

UDK 66:54(05)

CODEN HMIDA 8

YU ISSN 0367-598 X

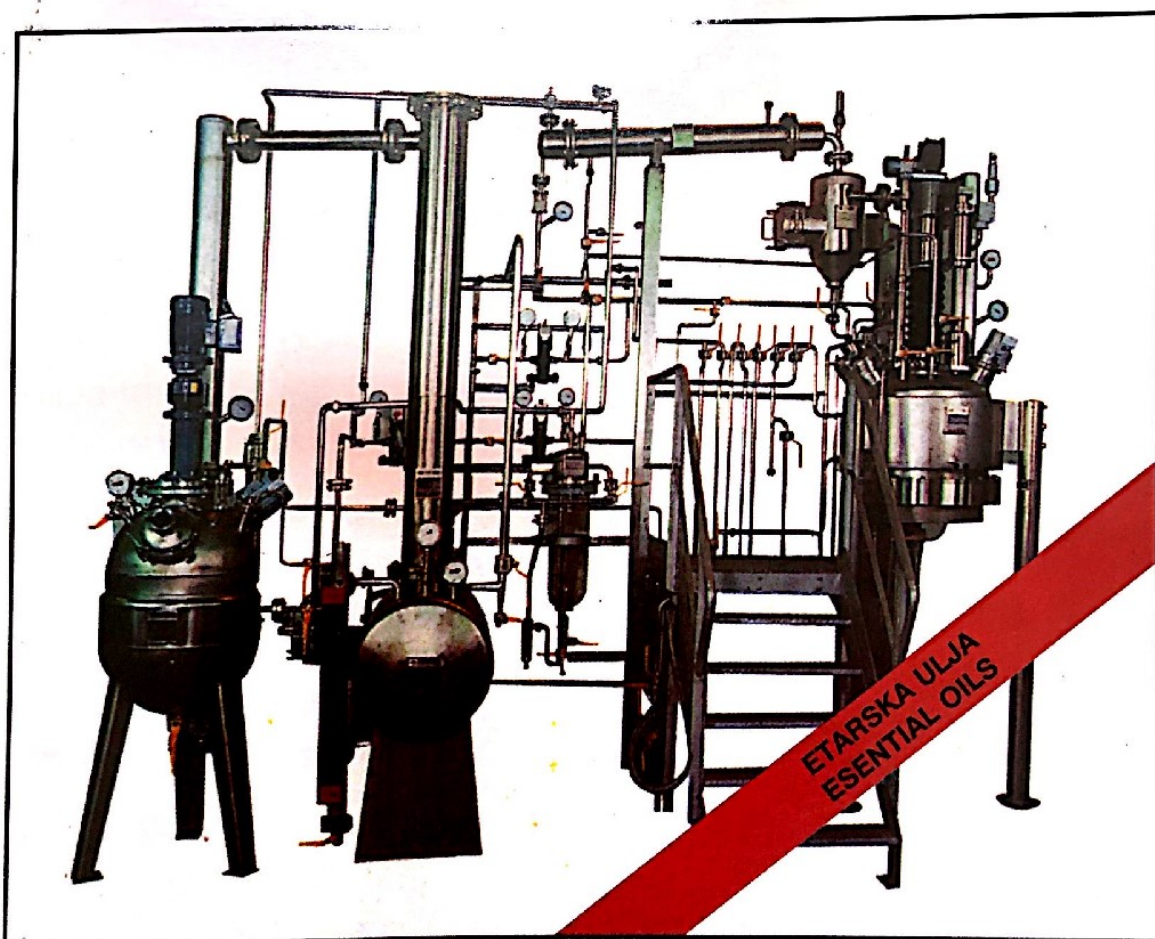
# 4-5

vol. 53

# Hemijska industrija

Časopis za hemiju, hemijsko  
inženjerstvo i tehnologiju

## Chemical Industry



BEOGRAD, APRIL-MAJ 1999.

HMIDA 8, 53 (4-5) 89-142 (1999)



# Hemijska industrija

Časopis Saveza hemičara  
i tehnologa Jugoslavije

Chemical Industry

Химическая промышленность

Journal of the Federation of Chemists and Technologists of Yugoslavia

Журнал Союза химиков и технологов Югослави

VOL. 53

Beograd, April-maj 1999.

Broj 4-5

**Izdavač:**

Savez hemičara i tehnologa Jugoslavije  
Beograd, Kneza Miloša 9/I

**Glavni i odgovorni urednik:**  
Dejan Skala

**Uredništvo:**

Željko Grbavčić, Bojan Đorđević, Stjepan  
Leveta, Jovan Mičić, Milorad Sokić, Slobodan  
Šerbanović, Aleksandar Tasić

**Členovi uredništva iz inostranstva:**

Vladimir Beskov (Rusija), Dragomir Bukur  
(SAD), Jiri Hanika (Češka Republika), Valerij  
Meshalkin (Rusija), Ljubiša Radović (SAD),  
Constantinos Vayenas (Grčka)

**Likovno-grafičko rešenja naslovne strane:**  
Milan Jovanović

**Redakcija:**

11000 Beograd, Kneza Miloša 9/I  
Tel.: 011/3240-018, tel/fax: 011/3231-397

Izlazi jednom mesečno, rukopisi se ne vraćaju

**Sekretar redakcije:**  
Slavica Desnica

**Plasman i publicitet:**  
Dušan Milosavljević

**Izdavanje časopisa pomažu**

Savezno Ministarstvo za razvoj, nauku i  
životnu sredinu  
Ministarstvo za nauku i tehnologiju Srbije

Uplata pretplate i oglasnog prostora vrši se  
na žiro račun Saveza hemičara i tehnologa  
Jugoslavije, Beograd, broj 40803-678-9-5327,  
SPP, Beograd

**Kompjuterska priprema:**  
Mirjana Rapajić

**Štampa:**

"Marina", Beograd, Kneza Miloša 9/IV  
tel. 011/3241-658

Oslobodeno osnovnog i posebnog poreza  
na promet na osnovu mišljenja Ministarstva za  
nauku i tehnologiju Republike Srbije, br. 413-  
00-769-1/94-01 od 7. decembra 1994. godine

