

Zaštitna odjeća Proban® kvalitete – mogućnosti i rizici

Tea Kaurin, mag.ing.techn.text.
Prof.dr.sc. Tanja Pušić, dipl.ing.
Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Zagreb, Hrvatska
e-mail: tkaurin@ttf.hr
Prispjelo 1.2.2017.

UDK 677.016
Stručni rad

U radu su razrađeni parametri stupnjevite obrade celuloznih materijala sa svrhom postizanja zaštite od topline (FR svojstva) Proban® kvalitete. Istaknuti su potencijalni rizici, poglavito u njezi funkcionalne odjeće ovoga tipa. Dati su i primjeri loše prakse, koji su u potpunosti narušili kvalitetu i stupanj zaštite. Istaknute su ekološke karakteristike obrade i materijala, koje uz izvrsna FR zaštitna svojstva, predstavljaju dodanu vrijednost Proban® artikala.

Ključne riječi: Proban® kvaliteta, celulozni tekstilni materijali, zaštita od topline, održavanje, ekološka pouzdanost

1. Uvod

Funkcionalizacija tekstilnih materijala i odjeće se provodi u svrhu postizanja specijalnih svojstava i povećavanja uporabne vrijednosti. Između ostalih, ona uključuje sredstva i postupke za postizanje zaštitnih svojstava. S obzirom na brojne zahtjeve koji se postavljaju na zaštitnu odjeću, na značenju dobivaju i multifunkcionalne obrade, npr. zaštita od gorenja, mikroorganizama, UV zračenja i sl. Osnovni i specifični zahtjevi na FR zaštitnu odjeću se odnose na:

- otpornost na toplinu, odnosno povišenu temperaturu,
- otpornost na zapaljenje i gorenje pri kontaktu s plamenom,
- otpornost na taljenje i kapanje,
- reflektivnost u području infracrvenog zračenja - IR reflektivnost (engl. *Infra Red*).

Za izradu odjeće za zaštitu od toplinskih utjecaja se koriste materijali specijalnih svojstava koji smanjuju ili u potpunosti eliminiraju potencijalne

rizike. Ti materijali se svrstavaju u jednu od tri kategorije:

- prirodni materijali obrađeni da postanu vatrootporni,
- inherentno vatrootporni,
- mješavine prirodnih obrađenih i inherentno vatrootpornih materijala [1].

Prirodni materijali obrađeni sa svrhom postizanja vatrootpornosti su najčešće celulozni, koji se obrađuju specijalnim postupcima i sredstvima koja čine 22 % mase gotovog materijala. Proizvođači označavaju da će se zaštitna svojstva zadržati tijekom cijelog očekivanog vijeka trajanja odjeće izrađene od vatrootpornih materijala ako se njega provodi u skladu s uputama, što se često navodi kao 50 ciklusa pranja [1].

Inherentno vatrootporni su uglavnom sintetski materijali čija fizikalno-kemijska svojstva uvjetuju vatrootpornost bez njihovih obrada. Takvi materijali ostaju vatrootporni tijekom cijelog vijeka trajanja, a fizikalna

svojstva ovih materijala, npr. čvrstoća i otpornost na habanje su bolja nego kod prirodnih obrađenih materijala [2].

Tekstilije od mješavine prirodnih obrađenih i inherentno vatrootpornih materijala se razvijaju sa svrhom smanjenja cijene i balansiranja nekih svojstava materijala, pri čemu se nastoji zadržati dobar stupanj zaštite sintetskih materijala i udobnost pri nošenju prirodnih materijala [1].

Gorenje tekstilnih materijala je složen i stupnjeviti proces koji uključuje: gorenje, razgradnju, zapaljenje, izgaranje i širenje plamena [1, 3]. Materijali izloženi toplini i plamenu, ovisno o vrsti i svojstvima materijala, te izvoru i duljini izlaganja toplini ili plamenu, mogu reagirati na više načina:

- rastaliti se,
- kapati,
- pougljeniti (ugljkov ostatak kao rezultat nepotpunog gorenja),
- skupljati se,

- zapaliti,
- taliti (materijal se pri zagrijavanju omekša, a hlađenjem se značajno skuplja i postaje krt, te puca).

Celuloza se zagrijavanjem pirolitički razgrađuje u niz hlapljivih gorivih produkata, npr. furfuralni alkohol ili furfural, a kao primarni produkt nastaje levoglukozan. Zagrijavanje celuloze uzrokuje dehidraciju i depolimerizaciju, ovisno o temperaturi i brzini zagrijavanja. Ovdje je vrijedno istaknuti značenje pH vrijednosti, pri čemu kiseli medij pogoduje reakciji dehidracije, a alkalni medij reakciji depolimerizacije. Tijekom zagrijavanja materijala toplinska razgradnja se odvija u nekoliko koraka pri različitim temperaturama, što utječe na konačnu zapaljivost materijala. Niska brzina zagrijavanja pogoduje dehidraciji i tvorbi većeg pougljenjenog ostatka. Viši stupanj dehidracije smanjuje količinu levoglukozana i drugih hlapljivih produkata. Veća brzina zagrijavanja uzrokuje depolimerizaciju celuloze s brzim isparavanjem, te tvorbe veće količine levoglukozana i više zapaljivih plinova [4-6]. Opisana toplinska razgradnja celuloze pri različitim temperaturama se može razmotriti na sljedeći način:

- do 150 °C - gubitak vlage (dehidracija);
- iznad 150 °C - smanjenje molekulske mase i čvrstoće (depolimerizacija);
- 400-700 °C - razvijanje hlapljivih plinova (levoglukozan), završetak depolimerizacije [7].

