

# tekstilec

10-12/2009 • vol. 52 • 255-374

ISSN 0351-3386

UDK 677 + 687 (05)



## Časopisni svet/Publishing Council

Martin Kopač, Jože Smole GZS – ZTOUPI  
Zoran Stjepanovič *predsednik/president*,  
Marta Slokar ZITTS  
Barbara Simončič, Franci Sluga UL-NTE, OT  
Karin Stana Kleinschek,  
Alenka Majcen Le Marechal UM-FS, OTMO  
Miha Ješe, Mojca Šubic IRSPIN

## Glavna in odgovorna urednica/ Editor-in-chief

Diana Gregor Svetec

## Namestnica glavne in odgovorne urednice/Assistant Editor

Majda Sfiligoj Smole

## Izvršna urednica/Executive Editor

Anica Levin

## Uredništvo/Editorial board

Franci Debelak  
Veronika Vrhunc  
*IRSPIN, Slovenia*  
Vili Bukošek  
Petra Forte  
Marija Jenko  
Momir Nikolić  
Almira Sadar  
*University of Ljubljana, Slovenia*  
Darinka Fakin  
Jelka Geršak  
Tanja Kreže  
Zoran Stjepanovič  
*University of Maribor, Slovenia*  
Paul Kiekens  
*University of Ghent, Belgium*  
Hartmut Rödel  
*Technical University of Dresden, Germany*  
Ivo Soljačić  
*University of Zagreb, Croatia*  
Ziyinet Ondogan  
Oktay Pamuk  
*Ege University, Turkey*  
Stephen Westland  
*University of Leeds, UK*

**tekstilec** glasilo slovenskih tekstilcev, podaja temeljne in aplikativne znanstvene informacije v fizikalni, kemijski in tehnološki znanosti vezani na tekstilno tehnologijo. V reviji so objavljeni znanstveni in strokovni članki, ki se nanašajo na vlakna in preiskave, kemijsko in mehansko tekstilno tehnologijo, tehnične tekstilije in njihovo uporabo, kot tudi druga področja vezana na tekstilno tehnologijo in oblikovanje, tekstilno in oblačilno industrijo (razvoj, uporaba, izdelava in predelava kemijskih in naravnih vlaken, prej in ploskih tekstilij, oblikovanje, trženje, ekologija, ergonomika, nega tekstilij, izobraževanje v tekstilstvu itd.). Od leta 2007 je revija razdeljena na dva dela, dvojezični (slovensko/angleški) del, kjer so objavljeni članki s področja znanosti in razvoja; znanstveni članki (izvirni in pregledni), kratka obvestila in strokovni članki. Drugi del, napisan samo v slovenščini, vsebuje prispevke o novostih s področja tekstilne tehnologije iz Slovenije in sveta, informacije o negi tekstilij in ekologiji, kratka obvestila vezana na slovensko in svetovno tekstilno in oblačilno industrijo ter prispevke s področja oblikovanja tekstilij in oblačil.

**tekstilec** *the magazine of Slovene textile professionals gives fundamental and applied scientific information in the physical, chemical and engineering sciences related to the textile industry. Its professional and research articles refer to fibers and testing, chemical and mechanical textile technology, technical textiles and their application, as well as to other fields associated with textile technology and design, textile and clothing industry e.g. development, application and manufacture of natural and man-made fibers, yarns and fabrics, design, marketing, ecology, ergonomics, education in textile sector, cleaning of textiles, etc. From 2007 the journal is divided in two parts, a two language part (Slovene English part), where scientific contributions are published; i.e. research articles (original scientific and review), short communications and technical articles. In the second part written in Slovene language the short articles about the textile-technology novelties from Slovenia and the world, the information of dry cleaning and washing technology from the viewpoint of textile materials and ecology, short information's about the Slovene textile and clothing industry and from the world as well as the articles on textile design are published.*

Dosegljivo na svetovnem spletu/Available online at  
[www.ntf.uni-lj.si/ot/](http://www.ntf.uni-lj.si/ot/)

## Izvillečki tekstilca so pisno objavljeni v/ Abstracted and Indexed in

Chemical Abstracts  
World Textile Abstracts  
EBSCO  
Ulrich's International Periodicals Directory  
COMPENDEX  
Titus Literaturschau  
TOGA Textiltechnik

# tekstilec

ISSN 0351-3386

VOLUME 52 • NUMBER 10-12 • 2009 • UDK 677 + 687 (05)

## IZVLEČKI/abstracts

**259** Izvlečki • *Abstracts*

## ČLANKI/papers

**263** Priprava bombažne tkanine z nizkotlačno plazmo za boljšo adhezijo nanosrebra • Izvirni znanstveni članek  
*Low-Pressure Plasma for Pretreatment of Cotton Fabric for Better Adhesion of Nanosilver • Original Scientific Paper*  
Marija Gorjanc, Miran Mozetič, Marija Gorenšek

**270** Vpliv votlosti kapoka na sposobnost zadrževanja tekočin • Izvirni znanstveni članek  
*Influence of Kapok Hollowness on Its Liquid Retention Capacity • Original Scientific Paper*  
Tatjana Rijavec

**284** Čiščenje tekstilnih odpadnih voda s postopkoma  $O_3$  in  $H_2O_2/O_3$  • Pregledni znanstveni članek  
*Textile Wastewater Cleaning with  $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$  Process • Scientific Review*  
Maja Bauman, Mojca Poberžnik, Aleksandra Lobnik

**306** Raziskava kompaktnega predenja za preje iz regenerirane celuloze in sintetične preje • Izvirni znanstveni članek  
*Compact Spinning Research for Regenerated Cellulose and Synthetic Yarns • Original Scientific Paper*  
Sevda Altas, Hüseyin Kadoğlu

**312** Nova vlakna za 21. stoletje  
*Novel Fibres for the 21<sup>st</sup> Century*  
Tatjana Rijavec, Vili Bukošek

## STROKOVNI DEL/ technical notes

**328** Bilateralna projekta z Dansko in Norveško na področju higiene pranja industrijskih tekstilij • *Mednarodni projekt*

**335** Bombaž, otroško delo, ekologija ... • *Aktualno v svetu*

**339** Rezultati ankete o posledicah dviga minimalne plače za prihodnost tekstilne, oblačilne in usnjarskopredelovalne industrije • *Aktualno doma*

**366** Diplomaska, magistrska in doktorska dela • Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo • Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Oddelek za tekstilne materiale in oblikovanje

**368** Tekstilni nagovori • *Oblikovanje*

## tekstilec

### Ustanovitelj / Founded by

Zveza inženirjev in tehnikov tekstilcev Slovenije/  
*Association of Slovene Textile Engineers and Technicians*  
Gospodarska zbornica Slovenije – Združenje za tekstilno,  
oblačilno in usnjarsko predelovalno industrijo/  
*Chamber of Commerce and Industry of Slovenia – Textiles,  
Clothing and Leather Processing Association*

### Urejanje, izdajanje in sofinanciranje/

#### *Editing, publishing and financially supported by*

- Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta,  
Oddelek za tekstilstvo/*University of Ljubljana,  
Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles*
- Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo/  
*University of Maribor, Faculty for Mechanical Engineering*
- Industrijski razvojni center slovenske predilne industrije/  
*Industrial development centre of Slovene spinning industry*

#### *Revijo sofinancira/Journal is financially supported by*

Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije/  
*Slovenian Research Agency*

Revija Tekstilec izhaja štirikrat letno v 600  
izvodih/*Journal Tekstilec appears quarterly  
in 600 copies*

Revija je pri Ministrstvu za kulturo vpisana  
v razvid medijev pod številko 583.  
Letna naročnina za člane Društev  
inženirjev in tehnikov tekstilcev  
je vključena v članarino.

#### **Letna naročnina**

- za posameznike je 38 €
- za študente 22 €
- za mala podjetja 90 €
- za velika podjetja 180 €
- za tujino 110 €

**Cena posamezne številke je 10 €**

Na podlagi Zakona o davku na dodano  
vrednost sodi revija Tekstilec med  
proizvode, od katerih se obračunava  
DDV po stopnji 8,5 %.

**Transakcijski račun** 01100–6030708186  
**Bank Account No.** SI56 01100–6030708186

Nova Ljubljanska banka d.d.,  
Trg Republike 2, SI–1000 Ljubljana,  
Slovenija, SWIFT Code: LJBA SI 2X.

### Izdajatelj/Publisher

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek  
za tekstilstvo / *University of Ljubljana, Faculty of Natural  
Sciences and Engineering, Department of Textiles*

### Naslov uredništva/Editorial Office Address

Uredništvo Tekstilec, Snežniška 5, p.p. 312, SI–1000 Ljubljana  
Tel./Tel.: + 386 1 200 32 00, +386 1 252 44 17  
Faks/Fax: + 386 1 200 32 70  
E–pošta/E–mail: [tekstilec@ntf.uni-lj.si](mailto:tekstilec@ntf.uni-lj.si)  
Spletni naslov/Internet page: <http://www.ntf.uni-lj.si/ot/>

**Lektor** za slovenščino: Milojka Mansoor, Jelka Jamnik,

za angleščino: AJE, Barbara Luštek

**Oblikovanje/Design** Tanja Urbanc

**Prelom in priprava za tisk/DTP** Barbara Blaznik

**Fotografija na naslovnici/Cover Photo** No. 10–12 [www.sxc.hu](http://www.sxc.hu)

**Tisk/Printed by** Birografika Bori d.o.o., Ljubljana

Copyright © 2009 by Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška  
fakulteta, Oddelek za tekstilstvo

Noben del revije se ne sme reproducirati brez predhodnega pisnega  
dovoljenja izdajatelja/*No part of this publication may be reproduced  
without the prior written permission of the publisher.*

## Izvirni znanstveni članek *Original Scientific Paper*

Marija Gorjanc<sup>1</sup>, Miran Mozetič<sup>2</sup>, Marija Gorenšek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija/*University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Snežniška 5, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*

<sup>2</sup> Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenija/*J. Stefan Institute, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenia*

### Priprava bombažne tkanine z nizkotlačno plazmo za boljšo adhezijo nanosrebra

*Low-Pressure Plasma for Pretreatment of Cotton Fabric for Better Adhesion of Nanosilver*

Z nizkotlačno plazmo, pri čemer sta bila kot plina uporabljena vodna para in  $CF_4$ , smo obdelali beljeno in mercerizirano bombažno tkanino. S plazmo obdelane in neobdeane tkanine so bile slepo barvane. V barvalno kopel smo dodali 20 mg/l nanosrebra velikosti 30 nm in 80 nm. Opravljen je bil test obstojnosti pri pranju pri 95 °C po standardu ISO 105-C03. Količina srebra, adsorbiranega na tkanine, je bila analizirana z metodo ICP-MS. Rezultati analize kažejo na povečano adsorpcijo nanosrebra na površino bombažne tkanine po obdelavi tkanine s plazmo in na desorpcijo nanosrebra po 10-kratnem pranju. Količina adsorbiranega srebra velikosti 30 nm je večja kot količina srebra velikosti 80 nm, vendar pa se tudi po pranju pokaže povečana desorpcija 30 nm srebra.

**Ključne besede:** bombaž, nizkotlačna plazma, vodna para,  $CF_4$ , nanodelci srebra.

*In this study, bleached and mercerized cotton fabric was treated with low-pressure plasma; water vapour and  $CF_4$  were used as gases. Some fabrics were treated with plasma and some were not; however, all of the fabrics were blank dyed. Twenty milligrams per liter of nanosilver (30 nm and 80 nm in size) was added to the dye-bath. A wash fastness test was conducted at 95°C in accordance with the ISO 105-C03 standard. The amount of silver adsorbed onto the fabric was analyzed by the ICP-MS method. The analysis results revealed that the adsorption of nanosilver increased on the surface of the cotton fabric after the plasma treatment while the nanosilver desorbed after ten wash cycles. The amount of adsorbed silver that was 30 nm in size was larger in comparison to the 80 nm-sized silver; nevertheless, after the wash, desorption of the 30 nm-sized silver increased.*

**Keywords:** cotton, low-pressure plasma, water vapour,  $CF_4$ , nanosilver particles

## Izvirni znanstveni članek *Original Scientific Paper*

Tatjana Rijavec

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija/*University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Snežniška 5, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*

### Vpliv votlosti kapoka na sposobnost zadrževanja tekočin

*Influence of Kapok Hollowness on Its Liquid Retention Capacity*

Kapok (Ceiba pentandra) je naravno celulozno vlakno z izrazitim lumnom in okroglim do ovalnim prečnim prerezom. Je eno najučinkovitejših vlaken za oljne absorberje, kjer prekaša sintetična vlakna. Mehanizem sorpcije olj v kapokova vlakna ni popolnoma proučen. Odlične sorpcijske sposobnosti pripisujejo zadrževanju tekočin v lumnu vlaken. V članku so predstavljeni izsledki raziskave votlosti kapoka in sposobnosti zadrževanja tekočin po triurnem namakanju in centrifugiranju vlaken ter mehanizem površinske adsorpcije vode in olja. Geometrijski indeksi surovega kapoka so bili izmerjeni in izračunani na podlagi izmerjenih parametrov prečnega prereza surovih vlaken: debelina celične stene 1,01 µm, razmerje med premerom lumna in premerom vlakna (d/D) 0,85, votlost 73,08-odstotna, gostota vlaken je 0,3968 g/cm<sup>3</sup>, zunanja specifična površina 0,2324 µm/µm<sup>2</sup> oziroma 0,6678 m<sup>2</sup>/g. Ob stiku suhih vlaken kapoka s tekočino je bilo opaženo počasno širjenje vode po površju vlaken, olje pa se je razširilo zelo hitro. Voda že takoj ob stiku s kapokovimi vlakni začne prodirati v lumen vlaken. Olje počasneje prodira v lumen vlaken kot voda. Zelo malo olja je prodrlo v lumen kapoka v začetnih minutah, po daljšem času namakanja pa je olje dobro zapolnilo lumen kapoka. Povprečni volumen lumna kapoka je 2,1 cm<sup>3</sup> na gram absolutno suhih vlaken, kar pomeni kapaciteto vlaken za zadrževanje tekočine v lumnu. Izmerjene količine zadržane vode po triurnem namakanju in centrifugiranju so bile 1,03 g za vodo, za jedilno olje 1,32 g in za parafinsko olje 1,07 g na gram absolutno suhih vlaken. Količina zadržanega olja, ki ostane v kapoku po centrifugiranju, je manjša od kapacitete lumna in pomeni le nekaj odstotkov celotne količine vsebovanega olja v namakanih vlaknih pred centrifugiranjem. Centrifugiranje omogoča visok odstotek regeneriranja olj iz kapokovih filtrov in njihovo ponovno uporabo.

**Ključne besede:** kapok, votlost vlaken, geometrijski indeksi votlih vlaken, količina zadrževane tekočine.

*Kapok (Ceiba pentandra) is a natural cellulose fibre with an extraordinary lumen and round-to-oval cross-section. It is one of the most efficient fibres for oil absorbers where it even outperforms synthetic fibres. The mechanism of oil sorption into kapok fibres has not been entirely researched yet. Excellent sorption capacities are attributed to the retention of oils in the kapok fibre lumen. The paper is*

going to present the results of measurements of the kapok fibres hollowness, and the capacity of kapok fibers to retain liquids after having been soaked for 3 hours and centrifuged, as well as the mechanism of water and oil surface adsorption. Geometrical indices of raw kapok were measured or calculated based on the measured parameters of the raw fibres cross-sections: thickness of the cell wall 1.01  $\mu\text{m}$ , the lumen diameter to fibre diameter ratio ( $d/D$ ) 0.85, percentage of the hollowness 73.08%, volume of the raw kapok lumen 2.1  $\text{cm}^3/\text{g}$ , density of fibres 0.3968  $\text{g}/\text{cm}^3$ , specific surface area per volume unit 0.2324  $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^3$  and per weight unit 0.6678  $\text{m}^2/\text{g}$  resp. It has been noticed that at contact of dry kapok fibres with liquid, water is spreading slowly over the surface of fibres whereas oil spreads very quickly. Water starts to penetrate into the fibre lumen as soon as it comes into contact with kapok fibres. Oil penetrates into the fibre lumen at a slower rate than water. In the first few minutes only a very low amount of oil penetrated into the kapok fibre lumen, however, after a longer period of time, oil filled the kapok fibre lumen very well. The mean volume of a kapok fibre lumen is 2.1  $\text{cm}^3$  per 1 gram of absolutely dry fibres, which represents the capacity of fibres to retain liquid in their lumen. The measured mean amount of the retained liquid in kapok fibres after the fibres have been soaked for 3 hours and centrifuged was 1.03 g in the case of water, 1.32 g in the case of cooking oil and 1.07 g in the case of paraffin oil per 1 g of absolutely dry fibres. The quantity of oil retentioned in kapok after centrifugation was lower than capacity of fibres lumen which presents only few percentages of the whole quantity of retentioned oil in kapok fibres before centrifugation. Centrifugation process enables a highly percentage of oil regeneration and reusage of kapok filters.

**Keywords:** kapok, fibre hollowness, geometrical indices of hollow fibres, amount of retained liquid

### Pregledni znanstveni članek *Scientific Review*

Maja Bauman<sup>1,2</sup>, Mojca Poberžnik<sup>3</sup>, Aleksandra Lobnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EM. TRONIC, d.o.o, Cesta k TAMU 10, SI-2000 Maribor, Slovenija

<sup>2</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Center za senzorsko tehniko, Smetanova 17, SI-2000 Maribor, Slovenija/University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Centre of Sensor Technology, Smetanova 17, SI-2000 Maribor, Slovenia

<sup>3</sup>IOS, Inštitut za okoljevarstvo in senzorje d.o.o., Beloruska 7, SI-2000 Maribor, Slovenija/IOS, Institute for Environmental, Protection and Sensors d.o.o., Beloruska 7, SI-2000 Maribor, Slovenia

### Čiščenje tekstilnih odpadnih voda

s postopkoma  $\text{O}_3$  in  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$

*Textile Wastewater Cleaning with  $\text{O}_3$  and  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  Process*

V članku sta predstavljena postopka ozoniranje ( $\text{O}_3$ ) in  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ , kot dva izmed učinkovitejših postopkov za čiščenje tekstilnih voda. Podane so različne sestave in lastnosti barvalnih kope- li in odlpak, predstavljeni so konvencionalni postopki čiščenja ter

njihove slabosti. Poglobljeno sta prikazana in razložena postopka ozoniranja in  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  ter pregled literature, ki se nanaša na ozoniranje in  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  postopek čiščenja tekstilnih barvalnih kope- li, ki vsebujejo barvila z različnimi kromofornimi skupinami.

V nadaljevanju članka je podana učinkovitost postopka ozoniranja in  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  pri različnih eksperimentalnih pogojih za razbarvanje in zniževanje ekoloških parametrov. Iz pregleda literature je razvidno, da se postopka ozoniranje in  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  veliko uporabljata za odstranjevanje reaktivnih, kislih in direktnih barvil. Manj podatkov je o bazičnih, disperznih in kovinsko-kompleksnih barvilih.

**Ključne besede:** tekstilne obarvane vode, barvila, učinkovitost čiščenja, ozoniranje,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$

The paper describes the ozonation ( $\text{O}_3$ ) and  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  process as two efficient methods for cleaning textile effluents. The composition and characteristics of differently coloured dyebath effluents and wastewaters, as well as conventional processes and their disadvantages are stated. The presentation of the ozonation and  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  process reactions and a review of applications for textile dyebath effluents loaded with different dye types of various chromophore groups are given precisely.

Furthermore, the paper states the ozonation and  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  process efficiency for the removal of various dye types at different experimental conditions. The literature review shows that the ozonation and  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  process are mainly used for reactive, acid and direct dyes treatment. Less information is available on basic, disperse and metal-complex dyes.

**Keywords:** textile coloured wastewater, dyes, cleaning efficiency, ozonation, ozone,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$

### Izvirni znanstveni članek *Original Scientific Paper*

Sevda Altas<sup>1</sup>, Hüseyin Kadoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tire Kutsan Vocational Training School, Ege University, Izmir, Turkey

<sup>2</sup> Textile Engineering Department, Ege University, Izmir, Turkey

### Raziskava kompaktnega predenja za preje iz regenerirane celuloze in sintetične preje

*Compact Spinning Research for Regenerated Cellulose and Synthetic Yarns*

V tej raziskavi smo primerjalno proučevali fizikalne lastnosti kompaktnih in klasičnih predivnih prej. Za ta namen smo izdelali kompaktne in klasične prstanske preje v treh debelinah niti in s tremi stopnjami vitja. Kot surovino smo uporabili stenj iz 100 % modala, 100 % poliestra, 100 % tencela in 100 % viskoze.

Rezultati raziskave se pokazali, da so kompaktne preje v primerjavi s klasičnimi prstanskimi prejami manj kosmate, trdnejše in imajo višje vrednosti razteznega razmerja.

Razlike v kosmatosti in nateznih lastnostih med kompaktnimi in klasičnimi prstanskimi prejami so odvisne od surovine, uporabljene v postopku predenja. Z mehanskim kompaktnim prede-

njem se izboljšajo kakovostne lastnosti prej, ki se bolje predejo z viskoznimi štapelnimi vlakni kot z drugimi surovinami, ki smo jih uporabili v raziskavi.