## SADRŽAJ

Dušan K. Grozdanić, Kritički prikaz modela za predskazivanje gustine tečnosti organskih supstanci (Pregledni rad) .....	89
Tatjana Mihajlidi, Svetlana Milosavljević, Damjana Simić, Koviljka Asanović, Metode za neutralizaciju statičkog naelektrisanja na tekstilnim materijalima (Pregledni rad) .....	94
Vesna B. Barišić, Mladen S. Ilić, Simeon N. Oka, Branimir S. Jovančićević, Termogravimetrijsko proučavanje pirolize nekih domaćih ugljeva (Naučni rad) .....	101
Vasilije M. Manović, Borislav D. Grubor, Branimir S. Jovančićević, Uticaj uslova sagorevanja na zadržavanje sumpora u pepelu nekih domaćih ugljeva (Naučni rad) .....	107
Dragan M. Dramlić, Ispitivanje tri tipa katalitičkih senzora (pelistora) na metan (Naučni rad) .....	112
Ljubica M. Pavlović, Zagorka S. Aćimović, Sinteza i karakterizacija kordieritne keramike na bazi sopolita (Naučni rad) .....	119
Dejan Skala, Irena Žižović, Slobodan S. Petrović, Etarska ulja – destilacija, ekstrakcija, izbor tehnologije i kvalitet (Pregledni rad) .....	123
PRIVREDNE VESTI .....	139
TEHNOLOŠKE NOVOSTI .....	140
NOVI APARATI I UREĐAJI .....	141
ZAŠTITA OKOLINE .....	142

## CONTENTS

Dušan K. Grozdanić, A critical review of relations for predicting the liquid density of organic compounds (Review paper) .....	89
Tatjana Mihajlidi, Svetlana Milosavljević, Damjana Simić, Koviljka Asanović, Static electricity neutralization methods of textile materials (Review paper) .....	94
Vesna B. Barišić, Mladen S. Ilić, Simeon N. Oka, Branimir S. Jovančićević, Thermogravimetric investigation of the pyrolysis of some domestic coals (Scientific paper) .....	101
Vasilije M. Manović, Borislav D. Grubor, Branimir S. Jovančićević, The influence of combustion conditions on sulfur retention in some domestic coal ash (Scientific paper) .....	107
Dragan M. Dramlić, Investigation of three types of catalytic sensors (pellistor) on methane (Scientific paper) .....	112
Ljubica M. Pavlović, Zagorka S. Aćimović, Synthesis and characterization of cordierite ceramics based on sopolite (Scientific paper) .....	119
Dejan Skala, Irena Žižović, Slobodan S. Petrović, Essential oil – hydro and steam distillation, extraction, technology assessment and quality (Review paper) .....	123
BUSINESS NEWS .....	139
SCIENCE AND TECHNOLOGY NEWS .....	140
NEW APPARATUS AND EQUIPMENT .....	141
ENVIRONMENTAL PROTECTION .....	142

TATJANA MIHAJLIDI  
SVETLANA MILOSAVLJEVIĆ  
DAMJANA SIMIĆ  
KOVILJKA ASANOVIĆ

Tehnološko-metalurški  
fakultet, Univerzitet u  
Beogradu

PREGLEDNI RAD

593.24:667.06

## METODE ZA NEUTRALIZACIJU STATIČKOG NAELEKTRISANJA NA TEKSTILNIM MATERIJALIMA

*Dielektrična svojstva tekstilnih materijala uslovljavaju pojavu statičkog naelektrisanja pri njihovom kontaktu sa drugim telima. Statičko naelektrisanje često nepovoljno utiče na ponašanje tekstilnih materijala kako u proizvodnim uslovima tako i pri korišćenju. Stoga je važno poznavati veličinu statičkog naelektrisanja i primenjivati adekvatne metode za njegovo smanjenje. Dat je pregled važnijih metoda za neutralizaciju statičkog naelektrisanja na tekstilnim materijalima.*

Tekstilni materijali su u stalnom kontaktu sa drugim tekstilnim materijalima, sa delovima mašina u procesu proizvodnje, sa telima korisnika pri upotrebi. Kako su električne otpornosti tekstilnih materijala u većini slučajeva veoma velike takvi kontakti prouzrokuju pojavu statičkog naelektrisanja, što može značajno da ometa postupke njihove prerade, a takođe da dovede do neželjenih posledica u eksploatacionim uslovima. Tako, na primer, statičko naelektrisanje može da izazove u procesu proizvodnje požar usled električnog pražnjenja, da naruši orijentaciju vlakana u produktima pređenja, izazove pojavu maljavosti, povećava kidljivost pri tkanju, izazove probleme pri skladištenju, potencira sklonost ka prljanju usled privlačenja čestica prašine, itd. Pri upotrebi tekstilnih materijala takođe postoji niz neželjenih efekata koje izaziva statičko naelektrisanje: jedna od nezgoda je povećano prljanje i problemi oko uklanjanja nečistoća, zatim prijanjanje tekstilnog materijala za čovečije telo i druge tekstilne materijale što izaziva osećaj nelagodnosti, povećanje pilinga, i najzad fiziološke smetnje čiji mehanizam nije do kraja razjašnjen ali su evidentne patološke reakcije na nervnom sistemu, srcu i krvnim sudovima pri dovoljno visokim vrednostima pozitivnog statičkog naelektrisanja [1-10].

Statičko naelektrisanje nastaje kao posledica razdvajanja naelektrisanja pri međusobnom kontaktu delova tekstilnih materijala i dodiru tekstilnih materijala sa nevlaknastim telima. Mehanizam takvog razdvajanja naelektrisanja još nije u potpunosti razjašnjen. Pri kontaktu i razdvajanju dveju nenaelektrisanih površina različitog sirovinskog sastava dolazi do migracije naelektrisanja sa jedne kontaktne površine na drugu. Kontakt tekstilnog materijala sa drugim dielektrikom prouzrokuje generisanje statičkog naelektrisanja čiji su veličina i znak posledica razlike u izlaznim radovima naelektrisanja sa dodirnih

površina i veličine faktičke dodirne površine kao i prisustva nečistoća i ostalih stranih tela. Za ocenu znaka statičkog naelektrisanja mnogi autori daju t.zv. triboelektrične nizove koji pokazuju da li će posmatrani dielektrik biti u dodiru sa drugim dielektrikom pozitivno ili negativno naelektrisan. Karakterističan izgled triboelektričnog niza za neke dielektrike sa kojima je tekstilni materijal često u kontaktu prikazan je u tabeli 1 [3, 4].