Na zapaljivost tkanina utječu brojni čimbenici: sirovinski sastav, struktura, konstrukcijske karakteristike, stupanj predobrade i obrade te uvjeti okoline (vlažnost, toplina, strujanje zraka, koncentracija kisika) [2].

Za obradu celuloznih materijala protiv gorenja mogu se primijeniti različita sredstva.

Prema učinku mogu se svrstati u sljedeće kategorije: nepostojana, polupostojana ili postojana. Prva kategorija uključuje vodotopljiva sredstva koja su većinom visokoučinkovita. Međutim, učinkovitost u zaštiti brzo se iz-

gubi u vodenim otopinama. Druga kategorija sredstava uključuje one koja su sposobna podnijeti ispiranje, ali lako ih uklanjaju ili uništavaju jače otopine soli i sapuna, primjerice u slučaju uranjanja u morsku vodu ili tijekom pranja. Postojana sredstva otporna su na djelovanje jačih otopina za ispiranje do umjerene granice uz određene mjere opreza, ovisno o postupku obrade [2]. Stoga se može računati da će zaštititi tkaninu od potpunog izgaranja. Obradeni materijal ne bi trebao gubiti čvrstoću, postojanost na habanje, svjetlo i općenito postojanost, stoga obrada treba biti kemijski inertna i neutralna.

Proizvođačima zaštitne odjeće se postavlja pitanje postojanosti, odnosno trajnosti funkcionalne obrade.

Pomnim istraživanjima se pokazalo da ako je sačuvana zaštita nakon 200 ciklusa pranja-sušenja da se može smatrati da to odgovara životnom ciklusu proizvoda [6, 8].

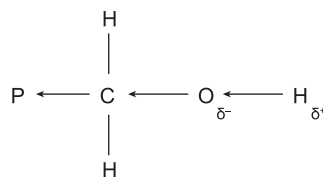
Najčešća komercijalna sredstva za obradu protiv gorenja celuloznih materijala, a ujedno i najpostojanija na

pranje, su na bazi tetrakis-hidroksimetil fosfonijevih soli (THPX) i N-metiloldimetilfosfonopropionamida (MDPA). Glavni nedostatak ovih sredstava je postupno otpuštanje toksičnog formaldehida tijekom proizvodnje, kao i uporabe tako obrađenih tkanina [9].

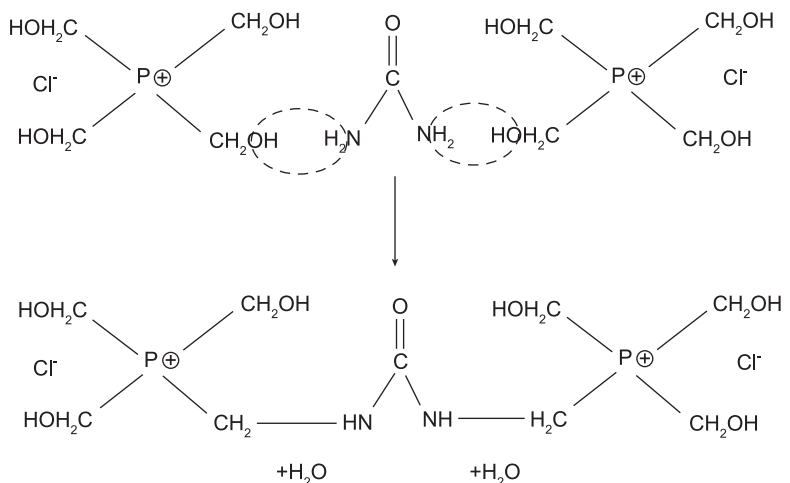
Sustavi koji se temelje na THPX (tetrakis-hidroksimetil fosfonijeve soli), na tržištu su najzastupljeniji kao kloridi (THPC) i sulfati (THPS) te su najvažniji s obzirom na postizanje otpornosti na vatru, odnosno na toplinu celuloznog materijala. THPC je vodotopljiv i stabilan spoj. Fosformetilolne (P-metilolne) skupine su prilično reaktivne radi privlačenja elektrona od strane fosforionog, sl.1.

Stoga se mogu podvrgnuti reakcijama kondenzacije, npr. s drugim P-metilolnim skupinama ili s amino skupinama, poput uree ili amonijaka. Nastali produkt je predkondenzat smola sa šest reaktivnih P-metilolnih skupina koje reagiraju i nastaju umrežene netopljive smole, sl.2 [10].