*Ključne besede: mehansko kompaktno predenje, klasično prstansko predenje, modal, tencel, poliester, viskoza, fizikalne lastnosti preje*

*This study is a comparative study of physical properties of compact and conventional spun yarns. For this aim, compact and conventional ring yarns were produced at three yarn counts having three-twist levels. 100% modal, 100% polyester, 100% tencel and 100% viscose rovings were used as raw materials in the study.*

*The results showed that compact yarns have less hairiness, higher strength and higher elongation ratio values than conventional ring yarns.*

*The differences in hairiness and tensile properties between compact and conventional ring yarns depend on the raw material used in spinning. Mechanical compact spinning improves the quality properties of yarns, which spun with viscose staple fibres better than other raw materials used in the study.*

*Keywords: mechanical compact spinning, conventional ring spinning, modal, tencel, polyester, viscose, yarn physical properties*

**Tatjana Rijavec, Vili Bukošek**

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija/University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Snežniška 5, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

## Nova vlakna za 21. stoletje

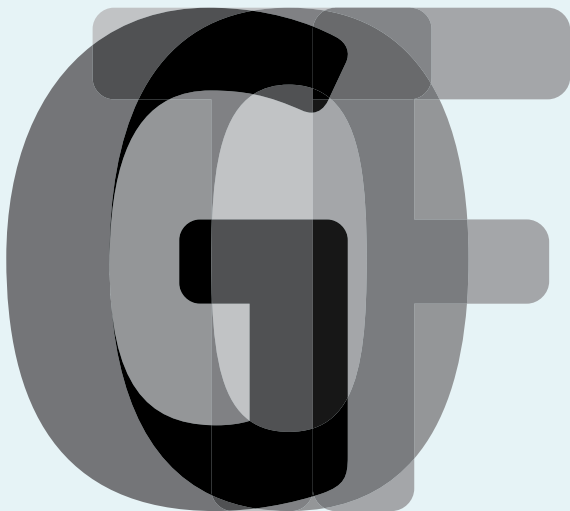
### Novel Fibres for the 21<sup>st</sup> Century

*Članek obravnava najvidnejše razvojne dosežke na področju vlaknen v zadnjih nekaj letih: nanovlakna, kemično pajkovo svilo, gensko spremenjen bombaž, vlakna iz polimlečne kisline, inteligentna vlakna, vlakna z negativnim Poissonovim številom, sojina vlakna, vlakna iz ptičjega perja in nova poliestrska vlakna z latentno elastičnostjo.*

*Ključne besede: nanovlakna, kemična pajkova svila, BioSteel, Bt bombaž, polimlečna kislina, PLA, sojina vlakna, vlakna iz ptičjega perja, optična vlakna, vlakna z negativnim Poissonovim številom, Corterra, Sorona, Securus, polibutilen tereftalat, PBT, politrimetilen tereftalat, PTT, triexta, elesterell-p, elastomultiester*

*The paper deals with the most prominent advances in the field of fibres in the last few years: nanofibres, man-made spider silk, genetically altered cotton (Bt-cotton), polylactide (PLA) fibres, intelligent fibres, auxetic fibres (negative Poisson's number fibres), soybean fibres, feather fibres, and new polyester fibres with latent elasticity.*

*Keywords: nanofibres, man-made spider silk, BioSteel, Bt-cotton, polylactide (PLA) fibres, soybean fibres, feather fibres, optical fibres, auxetic fibres, Corterra, Sorona, Securus, polybutylene terephthalate, PBT, polytrimethylene terephthalate, PTT, triexta, elasterell-p, elastomultiester*



Oddelek za tekstilstvo Univerze v Ljubljani že več kot 50 let izobražuje strokovnjake s področja tekstilstva in oblačilstva, 30 let izvaja študij oblikovanja tekstilij in oblačil, več kot 10 let pa tudi programe s področja grafike, medijske tehnike ter interaktivnih komunikacij. Trudi se biti „študentom prijazen“, kar mu omogoča ravno pravnjina velikost, pomlajena kadrovska struktura ter stalno posodabljanje opreme in prostorov.

Diplomant VS programa Proizvodnja tekstilij in oblačil je sposoben voditi tehnološko zahtevne tekstilne in oblačilne procese. Zaposljiv je v tekstilnih in oblačilnih podjetjih, trgovini ter tekstilnih storitvenih dejavnostih.

Diplomant UNI programa Načrtovanje tekstilij in oblačil zna načrtovati najzahtevnejše tekstilne in oblačilne izdelke ter voditi najzahtevnejše procese. Zaposljiv je v tekstilnih in oblačilnih podjetjih na področju razvoja in trženja, raziskovalnih inštitutih, izobraževalnih ustanovah, svetovalnih organizacijah, trgovini in državni upravi.

Diplomant UNI programa Oblikovanje tekstilij in oblačil zna zasnovati, z likovnimi sredstvi predstaviti in uresničiti tehnološko in oblikovalsko zahtevne tekstilne in oblačilne izdelke. Zaposljiv je v tekstilnih in oblačilnih podjetjih, raziskovalnih inštitutih, trgovini, državni upravi ter oblikovalskih studiih.

Diplomant VS programa Grafična in medijska tehnika je sposoben voditi tehnološko in izvedbeno raznolike ter zahtevne grafične in medijske procese. Zaposljiv je v medijskih, grafičnih in papirnopredelovalnih podjetjih, trgovini in založništvu.

Diplomant UNI programa Grafične in interaktivne komunikacije zna voditi tehnološko najzahtevnejše procese na področju grafične dejavnosti in interaktivnih komunikacij. Zaposljiv je v medijskih, grafičnih in papirnopredelovalnih podjetjih, trgovini, založništvu, oglaševalskih agencijah in medijskih hišah, izobraževalnih ustanovah, raziskovalnih inštitutih ter državni upravi.

## za grafiko in tekstilstvo

## študijski programi 1. stopnje

Oddelek za tekstilstvo

Univerza v Ljubljani  
Naravoslovnotehniška fakulteta

Snežniška 5, Ljubljana  
[www.ntf.uni-lj.si/ot](http://www.ntf.uni-lj.si/ot)





## Low-Pressure Plasma for Pretreatment of Cotton Fabric for Better Adhesion of Nanosilver

Original Scientific Paper

Received April 2009 • Accepted June 2009

### Abstract

*In this study, bleached and mercerized cotton fabric was treated with low-pressure plasma; water vapor and  $CF_4$  were used as gases. Some fabrics were treated with plasma and some were not; however, all of the fabrics were blank dyed. Twenty milligrams per liter of nano silver (30 nm and 80 nm in size) was added to the dyebath. A wash fastness test was conducted at 95°C in accordance with the ISO 105-C03 standard. The amount of silver adsorbed onto the fabric was analyzed by the ICP-MS method. The analysis results revealed that the adsorption of nanosilver increased on the surface of the cotton fabric after the plasma treatment while the nanosilver desorbed after ten wash cycles. The amount of adsorbed silver that was 30 nm in size was larger in comparison to the 80 nm-sized silver; nevertheless, after the wash, desorption of the 30 nm-sized silver increased.*

**Keywords:** cotton, low-pressure plasma, water vapour,  $CF_4$ , nanosilver particles

---

Vodilni avtor/corresponding author:  
dr. Marija Gorenšek  
tel.: +386 1 200 32 34  
e-mail: marija.gorensek@ntf.uni-lj.si

---

Marija Gorjanc<sup>1</sup>, Miran Mozetič<sup>2</sup>, Marija Gorenšek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddelek za tekstilstvo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

<sup>2</sup> Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana

## Priprava bombažne tkanine z nizekotlačno plazmo za boljšo adhezijo nanosrebra

**Izvirni znanstveni članek**

Poslano april 2009 • Sprejeto junij 2009

### Izvleček

Z nizekotlačno plazmo, pri čemer sta bila kot plina uporabljena vodna para in  $CF_4$ , smo obdelali beljeno in mercerizirano bombažno tkanino. S plazmo obdelane in neobdelane tkanine so bile slepo barvane. V barvalno kopel smo dodali 20 mg/l nanosrebra velikosti 30 nm in 80 nm. Opravljen je bil test obstojnosti pri pranju pri 95 °C po standardu ISO 105-C03. Količina srebra, adsorbiranega na tkanine, je bila analizirana z metodo ICP-MS. Rezultati analize kažejo na povečano adsorpcijo nanosrebra na površino bombažne tkanine po obdelavi tkanine s plazmo in na desorpcijo nanosrebra po 10-kratnem pranju. Količina adsorbiranega srebra velikosti 30 nm je večja kot količina srebra velikosti 80 nm, vendar pa se tudi po pranju pokaže povečana desorpcija 30 nm srebra.

**Gljučne besede:** bombaž, nizekotlačna plazma, vodna para,  $CF_4$ , nadelci srebra.

### 1 Uvod

Plazemska obdelava in njen učinek na tekstilne materiale sta še predmet raziskovanj. Obdelava tekstilij s plazmo prinaša veliko prednosti pred mokrimi kemijskimi obdelavami, saj za obdelavo s plazmo ne potrebujemo vode in kemikalij, s tem pa pozitivno vplivamo na ekonomičnost in ekološki pristop [1]. V primerjavi z mokrimi obdelovalnimi postopki, pri katerih je penetracija globoka, prihaja pri plazemski obdelavi do površinskih reakcij na materialu le v nekaj nanometrih površine [2]. Za obdelovanje tekstilnih materialov se uporablja neravnovesna oz. „hladna“ plazma, ki je del-

## 1 Introduction

*Plasma treatments and their effect on textile materials is still a subject of research. Plasma treating textiles has many advantages over wet-chemical treatments; for instance, plasma-induced treatments do not require water or chemicals, and thus provide economical and ecological benefits. [1] In comparison with wet-treatment processes that have a deep penetration, reactions on the material's surface occur at a depth of only a few nanometers in plasma treatments. [2] To treat textile materials, non-equilibrium or cold plasma is used, where this is partially ionized gas. In plasma, electrons have a higher temperature than ions; therefore, reactions can be performed in cold plasma without inducing substrate degradation. Plasma technology is versatile since it can be used in the treatment of textiles to make the textile more hydrophilic or hydrophobic, to increase its adhesion, or merely to clean or sterilize the textile. [3] The gases that are used in plasma technology can have either an inorganic or organic origin. When using organic gases, e.g.,  $C_2F_6$ , a product that is similar to a polymer deposits on the surface of the treated material. [4] However, when using inorganic gases, e.g.,  $O_2$ , the influence of etching and substance removal can be seen on the material's surface. [5] The formation of nanostructure surfaces is important, since the desired functionality of a newly treated surface can be achieved by increasing the surface. [6] Nanostructuring the material surfaces of textile increases the adhesion of metal particles. The use of nano particles has increased in recent years. Due to their extremely small dimensions, nano particles have special physical and chemical properties and biological activity. Thus, nanosilver is used to achieve antimicrobial and anti-inflammatory properties, especially in medicine. [7–11] However, only good conditions on the substrate's surface can provide a qualitative deposition of particles. [12] The substrate's surface can be prepared by using an appropriate plasma system. [13–15] The main reason for forming such structures is the incorporation of nanoparticles into the textile material; in this way, the agglomeration of particles is reduced, their fastness to washing increases,*

no ioniziran plin. V plazmi imajo elektroni višjo temperaturo kot ioni in zato lahko v hladni plazmi potekajo reakcije, ne da bi pri tem prišlo do degradacije substrata. Plazemska tehnologija je vsestranska, saj lahko z njo obdelamo tekstilijo, da ta postane na primer bolj hidrofilna, da se ji poveča adhezija, da postane bolj hidrofobna, ali pa jo lahko le čistimo ali steriliziramo [3]. Plini, ki jih uporabljamo pri plazemski tehnologiji, so lahko anorganskega ali organskega izvora. Če uporabimo organski plin, npr.  $C_2F_6$ , se na površini obdelovalnega materiala deponira polimeru podoben produkt [4]. Ko pa uporabimo anorganske pline, kot je npr.  $O_2$ , se na površini materiala opazi vpliv jedkanja in odstranjevanja snovi [5]. Tvorba in nastanek nanostrukturiranih površin sta pomembna, saj se s povečanjem površine doseže želena funkcionalnost na novo obdelane površine [6]. Z nanostrukturiranjem površine tekstilnega materiala lahko dosegamo povečanje adhezije kovinskih delcev na material. Nanodelci ekstremno majhnih dimenzij imajo posebne fizikalno-kemijske lastnosti in biološko aktivnost, zaradi česar se je njihova uporaba v zadnjem času povečala. Tako se za doseganje antimikrobnih in protivnetnih lastnosti uporablja nanosrebro, še posebej v medicinske namene [7–11]. Vendar pa šele dobri in ugodni pogoji na površini tekstilnega substrata lahko zagotovijo kvaliteto nanosov [12]. Ključna faza je priprava površine substrata, ki jo lahko vzpostavimo z uporabo primerne plazme [13–15]. Glavni razlog za takšno formiranje površin je vključitev nanodelcev na tekstilni material, še posebej zaradi tega, ker pri adheziji nanodelcev na tekstilni material prihaja do njihove aglomeracije, poslabšanja obstojnosti pri pranju ipd. [16]. Iz predhodnih poskusov, ko smo slepo barvali beljeno bombažno tkanino, in to ob dodatku 80 nm srebrovih delcev, smo ugotovili, da se 35 mg/kg teh nanodelcev adsorbira na tkanino [17]. Poskusi funkcionalizacije bombaža z atmosfersko korona plazmo so pokazali povečanje adsorptivne sposobnosti površine bombaža za nanos nanosrebra [18].

Namen našega dela je bil preučiti, kolikšen vpliv ima plazemska obdelava z vodno paro ali s  $CF_4$  na stopnjo adhezije nanosrebra na beljeno in mercerizirano bombažno tkanino. Med seboj so bili primerjani neobdelani in plazemsko obdelani vzorci. S testom obstojnosti pri pranju po standardu ISO 105-C03 smo preverjali tudi stopnjo desorpcije nanodelcev srebra po pranju.

## 2 Eksperimentalni del

Za raziskavo smo uporabili beljeno in mercerizirano bombažno tkanino v vezavi platno proizvajalca Tekstina, Ajdovščina. 30 cm × 30 cm velike vzorce tkanine smo obdelali v nizektolačnem plazemskem reaktorju, ki je shematično prikazan na sliki 1. Moč radiofrekvenčnega (RF) generatorja je bila 5 kW in frekvenca 27,12 MHz. Plina, ki smo ju uporabili za funkcionalizacijo vzorcev, sta bila vodna para in  $CF_4$ . V sredino razelektrivne posode plazemskega re-

and so on. [16] It has been established in previous research that the addition of silver particles (80 nm in size) when blank dyeing bleached cotton fabric causes 35 mg/kg of the nano particles to be adsorbed onto the fabric. [17] The attempts at functionalizing cotton with atmospheric corona plasma showed an increase in the adsorptive capabilities of the cotton surface for nanosilver coatings. [18]

The purpose of our research was to study the influence of water vapor or  $CF_4$  plasma treatments on the adhesion level of nanosilver to bleached and mercerized cotton fabric. Untreated and plasma treated samples of fabric were compared. The ISO-105-C03 wash fastness test was used to establish the desorption level of nanosilver particles silver after washing.

## 2 Experimental

Bleached and mercerized cotton fabric in plane weave, which was made by Tekstina, Ajdovscina, was used in the research. Samples with a size of 30 cm × 30 cm were treated in a low-pressure plasma reactor. The diagram of the reactor is presented in Figure 1. An RF generator with a nominal power of 5 kW and a frequency of 27.12 MHz was used. As working gases, water vapor and  $CF_4$  were used. A sample of cotton fabric was put on a glass holder, which was mounted in the centre of the discharge chamber. After closing the chamber, 0.4-mbar pressure was achieved with a two-stage rotary pump and the functionalization of the cotton samples was started. All of the samples were treated with the plasma for 10 seconds and subsequently transported to a silica-gel desiccator.

Untreated and plasma-treated samples were blank exhaust dyed in a Launder-o-meter according to the dye producer's instructions. [19] The dyebath included 20 mg/l of 30 nm or 80 nm silver particles (Ames Goldsmith Corp.). After dyeing and after the treatments, the samples were also treated with 10 g/l of Tubicoat PU 80 (Bezema) and dried at 130°C. Figure 2 presents the dyeing process and the after treatments.

After dyeing and the after treatments, the wash fastness of the samples was tested. The samples were washed in a Launder-o-meter. One wash

aktorja smo postavili naš vzorec. Po zaprtju posode smo s pomočjo dvostopenjske rotacijske črpalke dosegli želeni tlak 0,4 mbar. Ko smo vključili RF-generator, se je plin v razelektrivni posodi spremenil v plazmo in funkcionalizacija bombažnega vzorca se je začela. Vzorce smo obdelovali 10 sekund in jih pozneje prenesli v eksikator, ki je vseboval silikagel.

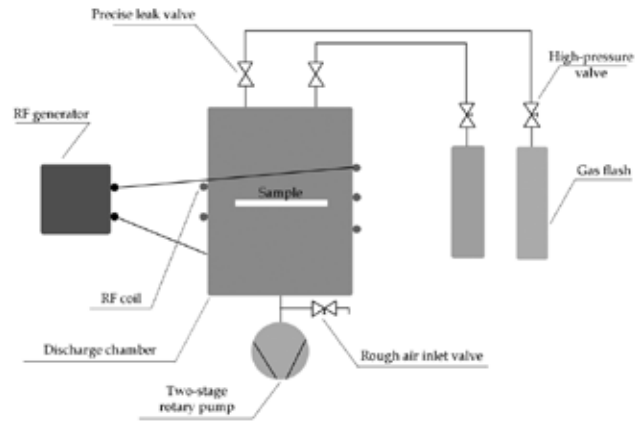


Figure 1: Diagram of plasma reactor

Neobdelane in plazemsko obdelane vzorce smo slepo barvali po izčrpalnem postopku v launder-ometru po navodilih proizvajalca barvil Ciba [19]. V barvalno kopel smo dodali 20 mg/l srebrnih delcev (Ames Goldsmith Corp.) velikosti 30 nm ali 80 nm. Po barvanju in poobdelavah smo vzorce obdelali še z 10 g/l sredstva Tubicoat PU 80 (Bezema) ter jih sušili pri 130 °C. Na sliki 2 je prikazan diagram barvanja z izčrpanjem s poobdelavami, ki potekajo v sklopu izčrpalnega barvalnega postopka.

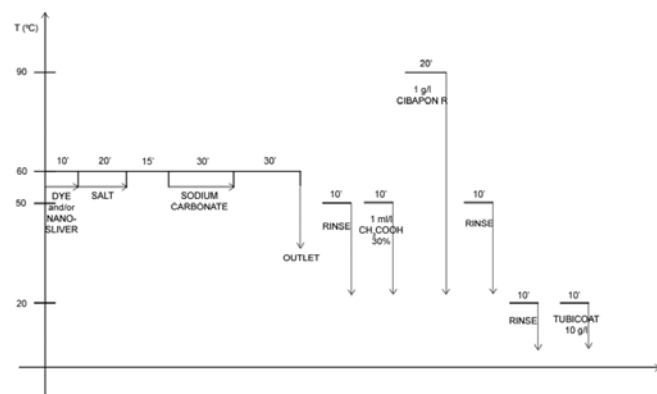


Figure 2: Dyeing process for Cibacron S reactive dyes and aftertreatments

Po končanem barvanju in poobdelavah smo vzorce testirali na pralno obstojnost. Vzorce smo prali v launder-ometru, v katerem eno pranje po standardu ustreza petim pranjem perila v gospodinjskem pralnem stroju. Vzorce smo prali 10-krat zaporedoma

in a Launder-O-Meter provides an accelerated washing treatment that corresponds to five home washings. The samples were washed repetitively 10 times at 95°C in a solution of 5 g/l of SDC standard detergent and 2 g/l of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (where 10 globules were added). The duration of the washing cycles was 30 min. After every wash cycle, the samples were rinsed twice in distilled water and then for 10 minutes under a tap water, which was followed by squeezing and air drying. The quantity of silver

pri 95 °C, in to v raztopini 5g/l ECE phosphate reference detergent B (SDC) in 2 g/l  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ter ob dodatku 10 kroglic. Po vsakem pranju smo vzorce 2-krat sprali v mrzli deionizirani vodi in 10 minut pod tekočo vodo, jih oželi in sušili na zraku. Količina adsorbiranega srebra na tkaninah je bila določena z ICP-MS [20].

### 3 Rezultati z razpravo

Tabela 1 prikazuje rezultate analize ICP-MS neobdelanih in plazemsko obdelanih s srebrom barvanih bombažnih tkanin.

Table 1: The quantity (ppm) of silver on cotton (B) samples

Ag	B untreated	plasma water vapour	plasma water vapour +10-times washed	plasma $\text{CF}_4$	plasma $\text{CF}_4$ +10-times washed
30 nm	32	50	26	54	36
80 nm	13	17	10	26	22

nanoparticles on the cotton samples was measured with an ICP-MS analysis. [20]

### 3 Results and discussion

The results are shown in Table 1 for the ICP-MS analysis of the silver nanoparticles on the untreated and plasma treated cotton samples.