Iz podataka u tabeli 1 se može oceniti kakav će da bude polaritet materijala naznačenog u gornjem redu tabele pri njegovom kontaktu sa materijalom naznačenim u levoj koloni tabele. Pri međusobnom kontaktu materijala istog sirovinskog sastava nastalo statičko naelektrisanje je veoma malo i teško se može detektovati. Zato se linija koja obeležava kontakt jednorodnih materijala naziva neutralna linija. Neutralna linija je postavljena po dijagonali tabele i deli negativno od pozitivnog statičkog naelektrisanja.

Mnogi efekti doprinose razdvajanju naelektrisanja kao što su: uvek prisutno tangencijalno kretanje jedne površine u odnosu na drugu kod tekstilnih materijala u procesu proizvodnje i eksploatacije (triboelektricitet); napanje kontaktnih površina usled pritiska pod kojim se nalaze (piezoelektrični efekat); piroelektrični efekat kao posledica zagrevanja površina i drugi [1, 7, 13-16].

Na svakoj kontaktnoj površini se dešavaju istovremeno dva procesa: stvaranje (generacija) statičkog naelektrisanja određenog polariteta i rasipanje (disipacija) naelektrisanja. Statičko naelektrisanje je prisutno na tekstilnom materijalu kada je ravnoteža između ova dva procesa narušena [4]. Intenzitet i brzina rasipanja generisanog statičkog naelektrisanja su obrnuto srazmerni njegovoj električnoj otpornosti. Smatra se da granična vrednost specifične otpornosti odevnih predmeta pri kojoj se još ne manifestuju fiziološke smetnje iznosi  $10^{11}$ - $10^{12}$   $\Omega$ m. Stoga je borba sa statičkim naelektrisanjem jedan od neminovnih zadataka u tekstilnoj industriji, naročito kada su u pitanju sintetički tekstilni materijali izrazito velike električne otpornosti [1-4, 7].

Adresa autora: T. Mihajlidi, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 11000 Beograd, Karnegijeva 4  
Rad primljen: April 23, 1999  
Rad prihvaćen: Maj 30, 1999

Tabela 1. Triboelektrični niz  
Table 1. Triboelectric series

	vuna	svila	poli- amid	acetat	viskoza	pamuk	lan	drvo	koža	triacetat	poli- estar	poliakril	poli- propilen
vuna	/	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
svila	-	/	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
poliamid	-	-	/	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
acetat	-	-	-	/	+	+	+	+	+	+	+	+	+
viskoza	-	-	-	-	/	+	+	+	+	+	+	+	+
pamuk	-	-	-	-	-	/	+	+	+	+	+	+	+
lan	-	-	-	-	-	-	/	+	+	+	+	+	+
drvo	-	-	-	-	-	-	-	/	+	+	+	+	+
koža	-	-	-	-	-	-	-	-	/	+	+	+	+
triacetat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/	+	+	+
poliester	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/	+	+
poliakril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/	+
polipropilen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/

Istraživanja u vezi sa statičkim naelektrisanjem na tekstilnim materijalima se odvijaju uglavnom u dva osnovna pravca:

- Iznalaženje postupaka za sniženje statičkog naelektrisanja na tekstilnim materijalima

- Razvoj metoda za karakterizaciju i kontrolu sklonosti tekstilnih materijala ka generisanju statičkog naelektrisanja putem određivanja količine statičkog naelektrisanja na tekstilnim materijalima ili merenjem njihove električne otpornosti, koja je u direktnoj vezi sa sklonošću ka stvaranju i zadržavanju statičkog naelektrisanja na njima [11, 12].

## 1. POSTUPCI ZA SNIŽENJE STATIČKOG NAELEKTRISANJA NA TEKSTILNOM MATERIJALU

Najvažniji postupci borbe sa statičkim naelektrisanjem na tekstilnim materijalima šematski su prikazani na slici 1.

Borba sa statičkim naelektrisanjem na tekstilnom materijalu uključuje skup metoda koje imaju kao konačan cilj smanjenje statičkog naelektrisanja na tekstilnim materijalima radi suzbijanja njegovih negativnih uticaja u proizvodnji i eksploataciji [1].

To podrazumeva niz postupaka kojima se smanjenje statičkog naelektrisanja postiže na različite načine. Oni se mogu se grubo podeliti u dve osnovne grupe.

Jedna grupa postupaka postiže smanjenje statičkog naelektrisanja na tekstilnom materijalu dejstvom spoljnjih agenasa, ne menjajući pri tome svojstva tekstilnih materijala. Takav efekat se postiže najčešće kontak-

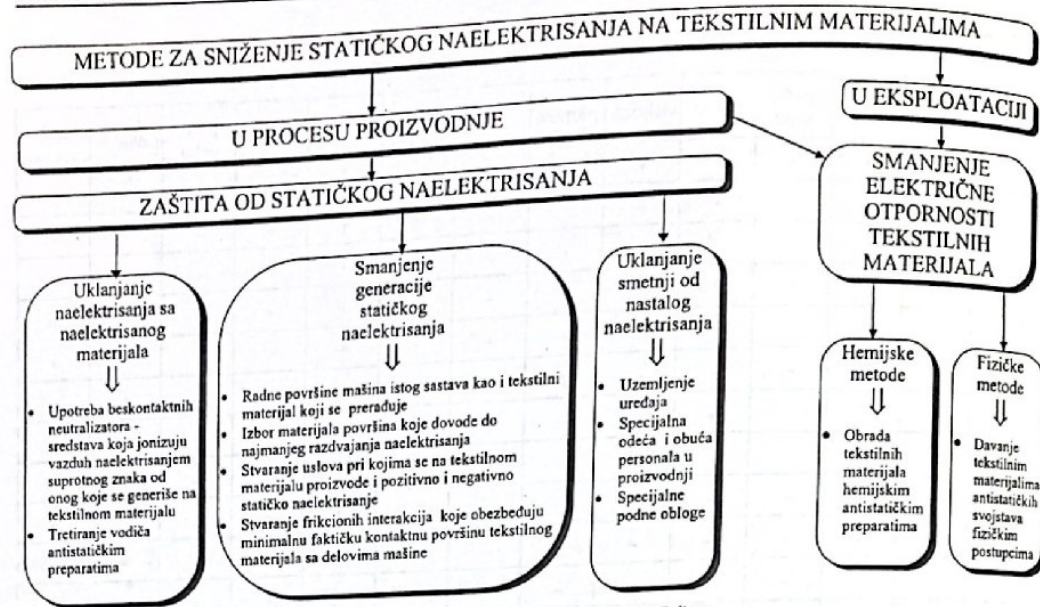
tom sa drugim telima što dovodi do smanjenja stvaranja statičkog naelektrisanja, ili uklanjanjem nastalog statičkog naelektrisanja neutralizacijom putem kontakta sa jona suprotnog znaka.