Smola koja se tvori u kondenzacijskoj reakciji P-metilolnih i N-metilolnih skupina se često primjenjuje u oplemenjivanju tekstila. U gotovo svim slučajevima kondenzacijska polimerizacija se provodi na povišenim temperaturama s kiselim katalizatorom. Osnova za postojanost je tvorba umreženog inertnog polimera unutar vlakna. S obzirom na činjenicu da



Sl.1 Strukturna formula fosfor-metilolne skupine uz prikaz privlačenja elektrona [10]



Sl.2 THPC – Reakcija kondenzacije, P-metilolne skupine i amino skupine [10]

nema kemijske reakcije s celulozom, temeljna fizikalna svojstva celuloznog materijala nisu promijenjena. Proces se može uspješno primijeniti na tkane i pletene plošne tvorevine, neovisno o njihovoj površinskoj masi i konstrukciji.

Proban® obrada se temelji upravo na ovome predkondenzatu. Uvela ju je

tvrtka Albright & Wilson iz Engleske, a danas zaštitna prava i licencija *Rhodia Consumer Specialties* pripadaju tvrtki Rhodia. Prvi put je upotrijebljena 1950-ih godina sa svrhom postizanja postojanosti FR svojstava celuloznih materijala i njihovih mješavina. Većina provedenih temeljnih istraživanja veže se na *Southern*

Regional Research Center, U. S. Department of Agriculture, New Orleans [10].

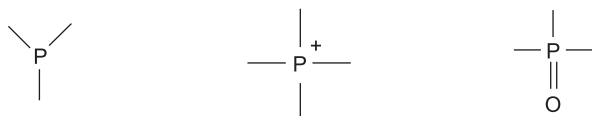
Proban proces je jedinstven po polimerizaciji koja se temelji na plinovitom amonijaku na sobnoj temperaturi. Centralni fosfor atom može biti u jednom od tri stanja (fosfonijum, fosfin i fosfin oksid), sl.3.

Prije impregnacije pH vrijednost predkondenzata fosfonijeve soli se pomoću natrijevog acetata podesi na 6, budući da pri pH 6 veći dio fosfonijeve soli prelazi u oblik fosfina, sl.4. Pri ovoj pH vrijednosti reakcija s amonijakom je potpuna i brza.

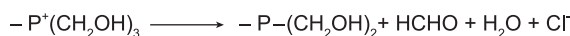
Potpuna, brza i egzotermna polimerizacija daje trodimenzionalni umreženi polimer, sl.5.

Važno je naglasiti različit stehiometrijski odnos atoma dušika i fosfora (N:P) u predkondenzatu i polimeru. Odnos (N:P) 1:1 u predkondenzatu je povećan na 2:1 u polimeru, što je potrebno pratiti radi učinkovite kondenzacije. Bočne reakcije sekundarnih amino skupina mogu povećati ovaj odnos, sl.6 i 7.

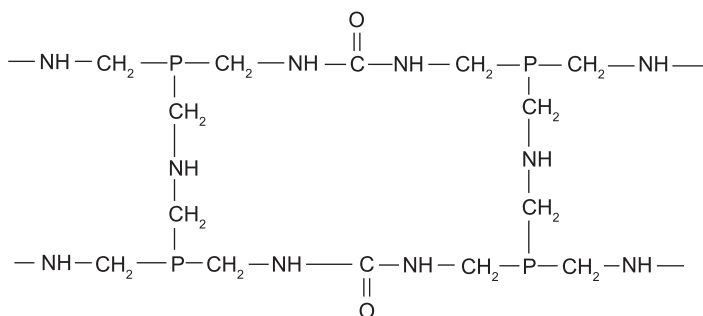
Reaktivnost predkondenzata se smanjuje ako se pH povisi znatno iznad 6 uslijed nastajanja fosfin oksida, sl.8.



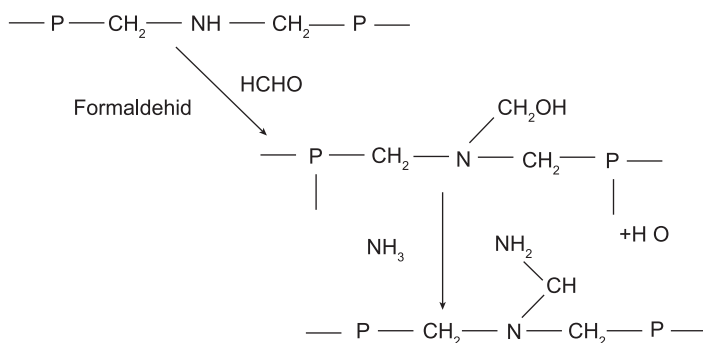
Sl.3 Stanja fosfornog atoma u THPX-u [10]



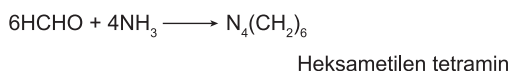
Sl.4 Prijelaz fosfonija u fosfin kod pH 6 [10]



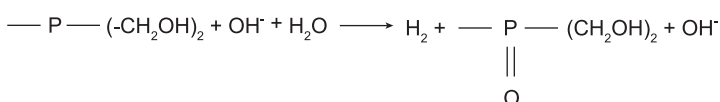
Sl.5 Struktura trodimenzionalnog umreženog polimera [10]



Sl.6 Bočne reakcije sekundarnih amino skupina [10]