Table 1 shows that the plasma treatment has a great impact on the adsorption of nanosilver onto cotton fabrics. Treating the cotton with water vapour and  $\text{CF}_4$  plasma changes its surface, where adsorption of the nanosilver increases in comparison to the untreated cotton; in one case (when 80 nm silver was used on the  $\text{CF}_4$  plasma treated cotton), it increased by 100% (from 13 ppm to 26 ppm). The plasma-treated cotton surface, which shows morphological changes [21], is more favorable for the physical adsorption of nanoparticles. Regarding their volume, nanoparticles have a large surface since they have a great ability to travel. By decreasing the size of a particle, its surface distribution rate increases. [22] Silver nanoparticles with a size of 30 nm adsorb onto the cotton surface at a higher concentration than particles with a size of 80 nm. After ten wash cycles (i.e.,

Iz rezultatov v tabeli 1 je razvidno, da plazemska obdelava površin bombažnih tkanin močno spremeni adsorptivnost le-teh do nano srebra. Obdelava s plazmo vodne pare in s plazmo  $\text{CF}_4$  spremeni površino bombaža, adsorpcija 80 nm srebra se glede na neobdelani bombaž v primeru uporabe plazme  $\text{CF}_4$  poveča celo za 100 % (s 13 ppm na 26 ppm). Plazemsko spremenjena površina bombaža, ki kaže morfološke spremembe [21], je v tem primeru ugodnejša za potek fizikalne adsorpcije nanodelcev. Nanodelci imajo glede na volumen veliko površino, zaradi česar imajo veliko potovalno sposobnost. Z zmanjševanjem velikosti delca se poveča njegova površinska porazdelitvena stopnja [22]. Srebrni nanodelci velikosti 30 nm se adsorbirajo na površino bombaža v večji koncentraciji kot 80 nm delci. Po 10-kratnem pranju (50-kratnem gospodinjskem pranju) pri 95 °C se koncentracija srebra na bombažnih vzorcih zniža. Koncentracija nanosrebra velikosti 30 nm se po 10-kratnem pranju s plazmo vodne pare spremenjene tkanine zniža za 48 % (s 50 ppm na 26 ppm), medtem ko se s plazmo  $\text{CF}_4$  obdelanemu bombažu po 10-kratnem pranju vsebnost srebra zmanjša za 34 % (s 54 ppm na 36 ppm). Padec koncentracije srebra na bombažu po 10-kratnem pranju opažamo tudi v primeru uporabe 80 nm srebra. S plazmo vodne pare spremenjeni bombaž izgubi 41 % (s 17 ppm na 10 ppm), s plazmo  $\text{CF}_4$  spremenjeni bombaž pa 15 % (s 26 ppm na 22 ppm) nanosrebra. Površina beljenega in merceriziranega bombaža je po 10-sekundni obdelavi v plazmi  $\text{CF}_4$  dozvetnejša za adsorpcijo nanosrebra kot površina, ki je bila funkcionalizirana s plazmo vodne pare. Analiza spremembe morfologije površine beljenega merceriziranega bombaža po obdelavi s plazmo

50 domestic wash cycles) at 95°C, the concentration of silver on the cotton samples decreases. The concentration of 30 nm nanosilver decreases by 48% (from 50 ppm to 26 ppm) after ten wash cycles when using water vapor plasma, while the nanosilver content decreases by 34% (from 54 ppm to 36 ppm) after ten wash cycles for cotton that was treated with CF<sub>4</sub> plasma. The drop in the concentration of silver on the cotton after ten wash cycles is also observed with the 80 nm silver. Cotton that is treated with water vapor plasma loses 41% (from 17 ppm to 10 ppm); however, cotton treated with CF<sub>4</sub> plasma loses 15% (from 26 ppm to 22 ppm) of the nanosilver. After a 10-second treatment with CF<sub>4</sub> plasma, the surface of the bleached and mercerized cotton is more liable to the adsorption of nanosilver than the surface that was functionalized with the water-vapour plasma. After the CF<sub>4</sub> plasma treatment, an analysis of the changes in the surface morphology of the bleached and mercerized cotton was conducted with a scanning electron microscope. [23] The surface changes due to the plasma show incredible homogeneity and thus, it can be assumed that it will play an important role in the future use of nanotechnology.

#### 4 Conclusions

Cotton surfaces that are treated with water vapour or CF<sub>4</sub> plasma are more susceptible to adhesion of silver nanoparticles due to morphological changes of the cotton's surface. The reduction in the silver concentration on the cotton after ten wash cycles is also noticeable; it occurs with both types of plasma and both sizes of nanosilver. However, desorption of the nanosilver is higher when using water-vapour plasma. The results show that the physical forces between the silver nanoparticles and the CF<sub>4</sub> plasma-treated cotton surfaces are stronger than the physical or weak chemical forces between the nanoparticulate silver and the water-vapour plasma-treated cotton surfaces. It is known that the CF<sub>4</sub> plasma-treated surface acquires a hydrophobic character. [24] When using metal nanoparticles, hydrophobic interactions are preferential. Under humid conditions, and especially in the dyeing bath, oxidation of the silver nanoparti-

CF<sub>4</sub> je bila opravljena s SEM (vrstičnim elektronskim mikroskopom) [23]. Plazemsko spremenjena površina kaže neverjetno homogenost in predvidevamo, da bo njena uporaba v nanotehnologiji odigrala pomembno vlogo.

#### 4 Zaključki

Površine bombaža, ki je bil obdelan s plazmo vodne pare ali CF<sub>4</sub>, zaradi spremenjene morfologije sprejmejo večje koncentracije srebrnih nanodelcev. Zmanjšanje koncentracije srebra na bombažu po 10-kratnem pranju je prav tako opazno v primerih uporabe obeh vrst plazem na bombažnih tekstilih in pri obeh velikostih nanosrebra, vendar je desorpcija nanosrebra večja s površine materiala, ki je bil obdelan s plazmo vodne pare. Rezultati jasno kažejo, da so fizikalne sile med nanodelci srebra in med površino bombaža, ki je bil nanostrukturiran s plazmo CF<sub>4</sub>, močnejše od fizikalnih oz. tudi šibkih kemijskih vezi med nanodelci srebra in z vodno paro spremenjeno površino bombaža. Znano je, da se s plazmo CF<sub>4</sub> obdelana površina hidrofobira [24]. Pri kovinskih nanodelcih srebra igrajo veliko vlogo hidrofobne interakcije. Ker pa so delci nanovelikosti, se hitro, že v prisotnosti vlage iz ozračja, še bolj pa v barvalni kopeli, obdajo z oksidno plastjo, iz katere se počasi sproščajo ioni Ag<sup>+</sup>. Za privlak kationov pa mora površina tekstilije vsebovati anionske funkcionalne skupine. Za detajlno analizo sprememb površine tekstilij je treba izvesti tudi XPS-analizo površin. Pri adheziji nanosrebra na površine tekstilij se prepletajo tako hidrofobne kot hidrofilne interakcije. Primerjava koncentracij različnih velikosti nanosrebra na neobdelanih in s plazmami obdelanih bombažnih tekstilih jasno pokaže večjo koncentracijo 30 nm srebra glede na 80 nm srebro.

#### 5 Zahvala

Raziskavo smo izvedli s finančno podporo projekta Eureka E!4043 – Nanovision, ARRS-programa P2-0213, programa Mladi raziskovalec in v sodelovanju z raziskovalci Inštituta Jožef Stefan, Odseka za tehnologijo površin in optoelektroniko.

#### 6 Literatura

1. KANG, J. Y., SARMADI, M. Textile plasma treatment review – Natural polymer-based textiles, *AATCC Review*, 2004, vol. 4 (10), p. 28–32.
2. SHISHOO, R. Plasma conquering the textile industry, *RTD Info, Magazine for European Research*, 1999, vol. 24, p. 22–23.
3. MORENT, R., DE GEYTER, N., VERSCHUREN, J., DE CLERCK, K., KIEKENS, P., LEYS, C. Non-thermal plasma tre-

cles occurs, wrapping them with a silver oxide layer from which  $\text{Ag}^+$  ions are slowly released. The surface of the textile material that contains anionic functional groups becomes attractive to the cations. A detailed analysis of the changes to the textile's surface is necessary and an XPS analysis is also recommended. Interweaving of the hydrophobic and hydrophilic interactions at the adhesion of the nanosilver particles to textile surfaces is observed. A comparison of the different sizes of nanosilver particles clearly shows that the adsorption as well as the desorption of 30 nm silver particles are more intensive than the adsorption and the desorption of 80 nm silver nanoparticles.

- atment of textiles. *Surface and coatings technology*, 2008, vol. 202 (14), p. 3427–3449.
4. GRILL, A. *Cold plasma in materials fabrication from fundamentals to applications*, IEEE Press, New York, 1994.
  5. SUN, D., STYLIOS, G. K. Fabric surface properties affected by low temperature plasma treatment. *Journal of materials processing technology*, 2006, vol. 173 (3), p. 245–249.
  6. FRANCESCHINI, D. F., ACHETE, C. A., FREIRE, F. L., BEYER, W., MARIOTTO, G. Structural modifications in a-c-h films doped and implanted with nitrogen. *Diamond and related materials*, 1994, vol. 3 (1–2), p. 88–93.
  7. RUSSELL, A. D., HUGO, W. B. Antimicrobial activity and action of silver, *Progress in medical chemistry*, 1994, vol. 31, p. 351–370.
  8. TOMSIC, B., SIMONCIC, B., OREL, B., ZERJAV, M., SCHROERS, H., SIMONCIC, A., SAMARDZIJA, Z. Antimicrobial activity of AgCl embedded in a silica matrix on cotton fabric. *Carbohydrate polymers*, 2009, vol. 75 (4), p. 618–626.
  9. TOMŠIČ, B., SIMONČIČ, B., CVIJIN, D., OREL, B., ZORKO, M., SIMONČIČ, A. Elementarno srebro kot antibakterijsko sredstvo na bombažni tkanini = Elementary nano sized silver as antibacterial agent on cotton fabric. *Tekstilec*, 2008, vol. 51 (7/9), p. 199–215.
  10. WRIGHT, J. B., LAM, K., BURRELL, R. E. Wound management in an era of increasing bacterial antibiotic resistance: a role for topical silver treatment. *American Journal of Infection Control*, 1998, vol. 26, p. 572–577.
  11. ALT, V., BECHERT, T., STEINRUCKE, P., WAGENER, M., SEIDEL, P., DINGELDEIN, E., DOMANN, E., SCHNETTLER, R. An in vitro assessment of the antibacterial properties and cytotoxicity of nanoparticulate silver bone cement. *Biomaterials*, 2004, vol. 25 (18), p. 4383–4391.
  12. KERN F. W., GALE, G. W. *Handbook of semiconductor manufacturing technology*, Marcel Dekker, New York, 2000.
  13. CVELBAR, U., PEJOVNIK, S., MOZETIC, M., ZALAR, A. Increased surface roughness by oxygen plasma treatment of graphite/polymer composite. *Applied surface science*, 2003, vol. 210 (3–4), p. 255–261.
  14. WIELEN, L. C. V., OSTENSON, M., GATENHOLM, P., RA-GAUSKAS, A. J. Surface modification of cellulosic fibers using dielectric-barrier discharge. *Carbohydrate polymers*, 2006, vol. 65 (2), p. 179–184.
  15. TEMMERMAN E., LEYS, C. Surface modification of cotton yarn with a DC glow discharge in ambient air. *Surface and coatings technology*, 2005, vol. 200, p. 686–689.
  16. HEGEMAN, D., HOSSAIN, M. M., BALAZS, D. J. Nanostructured plasma coatings to obtain multifunctional textile surfaces. *Progress in organic coatings*, 2007, vol. 58, p. 237–240.
  17. GORENSEK, M., RECELJ, P. Nanosilver functionalized cotton fabric. *Textile research journal*, 2007, vol. 77 (3), p. 138–141.

18. GORJANC, M., JOVANCIC, P., GORENSEK, M. Nano silver on cotton. *Hot nano topics 2008: incorporating SLONANO 2008, 3 overlapping workshops on current hot subjects in nanoscience, 23–30 May, Portorož, Slovenia: abstract book*. Ljubljana: [s. n.], 2008, p. 239.
19. CIBACRON<sup>®</sup> S reactive dyes, Customer technical information, Ciba Specialty Inc., 2004.
20. BECKER, J. S., PICKHARDT, C., HOFFMANN, N., HOCKER, H., BECKER, J. S. Multielement analysis of alkaline-resistant glass and basalt glass fibers using laser ablation ICP-MS: A useful tool in technical textile quality control. *Atomic spectroscopy*, 2002, vol. 23 (1), p. 1–6.
21. GORJANC, M., JOVANČIĆ, P., BUKOŠEK, V., GORENŠEK, M. Study of adsorption of nano silver on cotton pretreated with plasma. *Proceedings of the 9th Autex Conference*. Izmir: Ege University, Engineering Faculty, Department of Textile Engineering, 2009, p. 1029–1032.
22. *The physics and chemistry of nanosolids*. Ed.: F. J. Owens, C. P. Poole Jr. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2008.
23. GORJANC, M., BUKOSEK, V., VESEL, A., GORENŠEK, M. Influence of water vapour plasma on mercerized bleached cotton fabric. *Textile research journal*, doi:10.1177/0040517509348330.
24. McCORD, M. G., HWANG, Y. J., HUGHES, L. K., BOURHAM, M. A. surface analysis of cotton fabrics fluorinated in radio-frequency plasma. *Journal of applied polymer science*, 2003, vol. 88, p. 2038–2047.

## Influence of Kapok Hollowness on Its Liquid Retention Capacity

Original Scientific Paper

Received October 2009 • Accepted November 2009

### Abstract

*Kapok (Ceiba pentandra) is a natural cellulose fibre with an extraordinary lumen and round-to-oval cross-section. It is one of the most efficient fibres for oil absorbers where it even outperforms synthetic fibres. The mechanism of oil sorption into kapok fibres has not been entirely researched yet. Excellent sorption capacities are attributed to the retention of oils in the kapok fibre lumen. The paper is going to present the results of measurements of the kapok fibres hollowness, and the capacity of kapok fibers to retain liquids after having been soaked for 3 hours and centrifuged, as well as the mechanism of water and oil surface adsorption. Geometrical indices of raw kapok were measured or calculated based on the measured parameters of the raw fibres cross-sections: thickness of the cell wall 1.01  $\mu\text{m}$ , the lumen diameter to fibre diameter ratio ( $d/D$ ) 0.85, percentage of the hollowness 73.08%, volume of the raw kapok lumen 2.1  $\text{cm}^3/\text{g}$ , density of fibres 0.3968  $\text{g}/\text{cm}^3$ , specific surface area per volume unit 0.2324  $\mu\text{m}/\mu\text{m}^2$  and per weight unit 0.6678  $\text{m}^2/\text{g}$  resp. It has been noticed that at contact of dry kapok fibres with liquid, water is spreading slowly over the surface of fibres where-*

---

Vodilni avtor/corresponding author:

dr. Tatjana Rijavec

tel.: +386 1 200 32 24

e-mail: tatjana.rijavec@ntf.uni-lj.si

---

Tatjana Rijavec

<sup>1</sup> Oddelek za tekstilstvo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

## Vpliv votlosti kapoka na sposobnost zadrževanja tekočin

**Izvirni znanstveni članek**

Poslano oktober 2009 • Sprejeto november 2009

### Izvleček

Kapok (*Ceiba pentandra*) je naravno celulozno vlakno z izrazitim lumnom in okroglim do ovalnim prečnim prerezom. Je eno najučinkovitejših vlaken za oljne absorberje, kjer prekaša sintetična vlakna. Mehanizem sorpcije olj v kapokova vlakna ni popolnoma proučen. Odlične sorpcijske sposobnosti pripisujejo zadrževanju tekočin v lumnu vlaken. V članku so predstavljeni izsledki raziskave votlosti kapoka in sposobnosti zadrževanja tekočin po triurnem namakanju in centrifugiranju vlaken ter mehanizem površinske adsorpcije vode in olja. Geometrijski indeksi surovega kapoka so bili izmerjeni in izračunani na podlagi izmerjenih parametrov prečnega prereza surovih vlaken: debelina celične stene 1,01  $\mu\text{m}$ , razmerje med premerom lumna in premerom vlakna ( $d/D$ ) 0,85, votlost 73,08-odstotna, gostota vlaken je 0,3968  $\text{g}/\text{cm}^3$ , zunanja specifična površina 0,2324  $\mu\text{m}/\mu\text{m}^2$  oziroma 0,6678  $\text{m}^2/\text{g}$ . Ob stiku suhih vlaken kapoka s tekočino je bilo opaženo počasno širjenje vode po površju vlaken, olje pa se je razširilo zelo hitro. Voda že takoj ob stiku s kapokovimi vlakni začne prodirati v lumen vlaken. Olje počasneje prodira v lumen vlaken kot voda. Zelo malo olja je prodrlo v lumen kapoka v začetnih minutah, po daljšem času namakanja pa je olje dobro zapolnilo lumen kapoka. Povprečni volumen lumna kapoka je 2,1  $\text{cm}^3$  na gram absolutno suhih vlaken, kar pomeni kapaciteto vlaken za zadrževanje tekočine v lumnju. Izmerjene količine zadržane vode po triurnem namakanju in centrifugiranju so bile 1,03 g za vodo, za jedilno olje 1,32 g in za parafinsko olje 1,07 g na gram absolutno suhih vlaken. Količina zadržanega olja, ki ostane v kapoku po centrifugiranju, je manjša od kapacitete lumna in pomeni le nekaj odstotkov celotne količine vsebovanega olja v namakanih vlaknih pred centrifugiranjem. Centrifugiranje omogoča



as oil spreads very quickly. Water starts to penetrate into the fibre lumen as soon as it comes into contact with kapok fibres. Oil penetrates into the fibre lumen at a slower rate than water. In the first few minutes only a very low amount of oil penetrated into the kapok fibre lumen, however, after a longer period of time, oil filled the kapok fibre lumen very well. The mean volume of a kapok fibre lumen is  $2.1 \text{ cm}^3$  per 1 gram of absolutely dry fibres, which represents the capacity of fibres to retain liquid in their lumen. The measured mean amount of the retained liquid in kapok fibres after the fibres have been soaked for 3 hours and centrifuged was 1.03 g in the case of water, 1.32 g in the case of cooking oil and 1.07 g in the case of paraffin oil per 1 g of absolutely dry fibres. The quantity of oil retentioned in kapok after centrifugation was lower than capacity of fibres lumen which presents only few percentages of the whole quantity of retentioned oil in kapok fibres before centrifugation. Centrifugation process enables a highly percentage of oil regeneration and reusage of kapok filters.

*Keywords:* kapok, fibre hollowness, geometrical indices of hollow fibres, amount of retained liquid

## 1 INTRODUCTION

Hollow fibres belong to heterophyllic fibres of the sheath/core type with the core representing a hollow part of the fibre which is usually filled with air [1]. They are characterized by geometrical parameters among which the size of the hollow part as well as the external and internal surfaces are the most important [2, 3]. The hollowness of fibres has a significant influence on physical properties of fibres and end products, such as density, thermal and acoustic insulation and liquid retention capacity.

Man-made melt-spun hollow fibres are mostly used as the stuffing for winter clothes, fake fur and upholstery. The fineness of these fibres, which are typically made of polyester and polypropylene, is about 6 dtex for pillows stuffing, about 15 dtex for upholstery, and 40 dtex for filtration [4]. Solution-spun hollow fibres have porous semi-permeable wall and are mostly used for liquid and gas filtration, e.g. seawater

visok odstotek regeneriranja olj iz kapokovih filtrov in njihovo ponovno uporabo.

**Ključne besede:** kapok, votlost vlaken, geometrijski indeksi votlih vlaken, količina zadrževane tekočine.

## 1 Uvod

Votla vlakna so heterofilna vlakna tipa plašč/jedro, kjer je jedro votli del vlakna, ponavadi zapolnjen z zrakom [1]. Karakterizirajo jih geometrijski parametri, med katerimi so najpomembnejši velikost votlega dela vlaken ter zunanja in notranja površina [2, 3]. Votlost vlaken vpliva na fizikalne lastnosti vlaken in končnih izdelkov, kot so gostota, toplotna in zvočna izolacija ter sposobnost zadrževanja tekočin.

Kemična votla vlakna, spredena iz taline, največkrat uporabljajo za polnila za zimska oblačila, umetno krzno in notranjo opremo. Ta so najpogosteje iz poliestra in polipropilena, finoča je okrog 6 dtex za blazine, okrog 15 dtex za pohištvo in 40 dtex za filtracijo [4]. Votla vlakna, spredena iz raztopine, imajo porozno polprepustno steno. Največ jih namenjajo za filtracijo tekočin in plinov, npr. za razsoljevanje morske vode, farmacevtsko in biotehniško separacijo ter za detoksikacijo krvi [5]. Takšen primer so tudi votla bakrova vlakna (CUP), ki jih uporabljajo za dializne membrane [6].

Rastlinska elementarna vlakna so ostanki prozenhimatskih, v vzdolžni osi podaljšanih rastlinskih celic. Protoplazma, ki je v osrednjem delu rastlinske celice, se pri odmrtnosti celice posuši in pusti za seboj zrakom napolnjen votli del, t. i. lumen. Ta poteka vzdolž vlakna in se pri nekaterih vlaknih (npr. pri surovem bombažu) sesede, ko na celično steno ne pritiska več protoplazma. Velikost in oblika lumna sta pri različnih vrstah rastlinskih vlaken zelo različni [7]. Odvisni sta od razvitosti sekundarne celične stene in tudi od napetosti, ki delujejo v vlaknih med odmiranjem rastlinskih celic, ko se protoplazma suši.