Druga grupa postupaka se sastoji u promenama svojstava tekstilnih materijala koja bi omogućila brže otklanjanje (relaksaciju) naelektrisanja sa tekstilnog materijala [1, 8, 9, 17-24].

### 1.1. Smanjenje statičkog naelektrisanja na tekstilnom materijalu dejstvom spoljnjih agenasa

Izrazito najjednostavniji, najčešće primenjivan i najefikasniji način zaštite od elektrostatičkog naelektrisanja u proizvodnji je primena neutralizatora – uređaja koji jonizuju vazduh u blizini tekstilnog materijala tako da proizvodnjom naelektrisanja suprotnog znaka od onog koje se generiše na tekstilnom materijalu ubrzavaju uklanjanje naelektrisanja sa tekstilnog materijala.

Neutralizatori mogu da budu sa lokalnim dejstvom ili sa ili sa strujanjem fluida koji naelektrisane čestice prenosi ka tekstilnom materijalu u proizvodnji. Upotreba neutralizatora ima i prednosti većine beskontaktnih metoda – ne izaziva promene na tekstilnom materijalu. Mehanizam funkcionisanja najčešće primenjivanih neutralizatora statičkog naelektrisanja šematski je prikazan na slici 2. Sa slike 2 se vidi da neutralizatori mogu da budu uređaji sa lokalizovanim dejstvom i sa transportom naelektrisanih čestica usmerenim strujanjem fluida ka regionima u kojima se nalazi naelektrisani tekstilni materijal.



Slika 1. Shema postupaka za borbu sa statičkim naelektrisanjem na tekstilnim materijalima  
Figure 1. The scheme of existing methods for reduction of textile materials static electricity



Slika 2. Neutralizatori statičkog naelektrisanja A - lokalni; B - sa usmerenim strujanjem jonizovanog fluida  
Figure 2. Neutralizers of static electricity: A - local; B - with directed flow of an ionized fluid

### 1.1.1. Neutralizatori sa lokalizovanim dejstvom

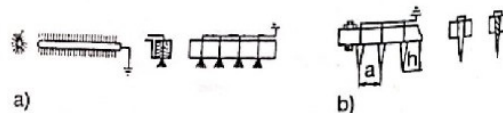
Kod neutralizatora sa lokalizovanim dejstvom izvor naelektrisanih čestica se montira na mašine na pogodnim mestima u odnosu na naelektrisani tekstilni materijal u pokretu. Naelektrisane čestice se najčešće proizvode koronarnim pražnjenjem ili pomoću radioaktivnih izvora jonizujućeg zračenja.

Pri generisanju naelektrisanih čestica pomoću koronarnog pražnjenja neutralizatori moraju da poseduju delove sa izuzetno ostrim krivinom i samim tim velikim intenzitetom elektrostatičkog polja (efekat šiljka), a čestice se formiraju putem koronarnog pražnjenja. Korona je samostalno pražnjenje između dve elektrode od kojih bar jedna ima mali poluprečnik krivine usled čega je

električno polje u okolini takve elektrode daleko jače nego u ostalom delu međuelektrodnog prostora. Jako električno polje ubrzava naelektrisane čestice u blizini takve elektrode. Ubrzane čestice se sudaraju sa česticama gasa izazivajući udarnu jonizaciju, povećanje broja jonizovanih čestica i samostalno pražnjenje. Jako elektrostatičko polje može da se formira, pri dovoljno velikom statičkom naelektrisanju generisanom na tekstilnom materijalu u toku proizvodnje, na šiljku u njegovoj blizini, putem elektrostatičke indukcije (indukcioni neutralizatori), i pomoću električnog polja nastalog primenom spoljnog izvora visokog napona (visokonaponski neutralizatori).

Indukcioni neutralizatori su najjednostavniji i najjeftiniji neutralizatori statičkog naelektrisanja i predstavljaju prve neutralizatore korišćene u tekstilnoj praksi. Proizvode se najčešće u obliku četke ili u obliku pojedinačnih šiljaka (prečnika pri vrhu od nekoliko delova milimetra) koji se nalaze na međusobnom rastojanju od nekoliko mm (Slika 3). Takvi uređaji se nalaze u blizini tekstilnog materijala u pokretu i koronarnim pražnjenjem u svojoj blizini izazivaju jonizaciju okolnog vazduha.

Visokonaponski neutralizatori imaju visokonaponski izvor napajanja (nekoliko kV) koji se koristi u tri varijante: jednosmerni, niskofrekventni naizmjenični i

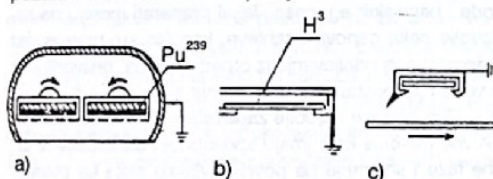


Slika 3. Indukcioni neutralizatori; a. u obliku četke; b. u obliku igle [1]  
Figure 3. Induction neutralizers: brushlike; b - needlelike

visokofrekventni naizmenični. Visokonaponski izvor uspostavlja elektrostatičko polje, koje je dalje uzročnik koronarnog pražnjenja i proizvodnje jona potrebnih za neutralizaciju statičkog naelektrisanja.