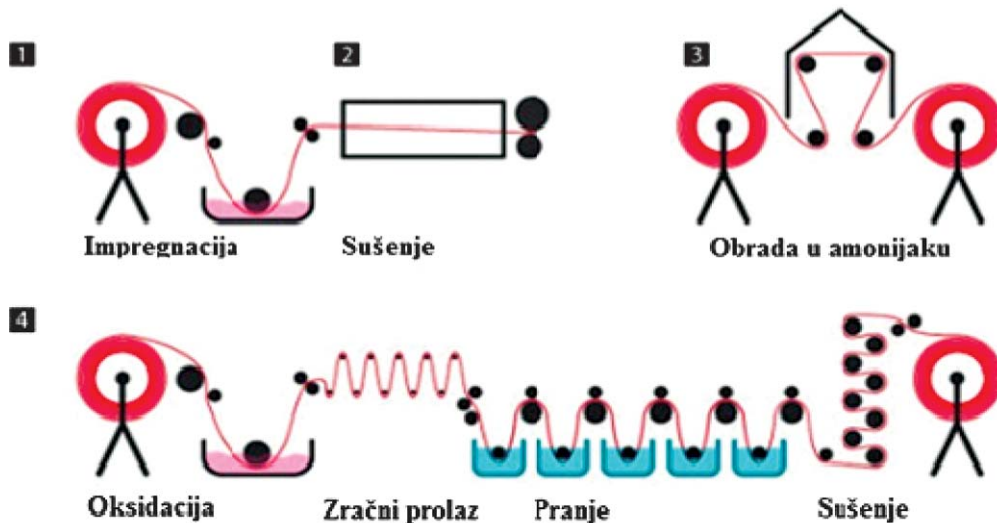
Sl.7 Reakcija formaldehida s amonijakom [10]



Sl.8 Generirani fosfin oksid kod pH > 6 [10]

2. Proban® proces ili obrada

Funkcionalna obrada Proban® se tehnološki provodi u više stupnjeva, sl.9. U ovom procesu provodi se pre-reakcija tetrakis-hidroksimetil fosfonijev klorida (THPC) ili sulfata (THPS) s ureom – nastaju predkondenzati. Otopini predkondenzata se prije nanašanja na pamuk podešava pH, čime se sprečava taloženje netopljivih produkata u ovoj fazi [12]. Tkanine se nakon impregnacije (sl.9 - 1), suše (sl.9 - 2) i obrađuju plinovitim amonijakom (sl.9 - 3) u specijalno oblikovanoj komori gdje se odvija umrežavanje. U ovoj fazi je fosfor još uvijek u nižem (III) oksidacijskom stanju (fosfin oksid). Tkanina se obrađuje vodenom otopinom vodikovog peroksida (sl.9 - 4) radi oksidacije. Ključni faktor je da kraj-

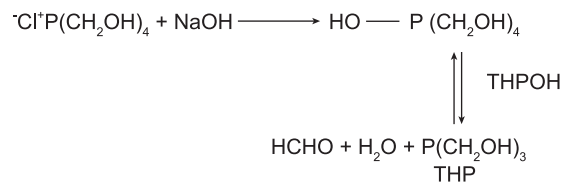


Sl.9 Obrada celuloznog materijala - Proban® [11]

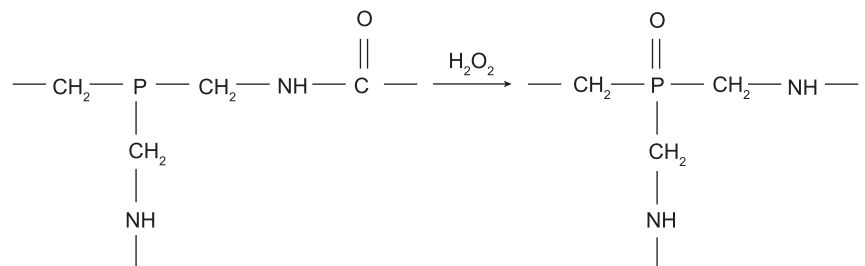
nji proizvod nema hidrolizirane veze na fosforu, koji je potpuno u stabilnoj fosfin oksidnoj strukturi. Rezultat ove reakcije je postojanost obrade kroz 100 ciklusa industrijskog pranja alkalnim deterdžentom. Pamučne tkanine s Proban obradom se prodaju kao Westex's Indura®, Banwear®, FR-7A® i Ultrasoft®, a i pod drugim oznakama. (Sličan proces plinovite amonijeve kondenzacijske provodi se u Europi sa Thor's Aflammit® P). Glavni limitirajući čimbenik ovog procesa je potreba za specijalnom plinskom komorom za amonijak koju posjeduje nekoliko tvornica koje se bave oplemenjivanjem, što značajno povećava trošak ovog procesa. Drugi limitirajući čimbenik je što se za bojadanje pamučnih materijala provodi reduktivnim bojilima. Proban® obrada se može primijeniti i na mješavinama vlakana s pamukom.