Kapok (*Ceiba pentandra*) je votlo semensko enocelično vlakno, ki ima tanko, vendar togo sekundarno celično steno. Ta se pri sušenju protoplazme ne sesede. Zato večina vlaken obdrži cevasto obliko. Na površju vlaken so številne mehanske poškodbe, upogibi, kinki ipd. [8]. Po morfoloških lastnostih je primerljiv s svilnico (*Asclepias syriaca*), ki spada med invazivne rastline na območju Slovenije.

Kapok je izjemno učinkovito vlakno za biorazgradljive oljne absorbente [9]. V zadnjem desetletju je bilo opravljenih več raziskav za uporabo kapoka za oljne filtre in za odstranjevanje naftnih madežev pri razlitju v rekah, morjih in oceanih. Pri proučevanju filtracijskih sposobnosti kapoka v 5-, 10- in 15-odstotni vodni emulziji dizelskega in hidravličnega olja so ugotovili več kot 99-odstotno odstranitev olja [10]. Iz oljne suspenzije s sladko ali morskovo vodo absorbira kapok tudi več kot 40 g olja na gram vlaken [9].

ter desalination, pharmaceutical and biotechnical separation, and blood detoxination [5]. The example of such fibres are cupro fibres (CUP) used for dialysis membranes [6].

Vegetable elementary fibres are the remains of prosenchymatous, in the longitudinal axis extended plant cells. When a cell dies out, protoplasm, which is located in the central part of the plant cell, dries up and leaves an air-filled hollow space, the so-called lumen. Lumen runs alongside fibre; in some kinds of fibres (e.g. cotton fibres) it collapses when the pressure of protoplasm on the cell wall slackens. The size and shape of lumen highly differ from one type of vegetable fibre to another [7]. They depend on the development degree of a secondary cell wall as well as on tensions acting inside fibres during the plant cells dying out when protoplasm is drying.

Kapok (*Ceiba pentandra*) is a hollow seed monocellular fibre. It has thin but rigid secondary wall, which does not collapse during drying of protoplasm. This is why most kapok fibres keep tubular shape which is prone to deformations, such as flexures, kinks, etc. [8]. The morphological properties of kapok can be compared with those of milkweed (*Asclepias syriaca*), which belongs to invasive plants in the territory of Slovenia.

Kapok is an extremely effective fibre for biodegradable absorbents [9]. In the last decade several researches have been carried out about possible use of kapok for oil filters and for removal of oil spills from the surface of rivers, seas and oceans. Investigations of the kapok's filtration capacity in a 5, 10 and 15% water emulsion of Diesel and hydraulic oil have shown that more than 99% of oil has been removed [10]. Kapok is capable of absorbing even more than 40 g of oil per 1 gram of fibres from the oil suspension with fresh or seawater [9].

A high content of inorganic substances (1–2.5%) and acetyl groups in a primary cell wall and a waxy surface of raw kapok have a significant impact on high wetting capacity of kapok fibres with oils. Lim and Huang [11] have found that after the extraction of raw kapok with chloroform when superficial waxes and substances soluble in organic solvents were removed, kapok still remained water unwettable and highly oleophilic fibre. A contact angle between extract and oil was 117°. The outstanding wettability of

Visoka vsebnost anorganskih snovi (1–2,5 %) in acetilnih skupin v primarni celični steni poleg voskaste površine surovega kapoka vplivata na veliko sposobnost omočenja kapokovih vlaken z olji. Lim in Huang [11] sta ugotovila, da je kapok po ekstrakciji surovega kapoka s kloroformom, pri čemer so se odstranili površinski vosek in v organskih topilih topne snovi, še vedno ostal z vodo nemočljivo in močno oleofilno vlakno. Stični kot med ekstraktom in oljem je bil 117°. Odlična omočljivost kapoka omogoča površinsko zadrževanje velikih količin olja, ki se pri ožemanju vlaken ali centrifugiranju zelo hitro odstranijo.

Na hitrost absorpcije tekočin in količino kemično vezane tekočine vplivata molekulska in nadmolekulska struktura celične stene rastlinskih vlaken. Morfološka in nadmolekulska struktura kapoka je bila natančno obrazložena šele v zadnjem času [12]. Molekulska struktura kapoka je dobro proučena. Kapok vsebuje 19–20 % lignina in 22–28 % ksilana. Oleofilne absorpcijske sposobnosti celične stene kapoka so posledica kar 12–13 % acetilnih skupin, vezanih na neceluloznih molekulah, predvsem na ligninu, ki so porazdeljene znotraj nizkokristaline alfaceluloze tipa II, katere delež v surovem kapoku je od 35- do 43-odstoten [9, 13].

Prodiranje olja v kapokova vlakna po kapilarnem mehanizmu opisujeta Choi in Moreau [14], ki sta ta mehanizem proučevala s scanning elektronskim mikroskopom v sobnih razmerah. Ugotovila sta, da je „olje na površini kapokovega vlakna po določenem času izginilo s površja vlakna, verjetno zaradi sorpcije po kapilarnem mehanizmu zaradi votlega lumna“. Obnašanje lumna pri navzemanju tekočin je različno, odvisno od vrste rastlinskega vlakna. V surovem suhem bombažnem vlaknu je lumen seseden. V vodni raztopini NaOH (pri mercerizaciji) prihaja do nabrekanja sekundarne celične stene bombaža proti sredini vlakna zaradi prepočasnega nabrekanja primarne celične stene, kar vodi v zmanjšanje lumna. V kapoku se lumen zapolni s tekočinami. Glede na to, da o prodiranju olj skozi celično steno in o nabrekanju celične stene kapoka ni znanih podatkov v literaturi, vpliv olja na velikost lumna ni poznana. Ker je kapok rastlinsko vlakno z zelo kompaktno primarno celično steno [12], predvidevamo, da je sposobnost nabrekanja primarne celične stene tako v olju kot v vodi omejena.

Hori [9], ki je raziskoval absorpcijo surovih vlaken kapoka v suspenziji dizelsko olje/voda, je v optičnem mikroskopu opazil prisotnost predvsem obarvanega dizelskega olja v lumnu kapokovih vlaken. Ocenil je, da voda ne more prodreti v kapokova vlakna zaradi visoke površinske napetosti kapoka proti zraku, ki je zajet v vlaknih ( $7,2 \times 10^{-4}$  N/cm pri 20 °C).

Pore v vlaknih so prav tako območja zadrževanja tekočin, ki dodatno povečujejo količino absorbiranih tekočin. Poroznost kapokovih vlaken ni raziskana.

Namen naše raziskave je bil proučiti geometrijsko votlost kapoka in oceniti vpliv lumna na sposobnost zadrževanja vode in olja.

kapok enables that high amounts of oils are retained on the surface of fibres. They are quickly removed during squeezing or centrifuging fibres. The liquid absorption rate and the amount of chemically bound liquid are dependent on molecular and supramolecular structure of the vegetable fibres cell wall. The morphological and supramolecular structure of kapok has not been explained in detail until recently [12]. The molecular structure of kapok has been well researched. Kapok contains 19–20% of lignin and 22–28% of xylan. Oleophilic absorption capacities of a kapok cell wall are the result of even 12–13% of acetyl groups bound on non-cellulose molecules, particularly to lignin, which are distributed inside low-crystalline cellulose of type II the content of which in raw kapok is 35–43% [9, 13]. Penetration of oil in kapok fibres by capillarity is described by Choi and Moreau [14] who investigated this mechanism with a scanning elec-

## 2 Metode raziskav

V raziskavi smo uporabili surov javanski kapok s povprečno dolžino 18,8 mm in finočo 1,02 dtex.

### 2.1 Geometrijski indeksi kapoka

Geometrijske indekse kapoka smo proučili na podlagi meritev prečnega prereza vlaken, ki smo ga posneli na vrstičnem elektronskem mikroskopu JSM-2 JEOL pri 2000-kratni povečavi, pospeševalni napetosti 10 kV, naklonu vzorca 45° in delovni razdalji 12 mm. Snop vlaken smo na tesno potisnili skozi luknjico v ploščatem nosilcu in štrleče konce odrezali. Zaradi takšnega načina priprave preparata so se vlakna večinoma deformirala iz okrogle v ovalno oziroma elipsasto obliko po prečnem prerezu (slika 1). Vlakna smo pred snemanjem naparili s plastjo ogljika (C) in plastjo zlitine zlato/paladij (Au/Pd). Na digitalnih posnetkih prečnih prerezov vlaken (slika 1, levo) smo s pomočjo računalniškega programa [15] odčitali debelino celične stene ( $d_{st}$ ) ter veliko ( $2a_{vl}$ ;  $2a_{lu}$ ) in malo ( $2b_{vl}$ ;  $2b_{lu}$ ) osi zunanje in notranje elipse prereza vlaken (slika 1, desno). Opravili smo meritve na 100 vlaknih.

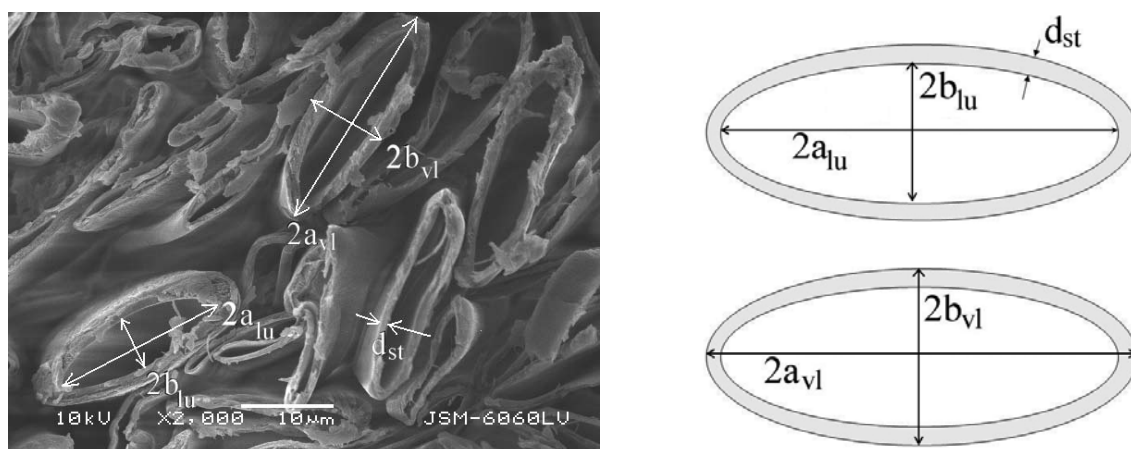


Figure 1: Left: Kapok fibre cross-section scanned on SEM microscope at 2000× magnification with presented read parameters. (Author Mrs. M. Leskovšek.) Right: Method of reading fibres cross-section dimensions. Index vl designates the external ellipse, and index lu the internal ellipse; 2a – large axis, 2b – small axis

tron microscope at room conditions. They found out that »oil on kapok fibre surface disappeared from the surface after a certain period of time, probably due to sorption by capillary action because of hollow lumen«. The behaviour of lumen during liquid absorption differs in dependence of the type of vegetable fibres. A dry raw cotton fibre has a collapsed lumen. In water solution of NaOH (at mercerisation) a secondary cell wall of cotton swells inwards as a result of too slow swelling of a primary cell wall which

Debelino celične stene kapokovih vlaken ( $d_{st}$ ) lahko izračunamo tudi po enačbi 1:

$$d_{st} = \frac{a_{vl} - a_{lu}}{2} \quad \text{ali} \quad d_{st} = \frac{b_{vl} - b_{lu}}{2} \quad (1)$$

Odčitane vrednosti velike in male osi elipse smo uporabili za izračun obsega prečnega prereza vlakna ( $o_{vl}$ ) in lumna ( $o_{lu}$ ) kapoka po Hudsonovih enačbah 2 in 3 za elipse [16]:

$$o \approx \frac{\pi}{4} (a + b) \left[ 3(1 + L) + \frac{1}{1 - L} \right] \quad (2)$$

leads to the decrease of lumen. A kapok lumen is filled with liquids. Since there is no information available in literature about penetration of oils through a cell wall and about kapok cell wall swelling, the effect of oil on the size of lumen is not known. As kapok is a vegetable fibre with a very compact primary cell wall [12], we assume that the capacity of a primary cell wall to swell in oil and water is limited.

Hori [9] who investigated the absorption of raw kapok fibres in a suspension of Diesel oil and water noticed under optical microscope that it was dyed Diesel oil which was mainly present in the kapok fibres lumen. He estimated that water could not penetrate into kapok fibres due to high surface tension between kapok and air captured in the fibres ( $7.2 \times 10^{-4}$  N/cm at 20°C).

Since pores in fibres are also considered the zones of liquids retention, the amount of absorbed liquids is additionally increased. Porosity of kapok fibres has not been researched yet.

The purpose of our research was to investigate the geometrical hollowness of kapok and to evaluate the capacity of kapok fibres to retain water and oils in their lumen.

## 2 Research methods

The Java kapok of mean length 18.8 mm and fineness 1.02 dtex was used in the research.

### 2.1 Geometrical indices of kapok

Geometrical indices of kapok were investigated based on measurements of the fibre cross-section which was scanned on the JSM-2 JEOL scanning electron microscope at 2000× magnification, acceleration voltage 10 kV, specimen inclination 45° and work distance 12 mm. A fibre wad was tightly pushed through a hole in the flat holder, and protruding fibre ends cut off.

As a result of such method of preparation of the specimen, fibres mostly underwent deformation from round to oval or ellipsoidal shape (Fig. 1). Prior to scanning, fibres were steamed with a layer of carbon (C) and a layer of the gold/palladium (Au/Pd) alloy. On digital images of fibres cross-sections the thickness of the cell wall ( $d_{st}$ ) as well as the large ( $2a_v$ ;  $2a_{lu}$ ) and small ( $2b_v$ ;  $2b_{lu}$ ) axis of the fibres external and internal ellipse cross-section (Fig. 1, right) were read

$$L = \frac{(a+b)^2}{[2(a+b)]^2} \quad (3)$$

Iz obsega prečnega prereza kapoka smo izračunali premer kapokovih vlaken z okroglim prečnim prerezom (D) (en. 4) in premer pripadajočega lumna (d) (en. 5). Zunanji in notranji premer sta osnovna parametra, ki definirata votla vlakna. Čim večje je razmerje med njima, ( $d/D$ ), bolj votla so vlakna, tem manjša je gostota vlaken, večja sposobnost vsrkavanja tekočin, večja toplotna izolativnost in manjša mehanska togost vlaken.

$$D = \frac{o_{vl}}{\pi} \quad (4)$$

$$d = \frac{o_{lu}}{\pi} \quad (5)$$

Zunanjo ( $P_z$ ) in notranjo ( $P_n$ ) površino na dolžino (l) enega metra votlih vlaken smo izračunali po enačbah 6 in 7:

$$P_z = o_z \cdot l \cdot 10^6 \quad (\mu\text{m}^2) \quad (6)$$

$$P_n = o_n \cdot l \cdot 10^6 \quad (\mu\text{m}^2) \quad (7)$$

Volumen vlakna ( $V_{vl}$ ), lumna ( $V_{lu}$ ) in celične stene ( $V_{st}$ ) smo izračunali po enačbah 8, 9 in 10 za cevasto nesosedeno vlakno z okroglim prečnim prerezom na dolžino (l) enega metra vlakna.

$$V_{vl} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot l \quad (8)$$

$$V_{lu} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \quad (9)$$

$$V_{st} = V_{vl} - V_{lu} \quad (10)$$

Votlost kapoka ( $r_{vl}$ ) smo podali kot razmerje med volumnom lumna ( $V_{lu}$ ) in volumnom celotnega vlakna ( $V_{vl}$ ) in je enako razmerju med površino prečnega prereza lumna ( $A_{lu}$ ) in površino prečnega prereza celotnega vlakna ( $A_{vl}$ ) oziroma razmerju njihovih premerov (en. 11):

$$r_{vl} = \frac{V_{lu}}{V_{vl}} \cdot 100 = \frac{A_{lu}}{A_{vl}} \cdot 100 = \frac{d^2}{D^2} \cdot 100 \quad (11)$$

Volumska specifična površina vlakna ( $P_{z/V}$ ) je razmerje med zunanjo površino ( $P_z$ ) in celotnim volumnom vlakna ( $V_{vl}$ ) (en. 12):

$$P_{z/V} = \frac{P_z}{V_{vl}} = \frac{4}{D} \quad (12)$$

Maso vlakna smo izračunali iz volumna ( $V_{st}$ ) in gostote celične stene ( $\rho_{st} = 1,474$  g/cm<sup>3</sup> [17]) po enačbi 13. Gostoto vlaken smo izračunali iz mase vlakna ( $m_{vl}$ ) na celoten volumen vlakna (enačbi 14).

$$m_{vl} = \frac{V_{st}}{\rho_{st}} \quad (13)$$

by means of a computer program. The measurements were carried out on 100 fibres.

The thickness of the kapok fibres cell wall ( $d_{st}$ ) can also be calculated by using Equation 1.

The read values of the ellipse large and small axes were used to calculate the circumference of the fibre cross-section ( $o_{vl}$ ) and the lumen ( $o_{lu}$ )

$$\rho_{vl} = \frac{m_{vl}}{V_{vl}} \quad (14)$$

Utežno specifično površino ( $P_{z/m}$ ) smo izračunali iz razmerja med zunanjo površino ( $P_z$ ) in maso vlakna ( $m_{vl}$ ) po enačbi 15:

$$P_{z/m} = \frac{P_z}{m_{vl}} = \frac{4}{\rho_{vl} \cdot D} \quad (15)$$

Table 1: Assembly of geometrical hollow fibre indices

Geometrijski indeksi za votla vlakna z okroglim prečnim prerezom	Geometrical indices of hollow fibres with round cross-section	Symbol/Symbol
debelina stene vlakna	<i>Thickness of the kapok fibres cell wall</i>	$d_{st}$
mala notranja os	<i>Small internal axis of ellipse</i>	$2b_{lu}$
mala zunanja os	<i>Small external axis of ellipse</i>	$2b_{vl}$
velika notranja os	<i>Large internal axis of ellipse</i>	$2a_{lu}$
velika zunanja os	<i>Large external axis of ellipse</i>	$2a_{vl}$
notranji obseg vlakna	<i>Fibre internal (lumen) circumference</i>	$o_{lu}$
zunanji obseg vlakna	<i>Fibre external circumference</i>	$o_{vl}$
premer lumna	<i>Lumen diameter</i>	$d$
premer vlakna	<i>Fibre diameter</i>	$D$
zunanja površina vlakna	<i>Fibre external surface area per unit length</i>	$P_z$
notranja površina vlakna	<i>Fibre internal surface area per unit length</i>	$P_n$
volumen celične stene	<i>Cell wall volume</i>	$V_{st}$
volumen lumna	<i>Lumen volume</i>	$V_{lu}$
volumen vlakna	<i>Fibre volume</i>	$V_{vl}$
votlost	<i>Hollowness</i>	$r_{vl}$
površina prečnega prereza lumna	<i>Lumen cross-section surface area</i>	$A_{lu}$
površina prečnega prereza vlakna	<i>Fibre cross-section surface area</i>	$A_{vl}$
volumska specifična površina vlakna	<i>Fibre specific surface area per unit of volume</i>	$P_{z/V}$
gostota vlakna	<i>Fibre density</i>	$\rho_{vl}$
utežna specifična površina vlakna	<i>Fibre specific surface area per unit of weight</i>	$P_{z/m}$
razmerje med premerom lumna in vlakna	<i>Lumen diameter to fibre diameter ratio</i>	$d/D$
razmerje med zunanjo in notranjo specifično površino	<i>External to internal specific surface area ratio</i>	$P_z/P_n$

of kapok by using Hudson's Equations 2 and 3 for ellipse [16].

From the kapok fibre cross-section circumference the diameter of kapok fibres with round cross-section ( $D$ ) (Eq. 4) and the diameter of the related lumen ( $d$ ) (Eq. 5) were calculated. The external and internal diameter are basic parameters which define hollow fibres. Higher is the ratio between them ( $d/D$ ), hollower are the fibres, lower is the fibres density, higher is the liquid absorbing capacity, better are the thermal insulation properties and lower is the mechanical rigidity of fibres.

External ( $P_e$ ) and internal ( $P_i$ ) surface areas per unit length ( $l$ ) of 1 metre of hollow fibres have been calculated by using Equations 6 and 7.

The volume of fibre ( $V_{vf}$ ), lumen ( $V_{lu}$ ) and cell wall ( $V_{cw}$ ) for tubular non-collapsed fibre with round cross-section per length ( $l$ ) of 1 metre of fibres has been calculated by using Equations 8, 9 and 10.

The hollowness of a kapok fibre ( $r_{vf}$ ) has been expressed as the ratio of the volume of lumen ( $V_{lu}$ ) to the volume of entire fibre ( $V_{vf}$ ); it equals the ratio of the lumen cross-section surface area ( $A_{lu}$ ) to the entire fibre cross-section surface area ( $A_{vf}$ ) or the ratio between their diameters (Eq. 11). Fibre specific surface area per unit volume ( $P_{z/vf}$ ) is the ratio of external surface ( $P_e$ ) to total fibre volume ( $V_{vf}$ ) (Eq. 12).

Fibre mass has been calculated from the volume ( $V_{vf}$ ) and cell wall density ( $\rho_{st} = 1.474 \text{ g/cm}^3$  [17]) by using Eq. 13. Fibre density has been calculated from the fibre mass ( $m_{vf}$ ) per total fibre volume (Eq. 14).

Specific surface area per unit mass ( $P_{z/m}$ ) has been calculated from the ratio of external surface ( $P_e$ ) to fibre mass ( $m_{vf}$ ) by using Equation 15.