Neutralizatori sa jonizujućim zračenjem imaju kao izvore jona radioaktivne izotope:  $\alpha$  ili  $\beta$  – emitere. Joni nastaju kao produkt interakcije radioaktivnog zračenja sa okolnim vazduhom. Konstrukcija ovakvih neutralizatora je izuzetno jednostavna. Izvor jonizujućeg zračenja se smešta u odgovarajući kontejner i može da se okreće ka tekstilnom materijalu koji prolazi pored njega (Slika 4 a. i b.). Kao izvori  $\alpha$  zračenja najčešće se koriste polonijum  $Po^{210}$  i plutonijum  $Pu^{239}$  a kao  $\beta$  – emiter tricijum  $H^3$ . Zbog veće specifične jonizacije  $\alpha$  – emiteri su češće u upotrebi i takvi neutralizatori se serijski proizvode u više zemalja. Na slici 5 c. prikazan je kombinovani indukciono – radioizotopni neutralizator statičkog naelektrisanja sa lokalnim dejstvom. Sastoji se od rezervoara sa radioaktivnim punjenjem na čije su kućište montirani šiljci koji prouzrokuju indukciono koronarno pražnjenje.

Neutralizatori sa jonizujućim zračenjem imaju izrazitu prednost u odnosu na neutralizatore sa koronarnim pražnjenjem pri malim gustinama naelektrisanja, kada indukcioni neutralizatori još nisu dovoljno efikasni. Pri većim gustinama statičkog naelektrisanja na tekstilnom materijalu, efikasnost indukcionih neutralizatora raste a radioizotopnih opada. Velika prednost neutralizatora sa jonizujućim zračenjem u odnosu na neutralizatore sa koronarnim pražnjenjem je to što nepostojanje jakog električnog polja u uređaju eliminiše opasnost od varničenja, požara i čak eventualne eksplozije.



Slika 4. Neutralizatori sa jonizujućim zračenjem (radioizotopima): a.  $\alpha$  – emiter; b.  $\beta$  – emiter; c – kombinovani: indukciono sa radioaktivnim punjenjem [1]

Figure 4. Neutralizers with ionizing radiation (radioisotopes) a.  $\alpha$  – emitters; b.  $\beta$  emitters; c. – combined: induction with radioactive charge [1]

Glavni nedostaci svih lokalnih neutralizatora statičkog naelektrisanja su zavisnost njihove efikasnosti od rastojanja od tekstilnog materijala (lokalni neutralizatori su praktično neefikasni na rastojanjima većim od 20 – 30 cm), što pored ostalog znači nemogućnost pristupa nekim delovima mašine, kao i veliki uticaj prašine na njihovu efikasnost neutralisanja statičkog naelektrisanja. Ovi problemi su prevaziđeni primenom neutralizatora sa strujanjem vazduha.

### 1.1.2. Neutralizatori sa strujanjem vazduha

Neutralizatori sa prinudnim strujanjem jonizovanog vazduha (pneumatički neutralizatori) takođe poseduju izvore jonizacije potrebnog polariteta ali i uređaj za tran-

sport jonizovanog vazduha ka tekstilnom materijalu, tako da izvor ne mora da bude u strogo određenoj poziciji u odnosu na naelektrisani tekstilni materijal, a strujanje vazduha omogućava pristup jonizovanih čestica čak i teško pristupačnim delovima mašine.

Neutralizatori sa strujanjem vazduha mogu da budu:

- sa radioaktivnim izotopom kao izvorom jonizacije i prenosom tako generisanih jona ka naelektrisanim tekstilnom materijalu putem prinudnog strujanja vazduha;

- sa stvaranjem jona pomoću koronarnog pražnjenja izazvanog izvorom visokog napona i njihovog transporta pomoću prinudnog strujanja vazduha ("antistatički pištolj"). Ova metoda se pokazala kao najefikasnija od pomenutih metoda i koristi se za istovremeno uklanjanje prašine i statičkog naelektrisanja;

- sa generacijom jona putem termoelektronske emisije i transportom putem prinudnog strujanja vazduha;

- sa raspršivanjem tečnosti i nastankom jona u tom procesu, što omogućava kompleksno dejstvo: vlaženje vazduha, čija je posledica sniženje električne otpornosti tekstilnih materijala usled sorbovane vode i transport generisanih jona ka tekstilnom materijalu. Ovaj tip neutralizatora se najčešće ubacuje u sistem za kondicioniranje vazduha. Održavanje vlažnih uslova u proizvodnji pomaže odvođenju statičkog naelektrisanja u zemlju preko vlažnih vlakana i okolne atmosfere [1, 7].

### 1.1.3. Neki specifični postupci smanjenja statičkog naelektrisanja na tekstilnom materijalu dejstvom spoljnjih agenasa

Smanjenje statičkog naelektrisanja pri proizvodnji tekstilnih materijala se može postići i izborom materijala od koga su načinjeni delovi mašina u kontaktu sa tekstilnim materijalom, kao i izborom njihovog oblika. Treba birati materijale koji dovode do najmanjeg razdvajanja naelektrisanja, stvarati frikционе interakcije koje obezbeđuju minimalnu faktičku kontaktnu površinu tekstilnog materijala sa delovima mašine i teži ka obezbeđenju brzog oticanja (relaksacije) statičkog naelektrisanja u zoni kontakta.

Veoma je efikasna i perspektivna upotreba vodiča načinjenih od poroznih metalokermičkih materijala, čije se pore mogu tretirati antistatičkom sredstvom i na taj način snažno ubrzati proces relaksacije statičkog naelektrisanja.

Postupci sa korišćenjem delova mašina istog hemijskog sastava kao i ispitivani tekstilni materijal deluju veoma logično i sa fizičke strane gledišta opravdano, ali ipak je njihova primenljivost ograničena. Konstrukcija takvih radnih površina mašina zahteva prilagođavanje sirovinskog sastava radnih delova mašina svakom konkretnom materijalu koji se prerađuje (odnosno njihovu supstituciju pri svakoj promeni sirovinskog sastava tekstilnog materijala). Osim toga, pri dužoj upotrebi,

usled prijanja i promena radnih površina, elektroneutralnost se narušava i generisano statičko naelektrisanje počinje da raste. Iako su eksperimenti pokazali veliku efikasnost međusobnog neutralisanja pozitivnih i negativnih generisanih statičkih naelektrisanja putem naizmeničnog korišćenja površina koje u kontaktu sa tekstilnim materijalom proizvode pozitivno i negativno statičko naelektrisanje, iz sličnih razloga ni ovaj postupak zbog potrebe prilagođavanja svakom proizvodu nije našao širu primenu. Pri tome je poznato da mesto tekstilnih materijala u triboelektričnom nizu nije stabilno, što dalje komplikuje primenu ovakvog postupka.