2.1. Prijelaz fosfonijeve soli u fosfinjev hidroksid (THPOH)

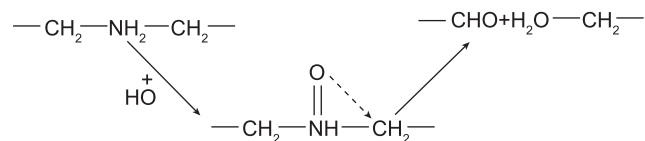
THPOH proces je obrada gdje THP (fosfonijeve soli) prelazi u oblik fosfonijeveg hidroksida, sl.10. Ovaj spoj, THPOH/THP, pokazuje visoku reaktivnost s amonijakom. Reakcija se odvija brzo uz ubrzanje (brzina se naglo povećava) kod pH 6 pri čemu fosfin smoli daje intenzivan miris. Dodatno ima tendenciju sma-



Sl.10 Prijelaz fosfonijeve soli u fosfinjev hidroksid [10]



Sl.11 Prijelaz fosfina u fosfin oksid [10]



Sl.12 Prejaka oksidacija izaziva prekid veza i smanjenje postojanosti [10]

njenja postojanosti tonova boje na svjetlo. Stoga je potrebno nakon polimerizacije provesti oksidativnu obradu otopinom vodikovog peroksida koji omogućava prijelaz fosfina u fosfin oksid, sl.11. Prejaka oksidacija dovodi do nastanka amin-oksida, te posljedično do prekida CH₂-NH₂ veza, te smanjenja postojanosti, sl.12.

3. Primjena Proban® materijala

U početku se Proban® pamučni materijal primjenjivao za dječje pidžame. Danas se tako obrađeni materijali koriste za zaštitnu odjeću za industrijske, vojne i civilne svrhe. Često se koriste za zaštitu radnika koji rade na obradi metala i na zavarivanju jer

Tab.1 Norme u specifikacijama Proban® proizvoda

NORMA - stara	NAZIV	NORMA - nova	NAZIV
EN 470-1	Protective clothing for use in welding and allied processes	EN ISO 11611:2015 HRN EN ISO 11611:2015	Protective clothing for use in welding and allied processes Zaštitna odjeća za uporabu kod zavarivanja i srodnih procesa
EN 531	Protective clothing for workers exposed to heat	EN ISO 11612:2015 HRN EN ISO 11612:2015	Protective clothing – Clothing to protect against heat and flame – Minimum performance requirements Zaštitna odjeća za zaštitu od topline i plamena
EN 533	Protective clothing. Protection against heat and flame. Limited flame spread materials and material assemblies	EN ISO 14116:2015 HRN EN ISO 14116:2015	Protective clothing – Protection against flame – Limited flame spread materials, material assemblies and clothing Zaštitna odjeća – Zaštita od plamena – Materijali, kombinacije materijala i odjeća ograničenog širenja plamena

štiti od prskanja metala kod zavarivanja i rezanja, ali ne nužno u slučaju većih količina tekućeg metala kod ljevarskih radova.

Uz radnu odjeću se prilaže certifikat o kvaliteti odnosno specifikacija, gdje se navode važeće norme. Ovo istraživanje je obuhvatilo analizu ponude Proban odjeće na hrvatskom tržištu, čime je utvrđeno da specifikacije obuhvaćaju norme: EN 470-1, EN 531 i EN 533, koje su povučene, odnosno dopunjene i zamijenjene europskim normama koje su ujedno i međunarodne norme (tab.1). Norma EN ISO 11611 zamjenjuje norme EN 470-1:1995 i EN 470-1:1995/A1:1998, koja je prihvaćena u Hrvatskoj kao HRN EN ISO 11611: Zaštitna odjeća za uporabu kod zavarivanja i sličnih procesa. Normu je pripremio Europski odbor za normizaciju (CEN), Tehnički odbor CEN/TC 162, *Protective clothing including hand and arm protection and lifejackets*, u suradnji sa tehničkim odborom ISO/TC 94, *Personal safety – Protective clothing and equipment*, pododbor SC 13, *Protective clothing*, u skladnosti s Dogovorom o tehničkoj suradnji između ISO i CEN (Bečki sporazum).

Proban® proizvodi se mogu koristiti u svim suvremenim okolnostima gdje postoji rizik od plamena, npr. krevetina i interijerni tekstil, zavjese u hotelima, javnim objektima i institucijama, poput bolnica i staračkih domova. Prilagodba Proban® tkanina za odjeću vatrogasaca je velik izazov

radi potrebe tržišta za funkcionalnim proizvodima ove kategorije. Proban® FR obrada ne utječe na prirodna svojstva pamuka. Materijali ne tinjaju i naknadno ne gore, plamen se ne širi unutar područja pougljenjenja. Proban® tkanine se ne tale, ne oblikuje se rupa kroz koju plamen može prodrijeti, ne nastaju vrući ljepljivi ostaci koji mogu prijanjati na kožu korisnika. Kemijska analiza produkata razgradnje Proban® obrađenih tkanina je pokazala da se te komponente značajno ne razlikuju od produkata sagorijevanja neobrađene tkanine [12].