In a Table 1 the meanings of symbols for hollow fibres with round cross-section are assembled.

## 2.2 Liquids sorption mechanism and amount of retained liquid

The water and oils sorption mechanism was investigated by using the Olympus CX2 optical microscope, on which fibres were photographed by using the Olympus SP-350 digital compact camera, fixed on the third microscope ocular.

The amount of retained liquid (KZT) was determined according to DIN 53 814 standard

V preglednici 1 so zbrani simboli in njihov pomen za geometrijske indekse votlih vlaken z okroglim prečnim prerezom.

## 2.2 Mehanizem sorpcije tekočin in količina zadrževane tekočine

Mehanizem sorpcije vode in olj smo proučevali v optičnem mikroskopu Olympus CX2, na katerem smo vlakna tudi fotografirali s pomočjo digitalne kompaktne kamere Olympus SP-350, pritrjene na tretjem okularju mikroskopa.

Količino zadržane tekočine (KZT) smo določili po standardu DIN 53 814 [18]. Proučevali smo sposobnost zadrževanja destilirane vode, jedilnega in parafinskega olja surovega kapoka, surovega bombaža (finoče 1,8 dtex) in viskoznih vlaken (1,7 dtex). Vzorec mase 0,4 g smo tri ure namakali v 150 ml destilirane vode oziroma olja v erlenmajerici z brušenim zamaškom. Za surov kapok smo morali zatehtati vlaken zmanjšati na 0,2 g vlaken, da smo jih po namakanju v olju lahko vložili v epruvete, saj so surova vlakna kapoka navzela zelo veliko količino olja. Nato smo vlakna odsesali in za pet minut obtežili s kilogramsko utežjo. Vlakna smo nato kvantitativno prenesli v steklene epruvete, kot jih predpisuje standard, le-te pa v kovinske epruvete centrifuge. Centrifugirali smo 30 minut pri 3000 vrtljajih na minuto. Po centrifugiranju smo vlakna takoj stehtali. S centrifugiranjem smo odstranili površinsko adsorbirano tekočino in ugotavljali zadrževanje tekočine v notranjosti vlaken. Količino zadržane tekočine smo izračunali po enačbi 16:

$$KZT = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (16),$$

kjer je  $m_1$  masa suhih vlaken,  $m_2$  masa vlaken po centrifugiranju in KZT količina zadrževane tekočine, izražena v odstotkih.

Uporabili smo parafinsko olje proizvajalca S Pharmachem Sušnik Jože, s.p. (gostota 0,865 g/cm<sup>3</sup>, viskoznost 186 mPas pri 20 °C) in jedilno rafinirano 100-odstotno sončnično olje Sončni cvet proizvajalca Gea, d.d. (gostote 0,950 g/cm<sup>3</sup> pri 20 °C).

## 3 Rezultati z razpravo

### 3.1 Geometrijski indeksi kapoka

V preglednici 2 so zbrani izmerjeni geometrijski indeksi prečnega prereza kapoka, v preglednici 3 pa izračunani geometrijski indeksi po enačbah 1–15.

Izračunani premer vlaken kapoka z okroglim prečnim prerezom je 16,81 μm. Povprečna izmerjena debelina celične stene je 1,01 μm, minimalna debelina 0,70 μm, maksimalna debelina 1,73 μm. Po geometrijskih karakteristikah kapok izstopa v primerjavi z votlimi sintetičnimi vlakni za polnila, kjer npr. na trgu dostopna votla vlakna okroglega prečnega prereza dosejajo premere več kot 250 μm ob debelini stene okrog 13 μm in manj.

Table 2: Measured geometrical indices of kapok fibres with ellipsoidal cross-section

Geometrical indices of kapok fibres with ellipsoidal cross-section	Mean value ( $\mu\text{m}$ )	Standard deviation ( $\mu\text{m}$ )	Coefficient of variation (%)
Large external axis ( $2a_{vl}$ )	24.61	4.29	17.42
Small external axis ( $2b_{vl}$ )	5.95	2.05	34.43
Large internal axis ( $2a_{lu}$ )	21.38	4.19	19.59
Small internal axis ( $2b_{lu}$ )	3.91	1.87	47.84
Thickness of fibre wall ( $d_{st}$ )	1.01	0.22	21.45

Table 3: Calculated geometrical indices of kapok fibres with round cross-section

Geometrical Index	D ( $\mu\text{m}$ )	d ( $\mu\text{m}$ )	d/D	$o_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$o_n$ ( $\mu\text{m}$ )	$V_{vl}$ ( $\mu\text{m}^3$ )	$V_{lu}$ ( $\mu\text{m}^3$ )	$V_{st}$ ( $\mu\text{m}^3$ )	$\rho$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Value	16.81	14.31	0.85	52.78	44.93	227 110	165 970	61 140	0.3968

Geometrical Index	$A_{vl}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$A_{lu}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$r_{vl}$ (%)	$P_z$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$P_n$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$P_z/P_n$	$P_{z,v}$ ( $\mu\text{m} / \mu\text{m}^2$ )	$P_{z,m}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
Value	227.11	165.97	73.08	52 780	44 930	1.17	0.2324	0.6678

[18]. We investigated the retention capacity for distilled water, cooking oil and paraffin oil of raw kapok, raw cotton (fineness 1.8 dtex) and viscose fibres (1.7 dtex). The specimen with the mass of 0.4 g was soaked for 3 hours in 150 ml of distilled water or oil in the Erlenmeyer flask fitted with ground joint. In case of raw kapok the mass of fibres had to be reduced to 0.2 g in order to be inserted into test tubes after having been soaked in oil because raw kapok fibres absorbed a very large amount of oil. After that fibres were gently squeezed and loaded with a 1 kg weight for 5 minutes. Fibres were then transmitted into glass test tubes in the quantities prescribed by the standard. Test tubes were placed into metal test tubes of centrifuge. The process of centrifuging was carried out 30 minutes at 3000 rpm. Immediately after the process of centrifuging process has stopped, fibres were weighed. By the centrifugation process the surface adsorbed liquid was eliminated and the quantity of retained liquid in the fibres was measured. The amount of the retained liq-

Lumen pomeni povprečno kar 73,1 odstotka kapokovega vlakna. Po votlosti dosega kapok zelo visoke vrednosti, saj imajo kemična vlakna za polnila ponavadi votlost pod 50 odstotki [19]. Pri povprečni gostoti kapoka  $0,348 \text{ g}/\text{cm}^3$  in votlosti 73,08 odstotka je notranji volumen kapoka (volumen lumna)  $2,1 \text{ cm}^3$  (2,1 ml) na gram vlaken. Kapok se odlikuje tudi z izjemno veliko specifično površino, ki je pomembna za površinsko adsorpcijo tekočin. Njegova zunanja specifična površina je  $0,6678 \text{ m}^2/\text{g}$  vlaken. Primerjava kapoka s sintetičnimi mikrovlakni, ki jih npr. uporabljajo za t. i. „čudežne“ čistilne krpe v gospodinjstvih, pokaže za polovico nižjo specifično površino ( $0,3291 \text{ m}^2/\text{g}$ ) pri PA 6 mikrovlaknih okroglega prečnega prereza s premerom  $10,6 \mu\text{m}$  [20].

### 3.2 Mehanizem sorpcije tekočin

V primerjavi z votlimi kemičnimi vlakni, ki imajo v notranjosti eno ali več kapilar z odprtini na obeh straneh vlaken, so kapokova vlakna na vrhu zožene, zaprte cevke (slika 2a) z ozko odprtino (slika 2b) le na mestu, kjer so bila prirasla na semena.

Pri mikroskopskem opazovanju prodiranja tekočin v lumen kapokovih vlaken smo vlakna narezali na dolžino 1–2 mm, da smo omogočili prodiranje tekočine v vlakna. Pripravili smo suhe preparate in opazovali širjenje kapljice tekočine po površju vlaken. Ob stiku suhih vlaken z vodo se je le-ta počasi širila po površju

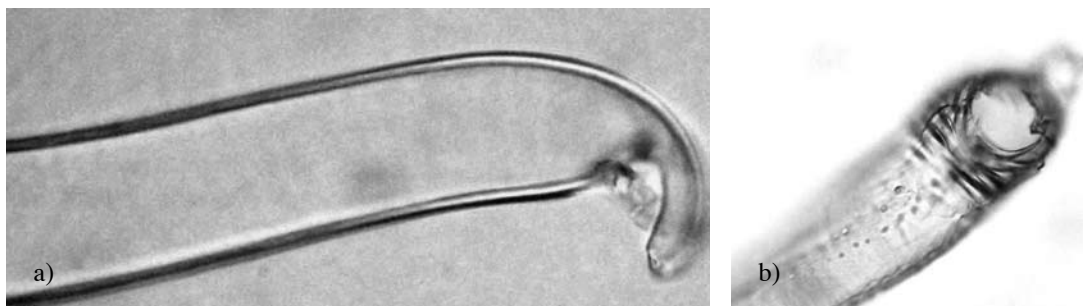


Figure 2: Thinned top end of kapok fibre (a) and its bottom end (b), which was attached to the seed, with a well visible opening. (200x magnification (Fig. a), 400x magnification (Fig. b). Scanned on Olympus optical microscope. Author: Mrs.T. Rijavec).

uid has been calculated by using Equation 16, where  $m_1$  is the mass of dry fibres,  $m_2$  the mass of fibres after centrifuging, and KZT the quantity of the retained liquid expressed in percentages.

The amount of the retained water was investigated on the fibres of raw kapok, raw cotton, and viscose fibres. In addition to distilled water, paraffin oil produced by S Pharmachem Sušnik Jože s.p. (density  $0.865 \text{ g/cm}^3$ , viscosity  $186 \text{ mPas}$  at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), and 100% cooking oil Sončni cvet produced by Gea d.d. (density  $0.950 \text{ g/cm}^3$  at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) were used.

vlaknen, ob stiku z oljem pa se je le-to zelo hitro razširilo po površju kapoka. Razlog za takšno obnašanje je oleofilno površje kapokovih vlaken, ki omogoča dobro adhezijo z olji in slabo adhezijo z vodo. To obnašanje je dobrodošlo z vidika uporabe kapoka za oljne filtre, kjer se mora olje hitro in pred vodo adsorbirati na kapokova vlakna.

Naša opazovanja surovega kapoka v optičnem mikroskopu so pokazala, da voda že takoj ob stiku s kapokovimi vlakni začne prodirati v lumen vlaken. V začetni fazi prodiranja smo opazili številne zračne mehurčke v vlaknih, ki so nastali zaradi izpodrivanja zraka iz vlaken (slika 3a). Polzaprta oblika vlaken vpliva na slabšo sposobnost navzemanja tekočin, ker zrak, ki ga pred seboj izpodriva tekočina, ki po kapilarnem mehanizmu pronica v lumen vla-

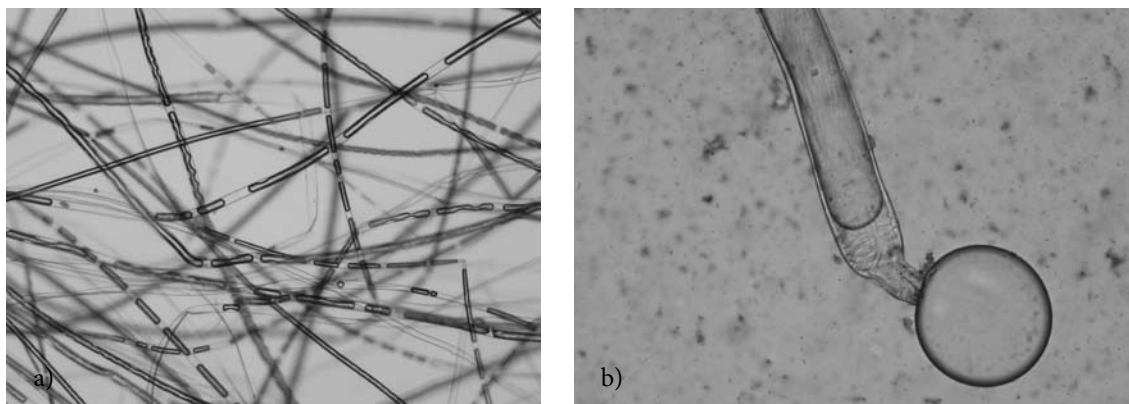


Figure 3: Scans of lengthwise appearance of kapok fibres after few minutes of soaking in water (a). Formation of air bubbles at the fibre top end of kapok fibre (b). (Scanned on Olympus optical microscope at 100x magnification (a), and at 400x magnification (b). Author: Mrs.T. Rijavec)

### 3 Results with discussion

#### 3.1 Geometrical indices of kapok

The measured geometrical indices of the kapok fibre cross-section are presented in Table 2,

ken (slika 3b), lahko izstopa iz vlakna le na poškodovanih mestih celične stene.

V nasprotju z vodo olje počasneje prodira v lumen vlaken. Zelo malo olja prodre v lumen kapoka v začetnih minutah omakanja. Na sliki 4a, posneti nekaj minut po vložitvi vlaken v olje, vidimo,



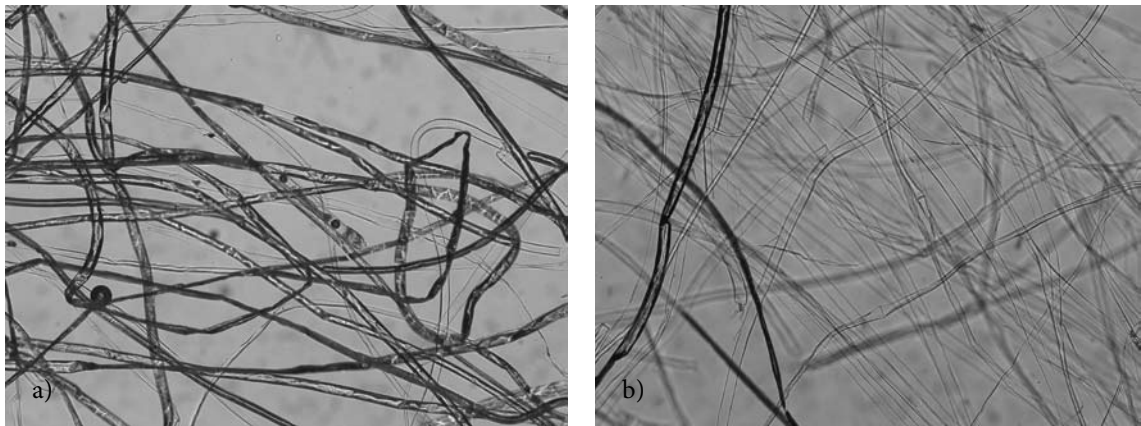


Figure 4: Scans of lengthwise appearance of kapok fibres after few minutes of soaking in paraffin oil (a) and after 48 hours of soaking in paraffin oil (b). (Scanned on Olympus optical microscope at 100x magnification. Author: Mrs. T. Rijavec.)

and the calculated geometrical indices by using Equations 1–15 are presented in Table 3.

The calculated diameter of a kapok fibre with round cross-section is 16.81  $\mu\text{m}$ . The mean measured thickness of the cell wall is 1.01  $\mu\text{m}$ , the minimum thickness is 0.70  $\mu\text{m}$ , the maximum thickness is 1.73  $\mu\text{m}$ . By considering geometrical indices kapok fibres surpass substantially hollow synthetic fibres used as stuffing materials; namely, commercially available hollow fibres with round cross-section have diameters larger than 250  $\mu\text{m}$  with the wall thickness about 13  $\mu\text{m}$  and less.

da je večina vlaken kapoka še vedno zapolnjena z zrakom (neprosojnih). Na sliki 4b, posneti po 48 urah namakanja kapoka v olju, je olje zapolnilo lumen pri skoraj vseh vlaknih kapoka, ki so zato videti prosojna.

### 3.3 Količina zadrževane tekočine

Glede na izračunano velikost lumna v kapoku 2,1  $\text{cm}^3$  na gram vlaken je kapaciteta zadrževanja tekočine v lumnu enega grama absolutno suhih vlaken 2,1 g vode, 2,0 g jedilnega olja in 1,8 g parafinskega olja, ob predpostavki da tekočina ne povzroča nabrekanja celične stene in s tem ne vpliva na velikost lumna.

Po triurnem namakanju vlaken v vodi in oljih smo s centrifugiranjem odstranili površinsko vezano tekočino. Vrednosti KZT (pre-

Table 4: Amount of retained liquid (KZT) at room temperature on raw kapok ( $KP_{\text{raw}}$ ), raw cotton ( $CO_{\text{raw}}$ ) and viscose (CV) fibres

Liquid	Statistical value	Amount of retained liquid, KZT (wt. %)		
		$KP_{\text{raw}}$	$CO_{\text{raw}}$	CV
Distilled water	$\bar{X}$ (%)	103.47	41.00	75.91
	s (%)	8.64	3.27	2.04
	CV (%)	8.35	7.98	2.69
Cooking oil	$\bar{X}$ (%)	131.57	24.27	16.16
	s (%)	5.59	2.32	2.48
	CV (%)	4.25	9.38	15.34
Paraffin oil	$\bar{X}$ (%)	107.21	29.65	23.64
	s (%)	3.10	6.63	6.97
	CV (%)	2.89	22.35	29.47

On average, the lumen represents even 73.1% of a kapok fibre. Kapok has very high values of hollowness if it is considered that the hollowness of man-made fibres used for stuffing is usually under 50% [19]. With mean density of a kapok fibre  $0.348 \text{ g/cm}^3$  and hollowness 73.08% the internal volume of a kapok fibre (volume of lumen) is  $2.1 \text{ cm}^3$  ( $2.1 \text{ ml}$ ) per 1 gram of fibres.

Kapok also boasts outstandingly high specific surface area, which is important for surface adsorption of liquids. Its external specific surface area is  $0.6678 \text{ m}^2/\text{g}$  of fibres. The comparison of kapok with synthetic microfibres, which are used for the so-called "magic" cleaning wipes for households, reveals that PA 6 microfibres having round cross-section with diameter  $10,6 \text{ }\mu\text{m}$  have by 50% lower specific surface area ( $0.3291 \text{ m}^2/\text{g}$ ) [20].

### 3.2 Liquids sorption mechanism

In comparison with hollow man-made fibres, which have in their interior one or more capillaries with openings on both sides of fibres, kapok fibres are closed tubes, thinned on the top end (Fig. 2 a) and with a narrow opening (Fig. 2b) only on the points on which they were attached to the seeds.

For the purposes of microscopic observation of liquids penetration into the kapok fibres lumen we cut fibres to the length of 1–2 mm to enable penetration of the liquid into fibres. We prepared dry specimen and observed spreading of a liquid droplet over the surface of fibres. At contact of dry fibres with water, water spread slowly over the surface of fibres, but at contact with oil, oil spread very quickly over the kapok surface. Such behaviour is the result of the kapok fibres oleophyllic surface, which imparts good adhesion with oils and poor adhesion with water to the fibres. Such behaviour is advantageous when kapok fibres are used for oil filters where oil must be absorbed by kapok fibres quickly and prior to water.

Our observations of raw kapok under optical microscope have revealed that on contact with fibres, water immediately starts to penetrate into the fibres capillaries. During the initial stage of penetration the formation of lots of air bubbles in the fibres can be noticed, which is the result of displacement of the air from fibres (Fig.

glednica 4) prikazujejo skupno količino kemično vezane tekočine v vlaknih in fizikalno zadrževane tekočine v lumnu in porah vlaknen.

Izmerjena količina zadržanega olja po centrifugiranju v surovih kapokovih vlaknih je bila največja za jedilno olje, in sicer 131,6 odstotka, kar pomeni 1,32 g jedilnega olja na gram absolutno suhih vlaken. Ta količina je majhna v primerjavi s kapaciteto rastlinskih vlaken, ki skupaj v vlaknih in na površju zadržijo več kot 30 g olja/g vlaken [14], in kapaciteto surovega kapoka, ki zadrži skupaj tudi 36–45g dizelskega olja na gram vlaken [11]. Količina v kapokovih vlaknih absorbiranega jedilnega olja pomeni le nekaj odstotkov skupne količine zadržanega olja pred centrifugiranjem.

Razlika v količini zadržanega jedilnega in parafinskega olja je poleg razlike v gostoti olj posledica njune različne površinske napečnosti.

Surovi bombaž ima od 3- do 5-krat slabšo sposobnost zadrževanja olj kot kapok. Površje surovega bombaža je prekrito z 0,4–1,0 ut. % voskov na maso suhih vlaken [21], kar omogoča površinsko adhezivnost do olja in preprečuje prodiranje vode v surova vlakna. Še manjša je bila izmerjena količina zadržanih olj v viskozni vlaknih, kjer se olje le fizikalno veže samo na strukturirani žlebičasti površini in v površinskih porah. Bolj viskozno parafinsko olje se je zadržalo na bombažu in viskozni vlaknih v večji količini kot manj viskozno jedilno olje.

Kapok je izrazito ligninocelulozno vakno s porazdeljenim hidrofobnim ligninom tudi v notranjosti celične stene vlaken. Skupaj z voskastim hidrofobnim površjem notranja struktura kapoka oviira prodiranje vode skozi celično steno. Na podlagi mikroskopskih opazovanj smo ugotovili, da voda hitro prodira v lumen kapoka skozi odprtine v vlaknih. Izmerjena količina  $1,03 \text{ g}$  vode/g suhih vlaken je manjša od kapacitete lumna v kapokovih vlaknih.