Međusobno neutralisanje pozitivnih i negativnih statičkih naelektrisanja može da se ostvari i izborom mešavine vlakana čije komponente u kontaktu sa delovima mašina generišu naelektrisanja suprotnog znaka. Preporučuju se na primer sledeće mešavine [1]: 15% vunениh i 85% poliestarskih vlakana; 80% poliakrilonitrilnih i 20% poliamidnih vlakana; 50% viskozni i 50% poliestarskih vlakana; 40% poliamidnih i 60% poliestarskih vlakana. Pri tome je važno da takve mešavine imaju i u eksploataciji antistatičko dejstvo, odnosno kompenzaciju statičkog naelektrisanja u kontaktu sa ljudskom kožom, što se može oceniti iz triboelektričnog niza (Tabela 1).

Ostvarivanje oblika kontaktnih površina u mašina ma koji obezbeđuju minimalnu faktičku kontaktnu površinu tekstilnog materijala sa delovima mašine i na taj način smanjuju frikционе interakcije i generisanje statičkog naelektrisanja, predstavlja u svakom slučaju dodatnu meru zaštite od statičkog naelektrisanja, koju treba primenjivati u kombinaciji sa ostalim postupcima.

## 1.2. Smanjenje statičkog naelektrisanja tekstilnih materijala promenom njihovih svojstava

Smanjenje statičkog naelektrisanja na tekstilnom materijalu se najčešće postiže sniženjem njegove električne otpornosti i na taj način intenzifikacijom procesa disipacije naelektrisanja sa tekstilnog materijala. Dobijanje tekstilnih materijala sa antistatičkim svojstvima, odnosno sniženom električnom otpornošću, se u principu postiže na dva načina:

1. davanjem antistatičkih svojstava gotovim proizvodima njihovim tretiranjem antistatičkim sredstvima,
2. uključivanjem u tekstilne materijale vlakana i niti koje imaju stabilna antistatička svojstva.

Kao što se vidi sa slike 1. postupci za sniženje električne otpornosti tekstilnih materijala se mogu na osnovu mehanizma njihovog funkcionisanja podeliti u dve osnovne grupe: hemijske i fizičke. Dok su metode pod 1. čisto hemijske prirode, metode pod 2. mogu da budu zasnovane na čisto fizičkim principima (na primer dodatak metalnih vlakana tekstilnim vlaknima pri formiranju pređe), ali i da sadrže i hemijske i fizičke postupke (na primer dodatak, pri formiranju pređe, vlakana koja imaju anistatička svojstva dobijena uvođenjem antistatičkih dodataka u rastvor pri oblikovanju hemijskih vlakana).

### 1.2.1. Hemijske metode antistatičke obrade tekstilnih materijala

U literaturi se pominje veliki broj preparata sa antistatičkim dejstvom na tekstilne materijale, ali samo mali broj zadovoljava neophodne kriterijume kao što su: fiziološka neutralnost, odnosno odsustvo toksičnosti, odsustvo boje i mirisa, mogućnost jednostavnog nanošenja i niska cena koštanja. Neki od takvih preparata imaju i druge povoljne efekte kao što su: smanjenje trenja, povećanje sorpcije vlage, omekšavanje, i dr. [22].

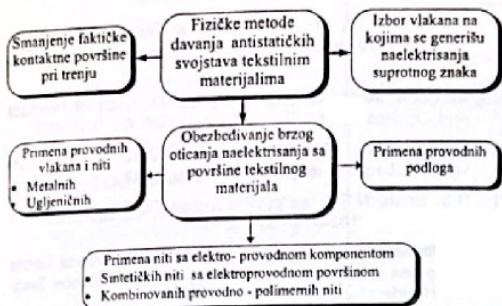
Sve metode antistatičke obrade su opterećene izvesnim brojem zajedničkih nedostataka. To su stalnan utrošak preparata, neophodnost pažljivog prilagođavanja hemijskog sastava preparata sa antistatičkim dejstvom sirovinskom sastavu tekstilnog materijala, kontaminacija otpadnih voda, značajan uticaj sadržaja vlage u vlaknima i parametara mikroklimе u proizvodnji na njihovu efikasnost, i dr. Hemijske metode antistatičke obrade tekstilnih materijala se mogu koristiti, kako u procesu proizvodnje tekstilnih materijala, tako i pri finalnoj doradi gotovih tekstilnih proizvoda. Stoga su neki od kriterijuma koje moraju da zadovolje antistatički preparati zajednički za obe grupe (neotrovnost, ravnomernost raspoređivanja po tekstilnom materijalu, rentabilnost), dok drugi zavise od njihove primene [23, 24].

Svi antistatički preparati se mogu podeliti u dve grupe: vremenski nestabilne i permanentne. Kada se koriste za normalizaciju tehnološkog procesa, primenjuju se antistatički preparati koji su nestabilni prema dejstvu vode i hemijskih agenasa. Takvi preparati moraju da zadovolje neke osnovne zahteve, kao što su: mogućnost jednostavnog udaljavanja iz otpadnih voda, rastvorljivost u vodi, i jednostavnost udaljavanja sa tekstilnog materijala. Ove zahteve najbolje zadovoljavaju neke površinski aktivne materije koje imaju sposobnost adsorpcije iz tečne faze i stvaranja na površini vlakna sloja sa povišenom koncentracijom. Često se antistatički preparati na vlakna nanose zajedno sa ostalim preparatima za doradu. Pri korišćenju antistatičkih preparata za tretiranje gotovih proizvoda, primenjuju se preparati koji obezbeđuju dugotrajan antistatički efekat, pa je njihova vremenska stabilnost i otpornost prema pranju jedan od izuzetno važnih uslova koje takav preparat mora da ispuni [1, 16, 26, 27].