3.1. Smanjenje stupnja zaštite djelovanjem vanjskih čimbenika

Oštećenje i smanjenje stupnja zaštite Proban® proizvoda može izazvati jako UV zračenje (koje se sastoji od UVA, UVB i UVC zračenja) i mnoštvo iskri ili kapi rastaljenog metala. U takvim situacijama dodatni kožni rukavi i pregače mogu produžiti zaštitna svojstva odjevnog predmeta i pomoći u zaštiti korisnika. Upotrebom materijali mogu oslabiti i ne pružati adekvatnu zaštitu. Ovo je posebno izraženo kad se odjeća koristi u nekim postupcima elektrolučnog zavarivanja (posebno pri MIG/MAG zavarivanju), koji je jedan od zastupljenijih postupaka zavarivanja u svijetu. MIG/MAG postupak zavarivanja je zavarivanje u zaštiti plina Ar, CO₂ ili mješavini plinova [13]. Uobičajena provjera stupnja zaštite ovog tipa odjeće od UV zračenja (npr.

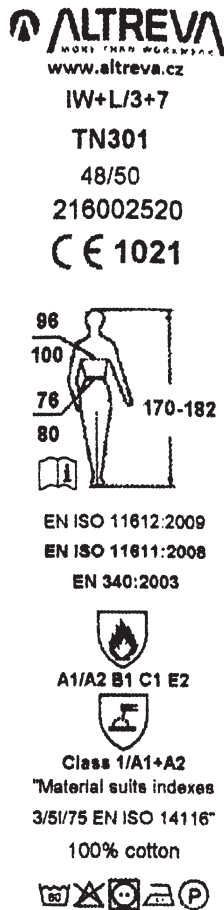
tjedna provjera) je izlaganje odjevnog predmeta ispred svjetlosti volframove žarulje od 100 W na udaljenosti duljine ruke (otprilike 1 m udaljenosti). Ako tkanina propušta svjetlost, onda će i UV zračenje također prolaziti.

Dodatno, korisnika treba savjetovati da ako osjeti simptome opekline prilikom izlaganja Sunčevoj svjetlosti, UVB zračenje prolazi. U svakom slučaju, odjevni predmet mora se popraviti (ako je moguće) ili zamijeniti i uzeti u obzir da se ubuduće koriste dodatni, otporniji, zaštitni slojevi [13].

4. Održavanje Proban® proizvoda

Proban® oznaka koja se dodjeljuje svim proizvodima načinjenim od Proban® obrađenih tekstilnih materijala, ispitanih i certificiranih od *Rhodia Consumer Specialties Limited* sadrži osnovne preporuke za njegu ovih proizvoda. FR svojstva Proban® obrađenih materijala (najčešće tkanina) će se održati ako se osiguraju uvjeti pranja ili kemijskog čišćenja u skladu s preporukama. Na sl.13 je prikazan primjer ušivne etikete s oznakom njege.

Proban® materijal gubi zaštitna svojstva ako se odjeća onečisti zapaljivim tvarima. Prljava, vlažna i znojna odjeća ima smanjen stupanj zaštite, zbog toga je važno odjeću držati na suhom mjestu. Ne smije se izlagati direktnoj Sunčevoj svjetlosti da ne bi došlo do promjene tona boje. Tempe-



Sl.13 Ušivna etiketa Proban® odjeće
češkog proizvođača Altreva
s hrvatskog tržišta

rature pranja koje se preporučuju za pamuk se prilagođavaju radi izbjegavanja ekstremnog skupljanja ili promjene tona [10].

Također, treba paziti i izbjegavati lomove i nabore tijekom odlaganja i spremanja. Oksidativna sredstva poput natrijevog hipoklorita (NaClO) je potrebno izbjegavati u postupcima njege. Hipokloritne kupelji se ne smiju koristiti u pranju i obradi jer kemijski djeluju na Proban® apreturu i smanjuju stupanj zaštitnih svojstava tkanine. Pojedinačna i nasumična primjena neće narušiti FR svojstva materijala.

U laboratorijskim ispitivanjima obrade s THPOH-amid i THPC-urea je utvrđeno da su svojstva negorivosti izgubljena već nakon deset ciklusa pranja zbog direktnog gubitka fosfora koji je uvjetovan djelovanjem klora na smolu. Upravo stoga ovakve FR obrade se prodaju s jasnim upozore-

njem da se ne smiju koristiti bjelila na bazi klora [10].

Visoke koncentracije natrijevog perborata u formulaciji deterdženata mogu također prouzročiti postepeno oštećenje FR svojstava, posebno ako se pranje provodi uzastopno na visokim temperaturama u tvrdoj vodi. Stoga, deterdžent koji sadrži visok udio natrijevog perborata treba imati kvalitetan bilder.

Razrijeđene hladne ili tople otopine vodikovog peroksida se mogu upotrijebiti za uklanjanje mrlja koje iziskuju upotrebu bjelila, pri čemu se ne smiju upotrijebiti u svakom ciklusu održavanja. Uzastopnu upotrebu otopine vodikovog peroksida (H_2O_2), poglavito uz prisustvo metalnih iona, je potrebno izbjegavati.

Fosfat, fosfonat ili skupine fosforne kiseline djeluju kao Lewisove kiseline i omogućavaju fazu kondenzacije kod FR obrade. Općenito, stabilne kalcijeve i magnezijeve soli imaju sposobnost smanjivanja FR učinaka celuloznih materijala. Na sl.14 prikazano je nastajanje kalcijeve soli diamonijevog fosfata kao sredstva za postizanje FR učinka na celuloznom materijalu, gdje slobodne fosfatne skupine vežu kalcijeve ione iz tvrde vode mehanizmom ionske izmjene.