Surovi bombaž v vodi nabreka, pore in lumen se mu zapolnijo z vodo. Izmerjena količina zadržane vode v surovem bombažu je bila  $0,41 \text{ g}$  vode/gram suhih vlaken, kar je zelo blizu količine z vodo nasičenih bombažnih vlaken, ki znaša od  $0,43$  do  $0,52 \text{ g}$  vode na gram suhih vlaken [21].

Izmerjena količina zadržane vode v viskozni vlaknih je bila večja kot v bombažu. Viskozna vlakna so zelo vodovpojna zaradi nizke kristaliničnosti in orientacije ter porozne strukture.

## 4 Sklepi

Po finoči vlaken lahko kapok opredelimo kot naravno mikrovlakno. Zunanji premer proučevanih vlaken kapoka je bil povprečno  $16 \text{ }\mu\text{m}$ . Povprečna izmerjena debelina celične stene je bila  $1,0 \text{ }\mu\text{m}$ . Lumen je pomenil kar 73 odstotkov vlakna.

Izjemno velika specifična površina kapokovih vlaken  $0,6678 \text{ m}^2/\text{g}$  in njena oleofilna narava sta glavna vzroka velike sposobnosti surovega kapoka za površinsko adsorpcijo olj.

3a). The semi-closed shape of fibres degrade their liquid absorption capacity, because the air which is displaced by the liquid penetrating into the fibre lumen by capillarity (Fig. 3b) can leave the fibre only through the points of mechanical damage in a cell wall.

Oil penetrates into the fibres lumen at a slower rate than water. Very small amount of oil penetrates into the kapok fibres capillaries in the first minutes of wetting. It is also evident in Figure 4a where most kapok fibres are still filled with air (opaque). In Figure 4b, taken after 48 hours of soaking in oil, it is seen that oil has filled almost all capillaries so that the fibres look transparent.

### 3.3 Amount of retained liquid

Based on the calculated size of the kapok lumen, i.e.  $2.1 \text{ cm}^3$  per 1 gram of fibres, the capacity of liquid retention in the lumen of 1 gram of absolutely dry fibres is 2.1 g of water, 2.0 g of cooking oil and 1.8 g of paraffin oil by assuming that liquid does not induce swelling of a cell wall and has therefore no impact on the size of lumen.

After soaking fibres in water and oils for 3 hours, we removed the surface bound liquid by centrifuging. KZT values (Table 4) show total amount of chemically bound liquid in the fibres and physically retained liquid in the fibres lumen and pores.

The measured amount of retained oil in raw kapok fibres after centrifuging was the highest for cooking oil, i.e. 131.6%, which means 1.32 g of cooking oil per 1 gram of absolutely dry fibres. This amount is low if compared with vegetable fibres which are capable of retaining more than 30 g of oil per 1 gram of fibres inside fibres and on the surface altogether [14] as well as if compared with raw kapok, which is capable of retaining a total amount of even 36–45 g of Diesel oil per 1 gram of fibres [11]. The amount of cooking oil absorbed in kapok fibres represents only few percents of the total amount of retained oil prior to centrifugation.

The differences in the amount of retained cooking and paraffin oils are attributed to different surface tensions as well as different densities of both oils.

Raw cotton has 3–5 times lower oil retention capacity than kapok. Since raw cotton is covered with 0.4–1.0% by weight of waxes per dry

Absorbirane tekočine, ki ostanejo po centrifugiranju kapoka, se zadržujejo kemično vezane v amorfnih predelih celične stene in fizikalno vezane v porah in lumnu vlaken.

Po količini zadrževane vode kapok presega rastlinska in regenerirana celulozna vlakna. Kljub hidrofobnemu površju in slabi omoljivosti je kapok po treh urah namakanja v vodi zadržal po centrifugiranju kar 104 odstotke vode glede na maso suhih vlaken. Pretežno se je voda zadržala v lumnu vlaken.

Surovi kapok je izrazito oleofilno vlakno. Olja veže predvsem s površinsko adsorpcijo in v lumnu vlaken, kamor lahko prodre skozi odprtine na koncu vlakna ali na mestih mehanskih poškodb. Surovi kapok je po namakanju in centrifugiranju zadržal 132 ut. % jedilnega olja in 107 ut. % parafinskega olja, medtem ko je surovi bombaž zadržal le 24 ut. % jedilnega oz. 29,7 ut. % parafinskega olja, viskozna vlakna pa le 16 ut. % jedilnega in 24 % parafinskega olja pri sobni temperaturi.

Količina zadržanega olja, ki ostane v kapoku po centrifugiranju, je zelo majhna (1,07–1,32 g/g vlaken) in pomeni le nekaj odstotkov od celotne količine olja na vlaknih pred centrifugiranjem, ki je več kot 30 g olja na gram suhih vlaken. Centrifugiranje kapokovih filtrov omogoča visok odstotek regeneriranja olj in ponovno uporabnost filtrov.

## 5 Literatura

1. JAFFE, M. in EAST J.A. Polyester fibers. V: *Handbook of Fiber Chemistry. Third Edition*. Edited by Menachem Lewin. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007, p. 24.
2. PETRULIS, D. Theoretical investigation of hollow fibres structure: relations between fibre inner diameter, wall thickness, and conventional indices. *Material Science (Medžiagotyra)*, vol. 9, 2003, no. 4, p. 423–427.
3. PETRULIS, D. Fundamental study of the effect of the fiber wall thickness and inner diameter on the structure of polyamide and polypropylene hollow fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 92, 2004, p. 2017–2022.
4. GUPTA, D.K. The mechanics of tubular fiber: theoretical analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 28, 1983, p. 3573–3584.
5. BEYREUTHER, R. in HOFMANN, H. Melt spinning of hollow fibers. *Chemical Fibers International*, vol. 47, 1997, p. 54–58.
6. KOTEK, R. Regenerated cellulose fibers. V: *Handbook of fiber chemistry. Third edition*. Uredil M. Lewin. Boca Raton, London, New York: CRC, Taylor & Francis. 2007, p. 709.
7. *Identification of textile materials. Seventh edition*. Manchester: The Textile Institute, 1975, p. 74, 77 in 78.
8. FENGEL, D. in WENZKOWSKI, M. Studies on kapok. 1. Elec-

fibres mass [21], its surface is adhesive for oils and impermeable for water. Even lower was the measured amount of retained oils in viscose fibres where oil was only physically bound to the structured grooved surface and in superficial pores. More viscous paraffin oil was retained on cotton and viscose fibres in a higher amount than less viscous cooking oil.

Kapok is a distinctively ligninocellulose fibre with hydrophobic lignin distributed also in the interior of a fibre cell wall. The kapok inner structure together with a waxy hydrophobic surface impedes the penetration of water through a cell wall. Based on microscopic observations we have found that water penetrates quickly into the kapok lumen through the openings in fibres. The measured amount of 1.03 g of water per 1 gram of dry fibres is lower than the capacity of the kapok fibres lumen.

Raw cotton swells in water, its pores and lumen get filled with water. The measured amount of retained water in raw cotton was 0.41 g of water per 1 gram of dry fibres, which is very close to that of water saturated cotton fibres, which is between 0.43 and 0.52 g of water per 1 gram of dry fibres [21].

The measured amount of retained water in viscose fibres was higher than that in cotton fibres. Viscose fibres are highly water absorbent due to low crystallinity and orientation as well as porous structure.

#### 4 Conclusions

If fineness of fibres is considered, kapok can be defined as a natural microfibre. The external diameter of the investigated kapok fibres was about 16  $\mu\text{m}$  and the cell wall thickness was only about 1.0  $\mu\text{m}$ . Lumen represents even 73% of fibre.

Extraordinary large specific surface area of kapok fibres, i.e. 0.6678  $\text{m}^2/\text{g}$ , and its oleophilic nature are the main reasons or high capacity of raw kapok for oil surface adsorption.

Absorbed liquids, which remain in kapok fibres after centrifuging, are retained chemically bound in amorphous zones of a cell wall and physically bound in the fibres pores and lumen. In the amount of retained water kapok outperforms vegetable and regenerated cellulose fi-

tron microscopic observations. *Holzforschung*, vol. 40, 1986, p. 137–141.

9. HORI, K. et al. Excellent oil absorbent kapok (Ceiba petandra L.) fiber: fiber structure, chemical characteristics, and application. *Journal of Wood Science*, vol. 46, 2000, p. 401–404.
10. HUANG, X. in LIM, TT. Performance and mechanism of hydrophobic-oleophilic kapok filter for oil/water separation. *Desalination*, vol. 190, 2006, p. 295–307.
11. LIM, TT. in HUANG, X. Evaluation of kapok (Ceiba pentandra (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere*, vol. 66, 2007, p. 955–963.
12. MEIWU, S., HONG, X. in WEIDONG, Y. The fine structure of the kapok fiber. *Tex. Res. J.*, 04. sept. 2009. [Dostopno na svetovnem spletu.] <http://trj.sagepub.com/cgi/rapidpdf/0040517508095594v1.pdf> [10.11.2009]
13. FENGEL, D. in PRZYKLENK, M. Studies on kapok. 2. Chemical Investigation. *Holzforschung*, vol. 40, 1986, p. 325–330.
14. CHOI, HM. in MOREAU, JP. Oil sorption behavior of various sorbents studied by sorption capacity measurement and environmental scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique*, vol. 25 (2005) no. 5-6, p. 447–455.
15. Računalniški program SEM Control User Interface Version 6.55 JEOL Technics Ltd.
16. Obseg. Dostopno na svetovnem spletu: <http://si.wikipedia.org/wiki/Obseg> (23.07.2009)
17. MWAIKAMBO, LY. in ANSELL, MP. The determination of porosity and cellulose content of plant fibers by density methods. *Journal of Material Science Letters*, vol. 20, 2001, p. 2095–2096.
18. DIN 53 814 – 1974: Prüfung von Textilien; Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens von Fasern und Fadenabschnitten.
19. MURASE, Y. et al. Improved polyester fibres. *GB patent 1369851(A)*, 09. 10. 1974.
20. RIJAVEC, T. *Laboratorijsko oblikovanje in analiza poliamidnih 6 mikrofilamentnih prej. Disertacija*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za tekstilno tehnologijo, 1995, str. 85.
21. WAKELYN PJ. Et al. Cotton fibers. V: *Handbook of fiber chemistry. Third edition*. Uredil M. Lewin. Boca Raton, London, New York: CRC, Taylor & Francis. 2007, p. 587.

bres. Despite hydrophobic surface and inferior wettability, kapok retained even 104% of water with regard to the mass of dry fibres after having been soaked in water for 3 hours and centrifuged. Water was mostly retained in the lumen. Raw kapok is distinctively oleophilic fibre. It binds oils particularly by surface adsorption and in the lumen into which it can penetrate through the openings at the end of fibres or at the points of mechanical damage. Raw kapok retained 132% by weight of cooking oil and 107% by weight of paraffin oil after soaking and centrifuging, raw cotton retained only 24% by weight of cooking oil and 29.7% by weight of paraffin oil, and viscose fibres even less, i.e. 16 % by weight of cooking oil and 24% of paraffin oil at room temperature.

The amount of retained oil, which remains in kapok after centrifuging, is very low (1.07–1.32 g of oil per 1 g of fibres) and represents only few percents of the total amount of oils on fibres prior to centrifugation, which is higher than 30 g of oil per 1 g of dry fibres. Centrifugation of kapok fibres creates the opportunity for a high percentage of oils regeneration and for reuse of filters.

## Textile Wastewater Cleaning with $O_3$ and $H_2O_2/O_3$ Process

Scientific Review

Received April 2009 • Accepted June 2009

### Abstract

The paper describes the ozonation ( $O_3$ ) and  $H_2O_2/O_3$  process as two efficient methods for cleaning textile effluents. The composition and characteristics of differently coloured dyebath effluents and wastewaters, as well as conventional processes and their disadvantages are stated. The presentation of the ozonation and  $H_2O_2/O_3$  process reactions and a review of applications for textile dyebath effluents loaded with different dye types of various chromophore groups are given precisely.

Furthermore, the paper states the ozonation and  $H_2O_2/O_3$  process efficiency for the removal of various dye types at different experimental conditions. The literature review shows that the ozonation and  $H_2O_2/O_3$  process are mainly used for reactive, acid and direct dyes treatment. Less information is available on basic, disperse and metal-complex dyes.

**Keywords:** textile coloured wastewater, dyes, cleaning efficiency, ozonation, ozone,  $H_2O_2/O_3$

---

Vodilni avtor/corresponding author:  
 dr. Aleksandra Lobnik  
 tel.: +386 2 220 79 12  
 e-mail: aleksandra.lobnik@uni-mb.si

---

Maja Bauman<sup>1,2</sup>, Mojca Poberžnik<sup>3</sup>, Aleksandra Lobnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> EM. TRONIC, d.o.o

<sup>2</sup> Center za senzorsko tehniko, Fakulteta za strojništvo,  
 Univerza v Mariboru

<sup>3</sup> IOS, Inštitut za okoljevarstvo in senzorje d.o.o.

## Čiščenje tekstilnih odpadnih voda s postopkoma $O_3$ in $H_2O_2/O_3$

**Pregledni znanstveni članek**

Poslano oktober 2009 • Sprejeto november 2009

### Izvleček

V članku sta predstavljena postopka ozoniranja ( $O_3$ ) in  $H_2O_2/O_3$ , kot dva izmed učinkovitejših postopkov za čiščenje tekstilnih voda. Podane so različne sestave in lastnosti barvalnih kopeli in odplak, predstavljeni so konvencionalni postopki čiščenja ter njihove slabosti. Poglobljeno sta prikazana in razložena postopka ozoniranja in  $H_2O_2/O_3$  ter pregled literature, ki se nanaša na ozoniranje in  $H_2O_2/O_3$  postopek čiščenja tekstilnih barvalnih kopeli, ki vsebujejo barvila z različnimi kromofornimi skupinami.

V nadaljevanju članka je podana učinkovitost postopka ozoniranja in  $H_2O_2/O_3$  pri različnih eksperimentalnih pogojih za razbarvanje in zniževanje ekoloških parametrov. Iz pregleda literature je razvidno, da se postopka ozoniranje in  $H_2O_2/O_3$  veliko uporabljata za odstranjevanje reaktivnih, kislih in direktnih barvil. Manj podatkov je o bazičnih, disperznih in kovinsko-kompleksnih barvilih.

**Ključne besede:** tekstilne obarvane vode, barvila, učinkovitost čiščenja, ozoniranje,  $H_2O_2/O_3$

### 1 Uvod

Tekstilna industrija je med največjimi porabniki sveže vode, barvil, pomožnih sredstev in kemikalij [1]. Največ odpadnih voda nastaja pri procesih mokrega plemenitenja, posebno pri procesih barvanja [2]. Poraba sveže vode v plemenitilnicah tekstilij se je z optimizacijo tehnoloških procesov sicer zmanjšala s 120–280 L/kg pod 100 L/kg tkanine [3, 4], še vedno pa ostanki že majhnih količin barvil v odpadnih vodah povzročijo vidno obarvanje [5].

## 1 Introduction

*The textile industry is one of the largest consumers of fresh water, dyes, auxiliaries and chemicals [1]. The largest amount of wastewater is produced in wet treatments, esp. in the dyeing processes [2]. With the technological process optimization in the textile treatment, the use of fresh water has reduced from 120–280 L/kg under 100 L/kg of fabric [3, 4], despite small amounts of dye still remaining in the wastewater, causing visible colouration [5]. The dyed wastewater is from an aesthetic and ecological viewpoint unacceptable, as it prevents the light penetration into the water environment and can contain toxic organic and inorganic components [6]. In order to protect the environment from hazardous pollution, the wastewater needs to be treated properly before the disposal into the environment [3]. Conventional treatment processes, e.g. sedimentation, flotation, and filtration (i.e. primary treatment), only remove the suspended substances, e.g. oils and fats [4]. A further biological cleaning (i.e. secondary treatment) is used to remove the dissolved or colloidal organic substances. Depending on the effluent source, there is also the possibility of a tertiary treatment for the removal of colouration, surfactants and/or to decrease the salt content [7]. The mentioned treatments often do not sufficiently remove the dyes from wastewater [5], which is visible as excess colouration [8]. Technological developments and consumer demands have brought about the development of new substances and additives into dye effluents, which are degradable with more difficulty (e.g. those resistant to microbiological degradation). Carefully selected wastewater treatment processes and appropriate management are of crucial importance for the adherence of demands imposed by the existing legislation for the protection of underground and surface waters. Recently, the trend has been to lower the limit values for the treated wastewaters discharged into the sewage system and directly into natural waters [9, 10]. The existing conventional processes that assure colour reduction are not economical, nor are they always efficient [11]. Among the priorities of the textile industry, there are sustained efforts to develop ecologically more suitable treatment processes [12].*

Obarvane odplake so z estetskega in ekološkega vidika nesprejemljive, ker preprečujejo prodiranje svetlobe v vodno okolje in lahko vsebujejo toksične organske in anorganske komponente [6]. Da bi obvarovali okolje pred tveganim onesnaženjem, je treba odpadne vode obdelati še pred izpustom v okolje [3]. S konvencionalnimi postopki čiščenja, kot so sedimentacija, flotacija in filtracija, se odstranijo le suspendirane snovi, olja in maščobe (primarna obdelava) [4]. Sledi biološko čiščenje (sekundarna obdelava) za odstranjevanje raztopljenih ali koloidnih organskih snovi, glede na izvor odplake pa je mogoča še terciarna obdelava za odstranitev obarvanosti, detergentov in/ali zmanjšanje vsebnosti soli [7]. Omenjeni postopki čiščenja pogosto iz odpadne vode ne odstranijo barvil v zadostni meri [5], kar se odraža kot čezmerna obarvanost [8]. Tehnološki napredek in zahteve potrošnikov so pripeljali do razvoja novih, težje razgradljivih barvil in dodatkov v barvalnih odplakah (npr. takih, ki so odporne na mikrobiološko razgradnjo). Ustrezno izbrani in pravilno vodeni postopki sanacije odpadnih voda so izjemnega pomena za izpolnjevanje zahtev obstoječe zakonodaje za varstvo podtalnih in površinskih voda, katerih trend so strožje mejne vrednosti za odvajanje obremenjenih voda v kanalizacijo in neposredno v vode [9, 10]. Obstoječi konvencionalni postopki za zagotovitev zmanjšanja obarvanosti niso ekonomsko ugodni, tudi ne vedno učinkoviti [11], zato je pospešeno iskanje ekološko primernejših postopkov obdelave obarvanih odplak med prednostnimi nalogami tekstilne industrije [12].

Reverzna osmoza, ultrafiltracija ali katerakoli membranska tehnologija v kombinaciji z adsorpcijo na aktivno oglje so učinkovite tehnologije [11, 13–18]. Zaradi visokih obratovalnih stroškov in stroškov, ki jih povzročajo njihovi odpadki, so še vedno zelo aktualne in zanimive kemijske oksidacije, predvsem pa napredni oksidacijski postopki (AOP), pri katerih ne nastajajo trdni odpadki ali odpadno blato [3, 7, 19]. Med AOP-postopke (angl. za napredni oksidacijski postopki) prištevamo vse postopke, ki uporabljajo  $H_2O_2$ , katerega aktivirajo s pomočjo različnih katalizatorjev ( $Fe^{3+}$  soli, UV,  $O_3$  ...) [20]. Barvila in druga onesnaževala v odpadni vodi razgrajujejo, vendar jih redko popolnoma mineralizirajo v ogljikov dioksid in vodo [7, 21]. V obstoječi literaturi [3, 7, 10, 11, 22–24] je kot učinkovita alternativa za razbarvanje in zagotavljanje biološke razgradnje tekstilnih odplak pogosto naveden proces  $O_3$  in  $H_2O_2/O_3$ . Postopka  $O_3$  in  $H_2O_2/O_3$  zagotavljata hitro razgradnjo različnih organskih snovi v vodnih sistemih, ne puščata trdnih odpadkov [2], za 95-odstotno razbarvanje pa porabita 265–520-krat manj energije in kemikalij kot postopek UV/ $H_2O_2$  [11, 23]. Postopek ozoniranja učinkovito razbarva tudi močno obarvane odpadne vode iz industrije [1, 25], ki so obremenjene z različnimi tipi barvil (kislá, reaktivna, direktna, kovinsko-kompleksna, disperzna ...). Čep rav je ozon sam po sebi toksična substanca, s sodobno tehnološko izvedbo procesa preprečimo nekontroliran izpust le-tega v ozračje, medtem ko je ozon v vodnem mediju nestabilen in se po 20 minutah razgradi.

The reverse osmosis, ultra filtration or any other membrane technology in combination with the absorption to active carbon are all efficient technologies [11, 13–18]. Due to the high operational costs and costs caused by effluents, the chemical oxidation processes are still worth considering, esp. the so-called advanced oxidation processes (AOPs), which do not produce solid waste or sewage sludge [3, 7, 19]. AOPs comprise all the processes that use  $H_2O_2$ , where  $H_2O_2$  is activated with various catalysts (e.g.  $Fe^{3+}$  salts, UV,  $O_3$  etc) [20]. They dissolve dyes and other pollutants in wastewater; however, they rarely completely mineralise them into carbon dioxide and water [7, 21]. The  $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$  process as listed in the existing literature [3, 7, 10, 11, 22–24] present another efficient alternative to decolourization and biological degradation improvement of textile wastewaters. Both  $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$  processes ensure a fast degradation of various organic substances in the water systems. No solid waste is produced [2] and 265–520 times less energy and chemicals are required for a 95% decolourization than with the UV/ $H_2O_2$  process [11, 23]. The process efficiently decolourizes even the intensively coloured dyebath effluents from the textile industry [1, 25], which contain various dye classes (e.g. acid, reactive, direct, metal-complex, disperse etc). Despite ozone being toxic by itself, the uncontrolled exhaust into the atmosphere can be prevented by applying modern technological process performance. Since the ozone is unstable in water, it decomposes within 20 minutes.