### 1.2.2. Fizičke metode antistatičke obrade tekstilnih materijala

Fizičke metode smanjenja statičkog naelektrisanja na tekstilnim materijalima zauzimaju sve značajnije mesto u tekstilnoj praksi [1]. Kako su one veoma raznovrsne, radi preglednosti su najvažnije metode ovog tipa sistematizovane na slici 5.

Među fizičkim metodama najznačajnije mesto zauzima grupa metoda koje su zasnovane na obezbeđivanju brzog oticanja naelektrisanja sa površine tekstilnog materijala, što se u principu postiže smanjenjem njegove



Slika 5. Smanjenje statičkog naelektrisanja na tekstilnim materijalima fizićkim postupcima

Figure 5. Reduction of textile materials static electricity by using physical treatments

ve elektrićne otpornosti. U tom cilju tekstilnom materijalu se dodaju najćešće u maloj kolićini (u proseku nekoliko procenata) materijali koji su dobri provodnici elektrićne struje. Najćešće se koriste ili provodna vlakna, koja se kao komponenta velike elektrićne provodnosti dodaju tekstilnim vlaknima pri proizvodnji pređa, ili se pri formiranju tekstilnih površina standardnim linearnim tekstilnim strukturama dodaju provodne niti. Dokazan je dominantan uticaj provodne komponente na elektrićnu otpornost takvih mešavina i pri malom udelu provodnih vlakana, tako da je otpornost mešavine bliža otpornosti provodne komponente, koja praktićno uzima na sebe celokupan transport naelektrisanja [8, 21]. Sniženje statičkog naelektrisanja takvih mešavina praktićno ne zavisi od vlažnosti tekstilnog materijala i sredine. Efekat sniženja statičkog naelektrisanja neki [1] tumaće kombinovanim dejstvom sniženja elektrićne otpornosti i intenzivnijim oćicanjem naelektrisanja i indukovanim koronarnim praženjem koje prouzrokuje neutralizaciju naelektrisanja (na slićan naćin kao kod indukcionih neutralizatora).

Provodna komponenta mođe da ima, osim smanjenja statičkog naelektrisanja i njegovih neželjenih efekata još jedno, zaista izvanredno zaštitno svojstvo. Naime, tekstilna površina naćinjena od takve mešavine u pogodnom odnosu – sa dovoljnom zastupljenošću provodne komponente, predstavlja Faradejev kavez i štiti korisnika odeće naćinjene od takvog materijala od jakih spoljašnjih elektrićnih polja. [8, 25].

Od provodnih vlakana se najćešće primenjuju ugljenićna vlakna i vlakna od nerđajućeg ćelika. Vlakna i niti od nerđajućeg ćelika imaju zbog svojih povoljnih svojstava, izrazito najveću primenu, pa ih neki autori koji proućavaju ovu problematiku [1, 25] izdvajaju u posebnu grupu. Belgijska firma Bekaert proizvodi Bekinox® vlakna od nerđajućeg ćelika finoća koje su slićne finoćama tekstilnih komponenti. Vlakna od nerđajućeg ćelika u mešavini sa tekstilnim vlaknima snižavaju elektrićnu otpornost za više redova velićine i pri malom udelu u mešavini, kao što se vidi iz Tabele 2.

Tabela 2. Specifićna elektrićna otpornost pređa od nmešavine pamućnih i metalnih Bekinox® vlakana debljine 8 µm [8]  
Table 2. Electrical resistivity of cotton-Bekinox® metal fibre blended yarns

Sastav pređa	Specifićna elektrićna otpornost [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]
Pamuk 100 %	$5,76 \times 10^7$
91,75 % pamuka / 8,25 % metala	$8,47 \times 10^{-2}$
83,5 % pamuka / 16,5 % metala	$6,04 \times 10^{-2}$
66,66 % pamuka / 33,33 % metala	$2,52 \times 10^{-2}$
Bekinox® metalna vlakna	$15,79 \times 10^{-5}$

Od takvih materijala se proizvodi specijalna zaštitna odeća, tkanine za nameštaj, podne obloge. Dodaju se tekstilnim vlaknima u procesu pređenja, a kod podnih obloga je moguće njihovo ugrađivanje u tekstilnu površinu flokovanjem. Nedostatak postupka sa vlaknima od nerđajućeg ćelika je njihova visoka cena.

Na slićan naćin se se koriste i ugljenićna štapel vlakana koja se obićno dodaju tekstilnim vlaknima u procesu proizvodnje pređa, sa udelom od nekoliko procenata, što takođe intenzivno snižava njihovu elektrićnu otpornost. Glavna preimućstva ugljenićnih vlakana u odnosu na ćelićna su niža cena koštanja i jednostavnija prerada u pređe. Koriste se u proizvodnji veštaćke kođe, gumenih proizvoda, filtera koji se primenjuju u uslovima rizika od eksplozije, itd.

U principu svi metali i njihove legure mogu da se koriste za proizvodnju provodnih vlakana kao dodatka tekstilnim vlaknima, na primer, bakar, niki, olovo, razne legure kobalta, gvođđa, hroma, molibdena, srebra, itd. [1, 9, 25].

U širem smislu u kategoriju metoda za sniženje statičkog naelektrisanja dodatkom komponente veće elektrićne provodljivosti, samo u daleko manjoj meri nego pri dodatku provodnih vlakana, spadaju i postupci u kojima se hidrofobnim sintetićkim vlaknima veoma visoke elektrićne otpornosti pri formiranju pređa dodaju hidrofilna pamućna ili viskozna vlakna. Takav postupak snižava elektrićnu otpornost mešavine, mada u znaćajno manjoj meri, jer komponenta manje elektrićne otpornosti, kao i u slućaju provodnih vlakana, preuzima na sebe dominantni deo provođenja naelektrisanja [1].

Osim dodatka provodnih vlakana u toku proizvodnje pređa od kojih će se kasnije formirati tekstilne površine, široku primenu su naćle i provodne niti, koje se dodaju linearnim tekstilnim strukturama pri formiranju tekstilnih površina, stvarajući u tekstilnoj površini neku vrstu provodne mređe koja ima antistatićko dejstvo (i, naravno mođe da igra ulogu zaštite od elektrićnih polja). Koriste se metalne i ugljenićne niti kao i kombinovane niti – sintetićke (dielektrićne) sa inkorporiranom provodnom komponentom.