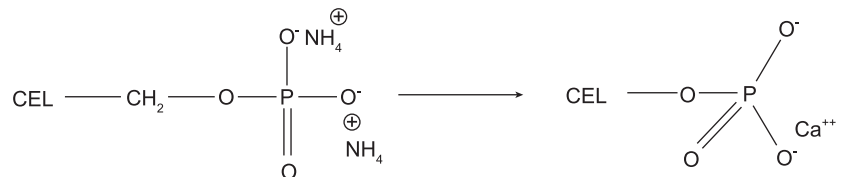
U vodi netopljive kalcijeve i magnezijeve soli, ovisno o koncentraciji, položaju i kemijskoj konstituciji, mogu prouzročiti smanjenje otpornosti na gorenje već nakon nekoliko ciklusa kućanskog pranja, npr. 20 ciklusa, te ostale neželjene učinke

kao promjenu tona obojenja, istrošenosti, promjene mehaničkih svojstava i opipa [10].

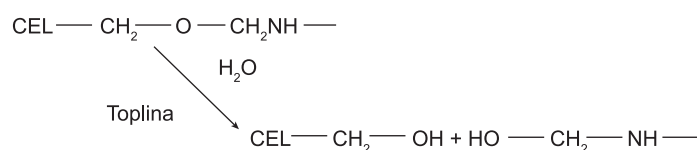
Fosfonati koji se koriste u nekim drugim sredstvima, npr. Pirovatex CP, su manje osjetljivi na ovaj problem, iako i oni pokazuju blaga iono-izmjenjivačka svojstva.

Većina deterdženata za široku potrošnju sadrži sintetske tenzide, koji imaju svojstvo kontroliranog pjenjenja koje se može regulirati upravo dodatkom sapuna. Pranjem u tvrdoj vodi postoji rizik nastanka i taloženja kalcijevih sapuna na materijal koji mogu maskirati FR svojstva materijala. Dodatno, ti sapuni su zapaljivi. U komercijalnom pranju mogu se ukloniti postupkom neutralizacije blagom kiselinom. Pranje sa sapunima i dodatkom sredstava za bjeljenje može prouzročiti smanjenje stupnja zaštite od topline. Također je kod naknadne obrade omekšivačima potrebno obratiti pozornost na njihovu koncentraciju, budući da u visokim koncentracijama mogu maskirati, odnosno prekriti površinu i smanjiti FR zaštitu.

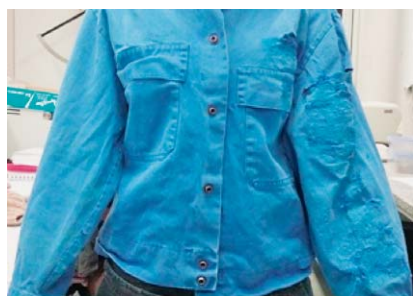
Kod Proban® bolničkog rublja primjena sterilizacije parom može znatno utjecati na FR svojstva, taj utjecaj u prvom redu ovisi o jakosti kovalentnih veza sa celulozom. Apreture na bazi THPC su postojane, ali neke apreture na bazi fosfonata mogu izgubiti do 60 % dodanog fosfora samo nakon 5 ciklusa sterilizacije parom, što dovodi do potpunog gubitka FR svojstava. Mogući razlog je hidroliza eterske veze na celulozi, sl.15 [10].



Sl.14 Nastajanje kalcijeve soli diamonijevog fosfata na celuloznom materijalu [10]



Sl.15 Hidroliza eterske veze tijekom sterilizacije parom [10]



Oštećena jakna radnog odijela



Oštećen lijevi rukav



Oštećen stražnji dio



Oštećen desni rukav

Sl.16 Oštećenja nastalu u neprilagođenim uvjetima pranja

Djelovanjem navedenih sredstava moguć je gubitak i estetskih svojstava obrađenog pamuka. Stoga je važno paziti na postupke održavanja jer je pamuk obrađen protiv gorenja 20-50 % skuplji u odnosu na neobrađeni pamuk.

4.1. Primjeri loše prakse

Prethodno je istaknuta činjenica da Proban® radna odjeća ima svojstva vrhunske zaštite od topline, ali naglašeno je također da je jako važno kako se održava i odlaže. Uvjeti pranja kroz 15 ciklusa, gdje je korišten natrijev hipoklorit i sredstva za lokalno uklanjanje mrlja, mogu narušiti svojstva, dovesti do oštećenja i gubitka funkcionalnosti zaštitne odjeće, sl.16.

5. Ekološka pouzdanost

Ekološka pouzdanost tekstilnih proizvoda doprinosi njihovoj dodanoj vrijednosti [14, 15]. Brojne studije koje su provele neovisne institucije sa

svrhom određivanja toksikoloških svojstava Proban® polimera i Proban® obrađenih tekstilnih materijala potvrdile su da Proban® polimer nije štetan. Detaljne studije o iritaciji kože ljudi volontera su potvrdile da Proban® obrađene tkanine ne iritiraju kožu i ne izazivaju hipersenzitivnost. Kroz gotovo pedeset godina primjene u mnogim aplikacijama i zemljama nisu zabilježene iritacije ili neki drugi zdravstveni problemi koji se mogu pripisati Proban® obradi. Krajnji Proban® proizvodi, uključujući odjeću i posteljinu se deklariraju kao ekološki pouzdani, nemaju nikakve štetne posljedice za korisnike i u potpunosti ispunjavaju stroge zahtjeve Öko-Tex® 100.