## 2 Composition and characteristics of dyebath wastewaters

The effluents from the finishing processes contain diverse impurities, which differently load the waters. These can be divided from less threatening dyes (i.e. acid, reactive, direct, basic, disperse dyes), which influence the water appearance only visually, to the more dangerous substances, e.g. toxic heavy metals. Wastewaters from dyehouses, printing works and dying kitchens contain over 90% of all dye residue. As a consequence of inexhaustible dyebaths, the wastewater from printing pastes, from cleaning the dying and printing machines, tools and

## 2 Sestava in lastnosti odpadnih barvalnih voda

Izpusti plemenitilnic vsebujejo raznovrstne nečistoče, ki v različni meri obremenjujejo vode. Razvrstijo se lahko od manj nevarnih barvil, ki motijo samo estetski videz voda (kisla, reaktivna, direktna, bazična, disperzna barvila), do bolj nevarnih snovi, ki spadajo med toksične snovi (težke kovine). Odpadne vode, ki izvirajo iz barvarn, tiskarn in pripadajočih barvnih kuhinj, vsebujejo več kot 90 odstotkov vseh ostankov barvil. To je posledica neizčrpanih barvalnih kopeli in tiskarskih barvnih gošč, ki se ne vračajo v barvno kuhinjo, voda od čiščenja barvarskih in tiskarskih strojev, orodij in embalaže [4], pralnih in izpiralnih kopeli [26]. Njihova sestava je zelo kompleksna in se ves čas spreminja [27]. Razlikujejo se po obarvanosti, količini in vsebnosti razgradnih produktov [28]. V odpadnih vodah po barvanju ostaja velika količina soli, natrijevega klorida, sulfata in sulfida, strupena tekstilna pomožna sredstva, reducenti in oksidanti, fosfati in druge kompleksne snovi, težko razgradljivi dispergatorji in tenzidi, nevezana barvila in iz njih izhajajoči ioni težkih kovin. Predvsem kovine, kot npr. krom, baker, nikelj itd., halogenirani ogljikovodiki, prosti klor, strupena tekstilna pomožna sredstva itd., ovirajo sam proces čiščenja voda [4]. Omenjene nečistoče vplivajo tudi na spremembo vonja odpadnih kopeli [2].

Za vrednotenje obremenjenosti barvalnih odpadkov z organskimi in anorganskimi snovmi se v praksi najpogosteje uporabljajo ekološki parametri, kot so obarvanost, KPK – kemijska potreba po kisiku,  $BPK_5$  – biokemijska potreba po kisiku, TOC – skupni organski ogljik, AOX – adsorbiljni organski halogeni in  $LD_{50}$  – letalna doza. Merilo obremenjenosti odpadnih voda z barvili predvsem nakazuje obarvanost oz. spektralni absorpcijski koeficient (SAK), medtem ko se za barvila z vsebnostjo kovinskih ionov uporablja vrednost  $LD_{50}$ , ki je merilo strupenosti barvil. Barvila pripomorejo k onesnaženosti voda tudi s sestavinami, ki jih izdelovalci dodajo barvilom pri sintezah. O njih imamo le splošne informacije, saj njihova kemijska sestava praviloma ni navedena. To so snovi, ki se uporabljajo kot tenzidi, dispergirna sredstva, soli, polnila in gostila, sredstva proti prašenju, penjenju, zmrzovanju itd. Navedene kemikalije obremenjujejo odpadne vode in povečujejo vrednosti ekoloških parametrov KPK,  $BPK_5$ , TOC, AOX in  $LD_{50}$  veliko bolj kot sama barvila ter s tem omejujejo nadaljnje čiščenje odpadnih voda [4]. Manj obremenilna so tekoča barvila ali barvila v obliki testa ter visoko koncentrirana, npr. 200-odstotna barvila.

Odpadne barvalne kopeli so obremenjene z različnimi začetnimi koncentracijami barvil (od 10 do 70 g/L) [1], s spreminjajočo se KPK-vrednostjo in nihajočo vsebnostjo suspendiranih snovi, odvisno od vrste in tipa barvil. Glede na vrednost KPK, obarvanost in intenziteto motnosti se obarvane vode lahko razdelijo v tri skupine [29]:

- manj obarvane vode s KPK, nižjim od 800 mg  $O_2/l$ ,
- srednje obarvane vode s KPK med 800 in 1600 mg  $O_2/l$  ali
- močno obarvane vode s KPK nad 1600 mg  $O_2/l$ .



packaging [4], from washing, cleaning and rinsing baths do not return to the dyeing kitchen [26]. Their composition is very complex and changes constantly [27]. They differ in colour, amount and content of the degradation products [28]. After the dyeing process, such wastewaters also contain a large amount of salt, sodium chloride, sulphate and sulphide, toxic carriers and retarders, reduction and oxidation agents, phosphates and other complex substances, not readily degradable dispersion agents and surfactants, unfixed dyes and heavy metal ions deriving from the latter. In particular heavy metals, e.g. chrome, copper, nickel etc, halogenated hydrocarbons, total residual chlorine, carriers etc, hinder the wastewater treatment processes [4]. These pollutants also influence the odour change of dyebath wastewaters [2]. For the pollution evaluation of loaded dyebath wastewaters with organic and inorganic substances, the ecological parameters, e.g. colouration, COD – chemical oxygen demand,  $BOD_5$  – biological oxygen demand, TOC – total organic carbon, AOX – adsorbable organic halogens and  $LD_{50}$  – lethal dose, are commonly used in practice. The colouration or the so-called spectral absorption coefficient (SAC) is a primarily visible indication standard for the pollution load, while the toxicity of dyes with metal ions substance is described with the  $LD_{50}$  value. Dyes also contribute to the wastewater pollution with ingredients added by manufacturers during the dye synthesis. While only general information on such substances is available, their chemical composition is rarely listed. These substances are used as surfactants, dispersion agents, salts and thickening agents, anti-dusting, anti-foaming, anti-freezing substances etc. The chemicals pollute wastewater and increase the values of ecological parameters such as COD,  $BOD_5$ , TOC, AOX in  $LD_{50}$  far more than dyes. Therefore, the wastewater treatment processes are limited [4]. Minor load is caused by liquid dyes or dyes in a paste form as well as by highly concentrated dyes (e.g. 200% dyes).

Dyebath wastewaters are polluted with different initial dye concentrations (from 10–70 g/L) [1]. The COD values and content of suspended substances are changing; however, they depend on the class and dye type. According to the

Stopnja vezanja barvil na vlakna se giblje med 40 in 90 odstotki, kar je odvisno od tehnološkega postopka in vrste uporabljenih barvil [1]. Prebitke uporabljenih barvil lahko tudi v podobnih količinah, kot je stopnja fiksiranja, ostaja v odpadnih barvalnih vodah [13]. V preglednici 1 je prikazana stopnja vezave med barvilom in vlaknom ter delež nevezanega barvila v odpadni barvalni kopeli.

Table 1: Degree of fixation between dye and fibre, and degree of unbound dye in coloured wastewater [41, 42]

Dye class	Fibre	Degree of fixation (%)	Degree of unbound dye (%)
Acid	Polyamide	80–95	5–20
Basic	Polyacrylnitril	95–100	0–5
Direct	Cellulose	70–95	5–30
Disperse	Polyester	90–100	0–10
Metal - complex	Wool	90–98	2–10
Reactive	Cellulose	50–90	10–50
Sulphuric	Cellulose	60–90	10–40
Vat	Cellulose	80–95	5–20

Uporaba različnih vrst barvil in kemikalij pri barvanju je vzrok za znatne variacije ekoloških parametrov tekstilnih odpadnih voda. Primer lastnosti tekstilne odpadne vode prikazuje preglednica 2.

Table 2: Properties of textile industry wastewater [30, 48]

Parameters	Values
pH value	7.0–9.0
BOD – Biological Oxygen Demand (mg $O_2$ /l)	80–6,000
COD – Chemical Oxygen Demand (mg $O_2$ /l)	150–12,000
Total Suspended Solids (mg/l)	15–8,000
Total Dissolved Solids (mg/l)	2,900–3,100
Chloride content (mg Cl/l)	1,000–1,600
Total Kjeldahl Nitrogen (mg N/l)	70–80
Colour (Pt-Co)	50–2,500

COD value, colour and turbidity intensity, dye-bath wastewaters can be subdivided into three groups [29]:

- lightly coloured dyebath wastewaters with COD lower than 800 mg  $O_2/l$ ,
- medium coloured dyebath wastewaters with COD between 800–1600 mg  $O_2/l$ , or
- intensively coloured dyebath wastewaters with COD above 1600 mg  $O_2/l$ .

The degree of dye fixation to a fibre is from 40–90%, and depends on the technological process and dye types used [1]. The excess of the used dyes can remain in the dyebath wastewaters in similar amounts as the fixation degree [13]. Table 1 displays the fixation degree between the dye and the fibre, and the percentage of non-fixed dye in the dyebath wastewaters.

The use of various dye types and chemicals in the dyeing process causes considerable variations in the ecological parameters of textile wastewaters. For example, the composite textile industry wastewater characteristics and the variations of ecological parameters are shown in Table 2.

On average, coloured textile wastewaters from a typical industrial dye factory represent the pollution potential for approx. 7,000 persons according to the amount (i.e. hydraulic water exhaust) or approx. 20,000 persons according to the organic load [27, 28]. The  $BOD_5$  concentration of such waters is mostly low, whereas COD can significantly exceed 10,000 mg  $O_2/l$  [29].

In Slovenia, the discharge of similarly polluted waters from the textile industry is regulated with the "Decree on the emission of substances in the discharge of waste water from plants and facilities for the production, processing and working of textile fibres", published in the Official Gazette of the Republic of Slovenia, No. 7/2007 [30].

## 2.1 Dyes in textile dyebaths and wastewaters

Commercial dyes are a mixture of coloured pigments and additives, which differ in their chemical structures, chromogen and purpose of use [30, 32]. According to the applicable characteristics and chemical composition, dyes are divided into direct, acid, basic, reactive, disperse, reduction, sulphuric, metal-complex, pigments

V povprečju obarvane tekstilne odpadne vode iz tipične industrijske barvarne pomenijo potencial onesnaževanja okrog 7000 oseb glede na količino (hidravlični izpusti vode) ali okrog 20.000 oseb glede na organsko obremenitev [27, 28]. Koncentracija BPK<sub>5</sub> takšnih voda je večinoma nizka, KPK pa lahko krepko presega 10.000 mg  $O_2/l$  [29].

V Republiki Sloveniji je odvajanje podobno onesnaženih voda iz tekstilne industrije urejeno z „Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken (Ur.l. RS, št. 7/2007)“ [30].

### 2.1 Barvila v tekstilnih barvalnih kopelih in odpadnih vodah

Tržna barvila so mešanice barvnih pigmentov in aditivov, ki se razlikujejo po kemijski strukturi, kromogenu in namenu uporabe [30, 32]. Glede na uporabne lastnosti in kemijsko zgradbo so barvila razvrščena na: direktna, kislá, bazična, reaktivna, disperzna, redukcijska, žveplena, kovinsko-kompleksna, pigmentna,... [3, 25]. V različnih vrstah barvil se nahajajo ioni različnih kovin. V redukcijskih barvilih so bakrovi in kromovi ioni, v kisljih in reaktivnih barvilih bakrovi in svinčevi ioni, prav tako so svinčevi ioni v direktnih in disperzih barvilih; v bazičnih barvilih pa cinkovi ioni. Odpadne vode iz barvarn ponavadi vsebujejo manj kot 1 mg/l kovinskih ionov. Kovin, ki so dejansko strupene (npr. arzen, živo srebro, kadmij, ...), je v barvilih manj kot 1 mg/l, v vodah pa zanemarljivo majhna količina, zato niso dejavnik tveganja za okolje [4]. Povprečna svetovna proizvodnja znaša  $7 \times 10^5$  ton/leto 100.000 različnih komercialno uporabnih barvil [32, 34]. Dobra polovica (60–70 %) se jih porabi v tekstilni in oblačilni industriji za barvanje okrog 30 mio ton tekstilij [1, 2, 24, 33–35]. Nahajajo se v barvnih raztopinah, črnilih, barvah, lakih, papirju, plastiki, gumi, hrani, zdravilih in kozmetiki [23] ter naravnih in sintetičnih aplikacijah [28].

Največji ekološki problem sta v tekstilni industriji preprosta proizvodnja in široka uporaba različnih azo barvil [13, 28]. Barvila imajo visoko termično obstojnost in fotostabilnost [36], se akumulirajo v vodi in se težko razbarvajo [34]. Topna azo barvila lahko preidejo v telo živih organizmov in se razgradijo v toksične aromatske amine [37]. Na primer visoke koncentracije temnih antrakinonskih barvil z zapleteno strukturo aromatskih obročev in s kelatno vezanimi kovinami, kot so krom, kobalt, baker, železo in nikelj, otežujejo odstranjevanje obarvanosti [34, 38]. Poleg svetlih tonov kisljih barvil so za razbarvanje problematična tudi vodotopna reaktivna barvila [1, 34]. Določena hidrolizirana reaktivna barvila (npr. monoklorotriazini) imajo nizke vrednosti koeficientov biološke razgradljivosti BPK<sub>5</sub>/KPK (ponavadi manj kot 0,1) [39], kar je ob nizki stopnji fiksiranja na vlakna (80–85 %) največkrat vzrok težjega razbarvanja neizčrpanih kopeli [4]. Počasna razgradnja pri operativnih pogojih [40], težko razbarvanje [34] in akumulacija v vodi [33] je posledica kemijske sestave, katalitične in mikrobiolo-

etc. [3, 25]. Various metal ions can be found in different dye classes. Copper and chrome ions are present in reduction and acid dyes. In reactive dyes, copper and lead ions occur, while direct and disperse dyes mostly contain lead ions, and basic dyes zinc ions. Metals that are in fact toxic (e.g. arsenic, quicksilver, cadmium etc.) are present in dyes in the concentration under 1 mg/l and in waters in negligible amounts. Therefore, they are not hazardous to the environment. Wastewaters from dyehouses normally contain less than 1 mg/l of metal ions [4]. The average world production amounts to  $7 \times 10^6$  tons per year of 100,000 various commercially used dyes [32, 34]. A good half (60-70%) is used in the textile and clothing industry for dyeing, i.e. for approx. 30 m tons of textile [1, 2, 24, 33-35]. Dyes are present in dyeing solutions, inks, paints, varnishes, paper, plastic, rubber, food, drugs and cosmetics [23], as well as in natural and synthetic applications [28].

The main ecological problem of the textile industry is the simple production and a wide use of various azo dyes [13, 28]. Dyes have a high thermal and photo stability [36], easily accumulate in water and are difficult to decolourize [34]. The water soluble azo dyes can settle in living organisms and dissolve into toxic aromatic amines [37]. For example, high concentrations of dark anthraquinone dyes with the complex structure of aromatic rings and chelating bound metal ions, e.g. chrome, cobalt, copper, iron and nickel, prevent the colouration removal [34, 38]. Besides the light tones of acid dyes, water soluble reaction dyes are also problematic for decolourization [1, 34]. Certain hydrolysed reactive dyes (e.g. monochlorotriazine) have low biological degradation ( $BOD_5/COD$  coefficients (usually less than 0.1) [39], which is due to the low degree of fixation to fibres (80-85%) the most common cause for difficult decolourization of dye bath wastewaters [4]. The slow degradation at inappropriate operating conditions [40], difficult decolourization [34] and accumulation in water [33] is a consequence of chemical composition, catalytic and microbiological stability of dyes [38]. Therefore, the decomposition of dyes in the environment is a slow and complicated process [36].

ške stabilnosti barvil [38], zato je njihova razgradnja v okolju počasen in zapleten proces [36].

### 3 Postopki razbarvanja tekstilnih odpadnih voda

Univerzalne metode, ki bi zagotavljala učinkovito razbarvanje kompleksnih kemijskih struktur barvil in nečistoč, še ni na trgu [28, 29]. Za razbarvanje odpadnih voda se uporabljajo fizikalni, biološki in kemični postopki ter njihove kombinacije [4, 32].

Fizikalno-kemijski postopki obdelave vključujejo [32]:

- metode zgoščevanja (koagulacijo, flokulacijo, sedimentacijo);
- adsorpcijo (na aktivno oglje, biološko blato, silikagel);
- membranske filtracije;
- destilacijo in ekstrakcijo (redko).

Za zgoščevalne metode se uporabljajo anorganski koagulant (apno, magnezij in železove soli) in potencialno toksični organski polimeri, ki lahko zavirajo proces razbarvanja [41]. Z adsorpcijo barvil na granulirano (ang. GAC – Granulated Activated Carbon) ali praškasto aktivno oglje (ang. PAC – Powdered Activated Carbon) so zaradi hitrega nasičenja absorpcijske kolone povezani visoki stroški regeneriranja GAC kolon [32, 41]. Standardni biološki postopki, t. i. aerobna obdelava (aktivacija biološkega blata v aeracijskih bazenih) in anaerobna obdelava (razkrajanje in gnitje v stabilizacijskih lagunah) [32] obarvanosti ne odstranijo, se pa velika količina nečistoč veže na biomaso [42]. Membranske tehnike, kot so mikrofiltracija, nanofiltracija in reverzna osmoza, so učinkovite kljub velikim investicijskim in obratovalnim stroškom ter nekaterim aplikativnim pomanjkljivostim. Mikrofiltracija je v primerjavi z reverzno osmozo ali postopkom adsorpcije na aktivno oglje manj učinkovita, saj le delno odstrani barvila in nečistoče. Nanofiltracija zadrži večino onesnaževalcev, prepušča pa majhne molekule soli in organskih snovi. Z reverzno osmozo lahko pri čiščenju odpadnih voda, ki poleg barvil vsebujejo klor, kationsko površinske aktivne snovi, dosežemo največ 80-odstotno učinkovitost, vsaj 20 odstotkov odplak pa ostane neočiščenih [41].

Pomanjkljivost fizikalnih postopkov je nastanek velikih količin trdnih odpadkov, odpadnega blata ali koncentriranih raztopin, ki zvišujejo stroške primerne predelave [23, 31, 33, 43] in njihovega odlaganja [2]. Kompleksometrične metode temeljijo na razpadu in odstranitvi kompleksno vezanih kovinskih ionov (kovinsko kompleksna, ftalocianinska barvila) v molekuli barvila s pomočjo selektivnih kompleksantov. Nevtralizacija, ionska izmenjava, kataliza, elektroliza itd., so namenjeni za splošno čiščenje odpadnih voda [4, 32], manj za razbarvanje.

Razbarvanje odpadnih voda z močnimi oksidanti, kot so klorov dioksid in klor, vodikov peroksid in ozon, je cilj kemijskih postopkov [41]. Najuporabnejši kemični postopki razbarvanja so: oksidacija z zračnim kisikom, ozonom ali oksidanti (klor, natrijev hi-

### 3 Decolourization procedures of textile wastewaters

The universal method which would ensure an efficient decolourization of complex chemical structures of dyes and impurities is not on the market yet [28, 29]. Several physical, biological and chemical processes and their combinations are used for the decolourization of wastewaters [4, 32].

Physical-chemical treatments include [32]:

- thickening method processes (coagulation, flocculation, sedimentation);
- adsorption (to active carbon, biological sludge, silica gel);
- membrane filtration processes;
- distillation and extraction (rarely).

Inorganic coagulants and potentially toxic inorganic polymers are used in the thickening processes (e.g. lime, magnesium and iron salts) and can obstruct the decolourization process [41]. The adsorption to GAC - granulated activated carbon or PAC - powdered activated carbon is connected due to the quick absorption of GAC colonies with high costs of the GAC colony regeneration [32, 41]. Standard biological processes, such as aerobic (i.e. activation of biological sludge in aeration pool) and anaerobic treatment (i.e. degradation and decay in stabilising lagoons) [32], are not efficient for decolourization; nevertheless, large amounts of impurities bound to the biomass [42]. Mem-

poklorit in vodikov peroksid) ter posredna oksidacija z UV-žarki. Hitra in učinkovita oksidacija že pri sobnih razmerah delno ali popolnoma razbarva vse vrste in strukturne oblike barvil.

Eksperimentalno je dokazano, da razgradnja reaktivnih in kislih barvil s plinastim klorom in z natrijevim hipokloritom v alkalnem mediju pri pH 9 in temperaturi 40 °C poteka hitro. Razbarvanje je skoraj popolno (98-odstotno), KPK-vrednost rahlo pade, AOX naraste. V nasprotju s tem se direktna in disperzna barvila v omenjenih postopkih s klorom im hipokloritom razbarvajo počasi in tvorijo razkrojne produkte rumene barve [4].

Reakcije razbarvanja z vodikovim peroksidom potekajo pri sobni temperaturi, v kislem mediju pri pH 3, približno 20 minut.  $H_2O_2$  razpade na hidroksilni radikal  $OH^\bullet$  in hidroksilni ion  $OH^-$ , v prisotnosti divalentnega železa kot katalizatorja pa še na  $Fe^{3+}$  ion (Fentonova reakcija). Barvila se razbarvajo do različne stopnje, od komaj opaznega razbarvanja nekaterih disperznih barvil, prek spremenjenih odtenkov, do popolnega (95-odstotnega) razbarvanja reaktivnih, direktnih, kislih in kovinsko kompleksnih barvil, v manjši meri tudi pigmentnih in redukcijskih barvil.