Kompleksne tekstilno – provodne niti u principu se najčešće proizvode ili sa provodnim površinskom slojem, ili sa provodnom komponentom ugrađenom u nit prostorno. Provodna komponenta je najčešće metal, ugljenik ili neka so metala.

Sniženje statičkog naelektrisanja smanjenjem faktičke kontaktne površine, i samim tim sniženje generacije naelektrisanja frikcionim putem, može da se postigne na različite načine. Kod tkanina i pletenina, na primer, kontaktna površina se smanjuje korišćenjem reljefnog profila površine. Kontaktna površina između čoveka i podnih obloga može da se smanji konstrukcijom donje površine obuće sa manjom dodirnom površinom ili korišćenjem podnih obloga sa petljama umesto sečenog flora, itd.

Izbor vlakana na kojima se generišu naelektrisanja suprotnog znaka takođe predstavlja efikasan način sniženja statičkog naelektrisanja, o čemu je već bilo reči ranije. Od mešavina sa takvim svojstvima proizvode se i razni tipovi tekstilnih površina. Tako se, na primer, podne obloge proizvode od mešavine poliamidnih i polipropilenskih vlakana (tabela 1).

#### ZAKLJUČAK

Borba sa statičkim naelektrisanjem u tekstilnoj industriji, posebno sa sve većim uključivanjem hemijskih vlakana u tekstilne materijale, danas predstavlja neminovnost. Savremeni pristupi redukciji ili neutralizaciji statičkog elektriciteta u oblasti tekstilne tehnologije, razlikuju se po svojoj prirodi, načinu aplikacije i efikasnosti. Pri tome izbor optimalnog postupka/sredstva diriguje skup različitih faktora, zavisno od mesta u tehnološkom lancu gde se postupak primenjuje, karaktera proizvoda i uslova njegove primene.

#### LITERATURA

- [1] P.L. Geffer, *Elektrostaticheskie yavleniya v protsesah pererabotki himicheskikh volokon*, Legprombytzdat, Moskva, 1989
- [2] R. Čunko, *Ispitivanje tekstila*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1989
- [3] F.H. Sadykova, D.M. Sadykova, N.I. Kudryashova, *Tekstil'noe materialovedenie i osnovy tekstil'nyh proizvodstv*, Legprombytzdat, Moskva, 1989

#### SUMMARY

##### STATIC ELECTRICITY NEUTRALIZATION METHODS ON TEXTILE MATERIALS

(Review paper)

Tatjana Mihajlidi, Svetlana Milosavljević, Damjana Simić, Koviļjka Asanović, Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade

Dielectrical properties of textile materials cause electrification during their contacts with other bodies. Static electricity has in many cases an unfavorable influence on the behavior of textile materials in processing and exploitation, necessitating precise informations about its value, as well as the realization of appropriate methods for its reduction or elimination. In this work a review of the most important methods for static electricity neutralization on textile materials is given.

Key words (Ključne reči):

- [4] B.A. Buzov, T.A. Modestova, N.D. Alymenkova, *Materialovedenie shveinogo proizvodstva*, Legprombytzdat, Moskva, 1986
- [5] M. Bona, *Textile Quality – Physical Methods of Product and Process Control*, Textilia, 1994
- [6] V.P. Radovitskiy, B.N. Strel'tsov, *Elektrodinamika tekstil'nyh volokon*, Legkaya industriya, Moskva, 1967
- [7] R.S. Shah, N.E. Dweltz, *The Indian Textile Journal*, Vol. 104, No. 11, (1994) 50-60
- [8] S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, *Proc. World Textile Congress Industrial, Technical & High Performance Textiles*, Huddersfield, UK, (1998) 339-346.
- [9] S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, L. Kostić, *Hemijaska vlakna 1-4*, (1996) 28-36
- [10] G.L. Hearn, K.L. Gandhi, *Textile Month*, (1997) 48-52
- [11] T. Mihajlidi, D. Simić, M. Simić, K. Asanović, T. Topalović, *Tekstilna industrija*, 45, 3-4, (1997) 5-9
- [12] K. Asanović, M. Simić, T. Mihajlidi, D. Simić, *Tekstilna industrija*, 47, 1-2, (1999) 16-18
- [13] V.Yu. Nezgada, A.I. Yurgaytis, I.M. Norkaytis, *Tekst. prom.* No 7, (1987) 66, 67
- [14] V.Yu. Nezgada, *Tekst. prom.* No. 3, (1986) 46, 47
- [15] V.Yu. Nezgada, *Tekst. prom.* No. 5, (1986) 60
- [16] P.L. Geffer, V.I. Kiselev, E.V. Budzinskaya, *Tekst. prom.* No. 5, (1981) 71-73
- [17] O.V. Chkalova, P.L. Geffer, *Tekst. prom.* No. 5, (1990) 68,69
- [18] S. Milosavljević, T. Tadić, L. Kostić, D. Veselinović, *The Indian Textile Journal*, Vol. 106, No. 10, (1996), 94-97
- [19] S. Milosavljević, T. Tadić, L. Kostić, S. Stanković, *Textile Month*, September, (1996), 49-53
- [20] S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, *Savetovanje SHD*, (1997), 162
- [21] S. Milosavljević, T. Mihajlidi, T. Tadić, K. Asanović, *primljeno za štampu u Asian Textile Journal*, 1999.
- [22] S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, B. Golubović, *Hemijaska vlakna 1-4*, (1997) 55-66
- [23] S. Milosavljević, *Predenje*, TMF, Beograd 1990
- [24] S. Milosavljević, *Tekstilna industrija*, 44, 10-12, (1996) 5-15
- [25] G. Nemoz, *L'Industrie Textile*, No. 1214, (1990), 56-63
- [26] J. Jachowicz, M. Garcia, G. Wis-Surel, *Textile Research Journal*, (1987) 543-548
- [27] J. Jachowicz, G. Wis-Surel, L.J. Wolfram, *Textile Research Journal*, (1984) 492-495