6. Zaključno razmatranje

Proban® obrada je, unutar postojećih postupaka, dobar izbor za povećanje otpornosti na gorenje, odnosno toplinske otpornosti celuloznih materi-

jala (FR učinak). Za postizanje i trajnost visokog stupnja zaštite je potrebno optimirati procesne parametre ove stupnjevite obrade. S obzirom na promjene u načinu njege funkcionalnih proizvoda neophodno je pratiti utjecaj suvremenih profesionalnih sredstava za održavanje i lokalno tretiranje tekstilnih proizvoda Proban® kvalitete. Potencijalni rizici koji mogu progresivno narušiti funkcionalnost ovih proizvoda iziskuju interdisciplinarni pristup i suradnju stručnjaka iz područja tekstilne tehnologije, sigurnosti i zaštite.

Literatura:

- [1] Horvat J., A. Regent: Osobna zaštitna oprema, izdavač Veleučilište u Rijeci ISBN - 978-953-6911-43-1, 2009.
- [2] Flinčec-Grgac S., A. Katović, D. Katović: Zaštita od gorenja, poglavlje 11. u Mladi znanstvenici u istraživanju zaštitnih tekstilija, S. Bischof, D. Katović (ur.) ISBN 978-953-7105-41-9, Zagreb, 2011.
- [3] Horrocks A.R.: Flame retardant finishing of textiles, Coloration Technology, 16 (1986.) 62/101
- [4] Shafizadeh F., Y.L. Fu: Pyrolysis of Cellulose, Carbohydrate Research 29 (1973) 113-122
- [5] Alongi J., G. Camino, G. Mallucelli: Heating rate effect on char yield from cotton, PES and blend fabrics, Carbohydrate Polymers, 92 (2013.) 1327-1334
- [6] Botteri L.: Istraživanje silikatnih i silikonskih spojeva za pirofobnu obradu pamuka, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 2015.
- [7] Magovac E., S. Bischof: Nehalogeni obrada protiv gorenja celuloznih tekstilnih materijala, *Tekstil* 64 (2015.) 9-10, 285-297
- [8] Baljinder K. Kandola, A. Richard Horrocks: Complex Char Formation in Flame-Retarded Fiber/Intumescent Combinations: Physical and Chemical Nature of Char1, članak *Textile Research Journal* 69 (1999.) 5, 374-381
- [9] Horrocks A.R., D. Price: Advances in fire retardant materials,

- Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 2008, ISBN 978-1-84569-262-9
- [10] Carr C.M.: Chemistry of the Textile Industry, Blackie Academic & Professional, London, 1995.
- [11] Proban® Personal Protective Equipment; <https://www.rofa.eu/proban>, od 02.09.2016.
- [12] Yang C.Q., E.D. Weil: Flame retardant textiles, Chapter in book: Functional protective textiles, S. Bischof (ed.) Zagreb 2012, ISBN – 978-953-7105-45-7
- [13] MIG/MAG postupak zavarivanja; <http://www.cromatec.hr/mig-mag-postupakzavarivanja/>, od 02.09.2016.
- [14] Kirin S., R. Čunko: Öko-Tex Standard 100 - sustav certificiranja ekološke pouzdanosti tekstilija, *Tekstil* 48 (1999.) 6, 299-306
- [15] Eko-oznake; <http://www.mzoip.hr/hr/okolis/eko-oznake.html>, od 02.09.2016.

SUMMARY

Protective clothing Proban® quality - features and risks

T. Kaurin, T. Pušić

This paper elaborates stepwise treatment of cellulose materials with aim of flame retardancy of Proban® quality. Possible risks, especially in maintenance of Proban® products are reported. Also, examples of bad practices are given that have completely disrupted the quality and degree of protection. The ecological characteristics of the finish and materials have been highlighted, which are certainly added value of Proban® products to existing FR protective properties.

Key words: Proban® quality, cellulose materials, flame retardancy, textile care, ecological characteristics

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology

Zagreb, Croatia

e-mail: tkaurin@ttf.hr

Received February 1, 2017

Proban®-behandelte Schutzkleidung - Eigenschaften und Risiken

In diesem Artikel wird eine schrittweise Behandlung von Cellulosematerialien, um eine dauerhafte flammhemmende Proban®-Ausrüstung zu erzielen, dargestellt. Mögliche Risiken, vor allem bei der Pflege von mit Proban® ausgerüsteten Kleidungsstücken sind hervorgehoben. Es werden auch Beispiele für schlechte Praktiken, die die Qualität sowie den Schutzgrad völlig gestört haben, angegeben. Die ökologischen Eigenschaften der Ausrüstung und der Materialien wurden hervorgehoben, die sicherlich einen Mehrwert von Proban®-Produkten gegenüber bestehenden FR-Schutzeigenschaften darstellen.