](http://www.microbeshield.com/comp-tex.htm) [26. 9. 2002].

Prispelo/received: 01–2003; sprejeto/accepted: 04–2003