Postopek s pomočjo UV-žarkov je zaradi stroškov obratovanja (UV-žarnica) manj primeren s stališča ekonomičnosti. Redukcija z natrijevim ditionitom je omejena le na določena barvila (azo), pri čemer ne nastaja odpadno blato. Pomanjkljivost je v veliki porabi kemikalij in energije.

Vsem naprednim oksidacijskim postopkom so skupne kemijske reakcije, v katerih so udeleženi zelo reaktivni  $OH^\bullet$  radikali, ki lahko povzročijo razbarvanje in razgradnjo prisotnih onesnaževal v odpadnih vodah [44].  $OH^\bullet$  radikali nastajajo pri kemijskih reakcijah, ki vključujejo  $O_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $TiO_2$ , UV-žarke, ultrazvočno valovanje, elektronsko žarčenje, posamezno ali v medsebojnih kombinacijah. Postopki, ki so učinkoviti za oksidacijo tekstilnih odpadnih voda, so zbrani v preglednici 3 [20, 45, 46].

Table 3: Advanced oxidation processes [20, 46]

(Advanced) oxidation processes			
$O_3$ (Ozonation)	$H_2O_2/UV$	$O_3/UV$	$\gamma$ - Gama beams (Radiolysis)
$H_2O_2$ (Hydrogen peroxide)	$H_2O_2/UV/Fe^{2+}$ (foto Fenton)	$O_3/H_2O_2$ (Peroxone)	$H_2O_2 + \gamma$ beams
UV (Ultraviolet beams)	$H_2O_2/Fe^{2+}$ (Fenton)	$O_3/UV/H_2O_2$	$O_3 + \gamma$ beams
$TiO_2$ (Photo-catalysis)	UV/ $TiO_2$	$O_3/TiO_2$ / Irradiation with electronic beams	$O_3 + H_2O_2 + \gamma$ beams
US (ultrasound) (Ultrasonic waving)	$O_3/US$	$O_3/TiO_2/H_2O_2$	$Fe^{2+} + UV$
Irradiation with electronic beams		$O_3 +$ Irradiation with electronic beams	$Fe^{2+} + \gamma$ beams

brane processes, e.g. microfiltration, nanofiltration and reverse osmosis, are efficient despite the large investment and operating costs, and certain application disadvantages. In comparison to the reverse osmosis or adsorption procedure to active charcoal, microfiltration is less efficient, as it only partially removes dyes and impurities. Nanofiltration rejects the majority of pollutants and permeates small salt molecules and organic substances.

With reverse osmosis wastewater treatment process, the purification efficiency of 80% (incl. removal of dyes that contain chlorine and surfactants) can be achieved, whereas at least 20% of the sewage remains untreated [41].

One disadvantage of physical processes is the production of solid waste, sewage sludge or concentrated solutions, which raise the costs of appropriate treatment process [23, 31, 33, 43] and effluents disposal [2]. Complexometric methods are based on the degradation and removal of complex bound metal ions from the dye molecule (metal-complex, phthalocyanine dyes) by selective complexants. Neutralization, ion exchange, catalysis, electrolysis etc. are generally used for wastewater treatment [4, 32] and less for decolourization.

Wastewater decolourization with powerful oxidants, e.g. chlorine dioxide and chlorine, hydrogen peroxide and ozone is the main purpose of chemical processes [41]. The most useful chemical decolourization processes are oxidation with air oxygen, ozone or oxidants (i.e. chlorine, sodium hypochlorite and hydrogen peroxide), and indirect oxidation with UV-beams. The oxidation partially or completely, quickly and efficiently decolourizes all classes and dye structures already at room temperature.

Experiments have shown that the degradation of reactive and acid dyes with gas chlorine and sodium hypochlorite in an alkaline medium (pH 9) and at temperature 40 °C is fast. The decolourization is almost complete (98%). The COD value decreases slightly, whereas AOX increases. In contrast, direct and disperse dyes decolourize slowly and form yellow-coloured degradation products in limited processes with chlorine and hypochlorite [4].

The decolourization reactions with hydrogen peroxide take place at room temperature, in acid

### 3.1 Postopek $O_3$ in $H_2O_2/O_3$

Kemijski metodi čiščenja voda, ozoniranje ( $O_3$ ) in postopek  $H_2O_2/O_3$  (Peroxone), učinkovito razbarvata in zmanjšata količine nečistoč v odplakah iz barvarn in plemenitilnih tekstilij [19]. Ozoniranje poteka v prisotnosti ozona ( $O_3$ ), katerega oksidacijski potencial ( $E^0 = 2,07$  V) je 1,52-krat večji [6, 34] od klorovega ( $E^0 = 1,36$  V) in  $H_2O_2$  oksidacijskega potenciala ( $E^0 = 1,78$  V) [27, 28]. Odstranjuje vonj, okus in suspendirane trdne snovi, izboljšuje biološko razgradljivost [7, 12], zmanjšuje obarvanost barvnih raztopin, barvalnih kopeli in obarvanih odplak [2], toksičnost ter delno znižuje vrednosti ekoloških parametrov [1, 8, 25, 34, 43]. Uspešno razgrajuje mikroorganizme, viruse in alge [1, 9], klorirane fenole, klorirane in aromatske hidrogenkarbonate, klorobenzene, cianide, alkohole, pesticide, aldehide in sulfide [8, 10, 34, 39].

Prednosti ozoniranja so [8]:

- učinkovito razbarvanje (več kot 90-odstotno) različnih vrst in koncentracij barvil,
- delna odstranitev organskih snovi (KPK) (do 60-odstotno),
- izločanje težkih kovin iz kovinsko-kompleksnih barvil [31],
- izboljšanje biološke razgradljivosti [6, 47],
- popolna razgradnja produktov,
- v procesu ne nastajata odpadni mulj in blato,
- vodenje procesa je preprosto,
- obstajajo številne možnosti aplikacij,
- prebitek ozona se razgradi v kisik in vodo že v nekaj minutah [31].

Omenjene prednosti dokazujejo številne aplikativne raziskave razbarvanja barvil v vodnem mediju [1, 8] ter v barvalnih [8, 11, 33, 45, 48, 49] in industrijskih tekstilnih odplakah [50–52], izvedene na pilotnih napravah [14, 52] in reaktorjih [18, 38, 47, 54] v razmerah batch ali semi-batch [5, 7, 15, 18, 25, 49, 55–58].

Ozoniranje se uporablja za dezinfekcijo in čiščenje pitne vode [59], za obdelavo, čiščenje in recikliranje [51–53] industrijskih odpadnih in pralnih voda, odpadnih voda iz kmetijstva, pakiranja, živilske [60], celulozne in papirne industrije, proizvodnje pesticidov, barvil, barvanja tekstilnih materialov, v proizvodnji antioksidantov za gume, v farmacevtski industriji [9]. Obetaven je na področju stekleničenja vode, medicinske terapije [10,39,59], čiščenju inficiranih medicinskih odpadnih voda in deaktivacije viroznih in mikrobioloških infekcij [47]. Z ekonomskega vidika je manj primeren za čiščenje odpadnih voda z veliko vsebnostjo suspendiranih trdnih snovi, visokimi vrednostmi BPK, KPK ali TOC [61]. Novejše raziskave kažejo, da se pogosto uporablja le še kot stopnja predobdelave, kateri sledi biološko čiščenje, pri kateri se cenovno ugodneje odstranijo lahko oksidirajoči produkti [9, 10]. Uspešnost takšnih sistemov nakazuje študije razbarvanja kisljih rdečih [62] in direktnih črnih barvil [43]. Ozon se kot dezinfekcijsko, detoksifikacijsko in sredstvo za zmanjševanje mutagenosti veliko uporablja tudi v kmetijstvu in živilski industriji [54].

with pH 3, for approx. 20 minutes.  $H_2O_2$  decays into hydroxyl radical  $OH^\bullet$  and hydroxyl ion  $OH^-$  in the presence of divalent iron as a catalyst and to  $Fe^{3+}$  ion (Fenton reaction). Dyes decolourize to a different degree – from barely noticeable, over altered tones (disperse dyes), to almost complete decolourization (95%) when decolourizing reactive, direct, acid and metal-complex dyes, and less for pigments and vat dyes.

From the economical point of view, the process with UV-beams is less appropriate due to operational costs (UV light). The reduction of sodium dithionite is limited to certain dyes (azo) and does not form sludge. The process disadvantage is also in the high consumption of chemicals and energy.

All advanced oxidation processes have common chemical reactions. The decolourization is accelerated with highly reactive  $OH^\bullet$  radicals, which can cause decolourization and degradation of pollutants present in wastewaters [44].  $OH^\bullet$  radicals are formed in chemical reactions which include  $O_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $TiO_2$ , UV beams, ultrasonic waving, electronic radiation, either individually or in combinations. The processes which efficiently oxidize textile wastewaters are presented in Table 3 [20, 45, 46].

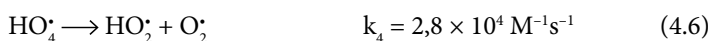
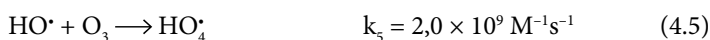
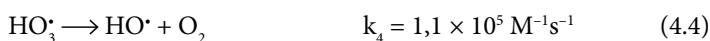
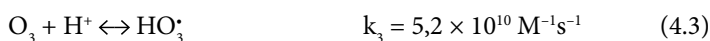
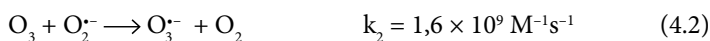
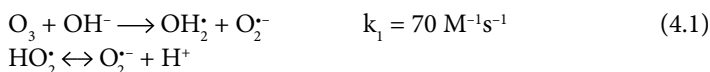
### 3.1 $O_3$ and $H_2O_2/O_3$ process

The chemical methods for water purifying, i.e. ozonation ( $O_3$ ) and  $H_2O_2/O_3$  (Peroxone) process, efficiently decolourize and reduce the amount of impurities in the dye bath wastewaters [19]. The ozonation occurs in the presence of ozone ( $O_3$ ), which has an oxidation potential ( $E^0 = 2.07$  V) 1.52-times higher [6, 34] than chlorine ( $E^0 = 1.36$  V) and  $H_2O_2$  ( $E^0 = 1.78$  V) [27, 28]. It removes odour, taste and suspended solids, improves biological degradation [7, 12], reduces the colour of dye solutions, dye baths and dyed wastewaters [2], toxicity. Furthermore, it partially reduces the ecological parameter values [1, 8, 25, 34, 43] and successfully degrades microorganisms, viruses and algae [1, 9], chlorine phenols and aromatic hydrogen carbonate, chlorine benzenes, cyanides, alcohol, pesticides, aldehydes and sulphides [8, 10, 34, 39].

The advantages of the ozonation process are [8]: – efficient decolourization (over 90%) of different class and dye concentrations,

## 4 Kemizem postopka $O_3$ in $H_2O_2/O_3$

Ozon ( $O_3$ ) onesnaževala v vodnem mediju oksidira direktno ali s pomočjo nastalih hidroksilnih radikalov, ki nastajajo pri reakciji iniciacije (enačbi 4.1–4.2), propagacije (enačbe 4.3–4.7) in terminacije (enačbi 4.8–4.9). Konstante reakcijskih hitrosti ( $k_{1-6}$ ) reakcij 2. reda so podane v enotah koncentracija/čas ( $M^{-1} \times s^{-1}$ ), kjer pomeni M molarnost oz. koncentracijo v mol/L [63, 64]. Reakcijski časi so kratki (približno 10–30 sekund) [61].



Ozon je v vodi obstojen le 20 minut, čas obstojnosti se v prisotnosti barvil še skrajša. Začetne reakcije razbarvanja so hitre reakcije 1. reda [5, 48, 57], odvisne od začetne koncentracije barvila in ozona v vodi [1, 2, 13, 43, 65]. Zato se ozon za reakcije z barvili in nečistočami proizvaja sprotno (maksimalna koncentracija je 4–8 %) iz suhega zraka ali kisika ob izkoristku le 5–10 odstotkov vložene energije [9]. Na proces razbarvanja z ozonom vpliva več spremenljivk, in sicer: vrednost pH, koncentracija oz. pretok ozona, koncentracija barvila, hitrost in čas ozoniranja, temperatura [24], prisotnost soli [66], katalizatorjev [9], itd. To potrjujejo raziskave pomembnosti posameznih spremenljivk in optimalnih pogojev ozoniranja z različnimi modeli: metoda Taguchi in ortogonalno razporejeni  $L_{18}$  ( $2^1 \times 3^7$ ) eksperimentalni načrt [26], s  $3 \times 3$  faktorski načrt [6], modificirani  $2^{5-1}$  faktorski načrt [47] ter sestavljenim centralnim načrtom Box Hunter [66].

Kadar v vodo dodajamo vodikov peroksid, govorimo o postopku Peroxone ( $H_2O_2/O_3$ ). Vodikov peroksid v vodi razpade po naslednjem mehanizmu (4.9):



Nastali  $HO_2^-$  ion reagira z ozonom, pri čemer nastanejo  $OH^\bullet$  radikali (4.10):

- partial removal of organic substances (COD) (up to 60%),
- elimination of heavy metals from metal-complex dyes [31],
- biological degradation improvement [6, 47],
- complete process products decomposition,
- no waste sludge and slit by-products production,
- simple process handling,
- numerous application possibilities,
- excess of ozone degrades into oxygen and water in only a few minutes [31].

Numerous applicative researches prove these advantages for dye decolourization in water [1, 8] and dyebaths [8, 11, 33, 45, 48, 49], as well as for industrial textile wastewaters [50-52] performed on pilot devices [14, 52] and in reactors [18, 38, 47, 54] at batch or semi-batch conditions [5, 7, 15, 18, 25, 49, 55-58].

Ozonation is used for disinfection and drinking water cleaning [59], for treatment, purifying and recycling [51-53] of industrial wastewater and washing (rinsing) water, agriculture wastewater, wastewater from packaging and food industry [60], cellulose and paper industry, pesticide production, dyes production, textile colouration processes, in antioxidants production for tyres, as well as in the pharmaceutical industry [9]. Moreover, the ozonation process is very promising in the water bottling production, health treatments [10, 39, 59], for infected medical wastewater cleaning, deactivation of viral and microbiological infections [47]. Economically speaking, it is less suitable for the wastewater treatment with a high content of suspended solids and high BOD, COD or TOC values [61]. Latest research shows that it is often used as a pre-treatment step followed by a biological treatment for a cheaper removal of oxidation products [9, 10]. The success rate of such systems is shown by decolourization studies of acid red [62] and direct black dyes [43]. Ozone is intensively used as a disinfectant, detoxification agent to reduce mutagenicity in farming and food industry [54].

#### 4 Chemistry of $O_3$ and $H_2O_2/O_3$ process

Pollutants in water are instantly oxidised by ozone ( $O_3$ ) or with the help of hydroxyl radicals

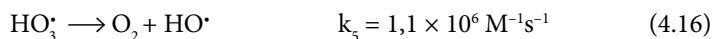
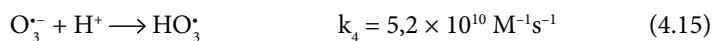
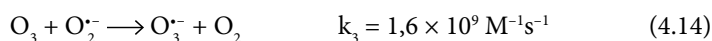
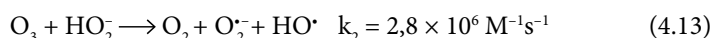
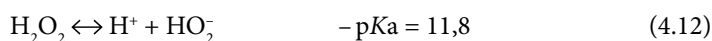


Največ dve molekuli  $O_3$  sta potrebni za nastanek dveh  $OH^\bullet$  radikalov (4.11). Le-ti imajo visok električni potencial in veljajo za eno najmočnejših oksidacijskih sredstev.



Aktivacija radikalov poteka po različnih reakcijskih mehanizmih, to je odvisno od tipa barvila in drugih onesnaževal, prisotnih v odpadni vodi [46].

Oksidacijski potencial hidroksilnih radikalov je večji kot oksidacijski potencial molekule ozona, zato je direktna oksidacija z ozonom počasnejša kot oksidacija s prostimi radikali. Razlika v reakciji je razvidna iz vrednosti konstant reakcijskih hitrosti reda  $10^9 - 10^{10} M^{-1} s^{-1}$  (4.14 in 4.15) in  $10^6 M^{-1} s^{-1}$  (4.13 in 4.16) [26].



Prednost  $O_3$  in  $H_2O_2/O_3$  pred drugimi AOP-postopki je sposobnost razbarvanja različnih organskih komponent, raztopljenih v vodi v kislem, nevtralnem in/ali v bazičnem pH mediju [13, 33, 55, 67]. V bazičnem mediju (pH nad 7-8) potekajo indirektna reakcije z  $OH^\bullet$  radikali in drugimi radikalskimi spojinami. Povzročajo delno oksidacijo vseh delov molekule barvila, ki po ozoniranju ostanejo v vodi [6]. Nepopolno oksidirane komponente so lahko vzrok za toksičnost in mutagenost očiščenih odpadnih voda, vendar so po mnenju večine raziskovalcev obarvane odpadne vode iz tekstilne industrije po ozoniranju manj toksične in bolj biološko razgradljive [56]. V kislem mediju (pH pod 6) je molekularni ozon stabilen in direktno reagira z organskimi substancami ali nenasičenimi kromofornimi vezmi v barvilu kot elektrofil oz. elektronski akceptor [6, 33, 67]. Direktna reakcija hidroksilnih radikalov  $OH^\bullet$  z različnimi nečistočami (M) v vodi so selektivne in počasne [33], indirektna pa imajo neselektivno naravo [55] (slika 1), so počasne

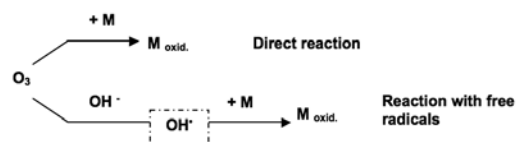


Figure 1: Scheme of ozone reactivity in water [67]

(OH $\cdot$ ) formed during the initiation (cf. Equations 4.1-4.2), propagation (cf. Equations 4.3-4.7) and termination (cf. Equations 4.8-4.9) reactions. The reaction constant rates ( $k_{i,o}$ ) for the 2<sup>nd</sup> order reactions are given in the units of concentration/time ( $M^{-1} \times s^{-1}$ ), where  $M$  stands for molarity or concentration in mol/L [63, 64]. Reaction times are short (approx. 10-30 seconds) [61].

Ozone is stable in water only for 20 minutes and in the presence of dyes, that time shortens. The initial decolorization reactions are fast reactions of the 1<sup>st</sup> order [5, 48, 57], depending on the initial dye concentration in the water [1, 2, 13, 43, 65]. Due to the dye and impurities reactions, ozone is manufactured from dry air or oxygen in-situ (maximal concentration 4-8%). The input energy consumption is only 5-10% [9]. There are many variables affecting the decolorization process with ozone, i.e. pH value, concentration or ozone flow, initial dye concentration, velocity and ozonation time, temperature [24], presence of salt [66], catalysts [9] etc. The latter is confirmed with researches of the importance of individual variables and optimal conditions of ozonation with various models, namely the Taguchi method and orthogonally distributed  $L_{18}$  ( $2^7 \times 3^7$ ) experimental design [26], with  $3 \times 3$  factor design [6], modified  $2^{5-1}$  factor design [47] and combined central design Box Hunter [66].

When hydrogen peroxide is added into water, the so-called Peroxone process ( $H_2O_2/O_3$ ) is activated. Hydrogen peroxide in water dissociates according to the following mechanism (Equation 4.9).

The emerged  $HO_2\cdot$  ion reacts with ozone, creating  $OH\cdot$  radicals (Equation 4.10).

At least two molecules of  $O_3$  are required for the emergence of two  $OH\cdot$  radicals (Equation 4.11). Only these have high electric potential and are one of the most powerful oxidation agents.

Radical activation takes place at various reaction mechanisms, depending on the dye type and other pollutants present in the wastewater [46].

The oxidation potential of hydroxyl radicals is higher than the oxidation potential of ozone molecules; therefore, direct oxidation is slower than the oxidation with free radicals. The differ-

in potekajo hitreje z naraščanjem pH. Ponavadi omenjene reakcije ozoniranja potekajo sočasno. Med direktnimi reakcijami prihaja do razgradnje aromatskih obročev s pomočjo cikloadicije ozona, indirektne pa povzročajo mineralizacijo organskih komponent, ki vsebujejo ogljik (zniževanje TOC) [33].

Na učinkovitost razbarvanja z ozonom v veliki meri vpliva kemijska struktura barvil [2]. Prva stopnja razgradnje je zelo hitra in selektivna oksidacija posameznih kromofornih azo skupin ali večkratnih nenasičenih dvojnih azo vezi ( $-C=C-$ ,  $-C=N-$  ali  $-N=N-$ ), vezanih na aromatski obroč vodotopnih barvil [9, 41]. Pogosteje uporabljena poliazoo barvila se težje razbarvajo kot monoazoo barvila. Pri ozoniranju azo barvil nastajajo vmesni produkti [2], imenovani prekurzorji (npr. elementarni dušik, fenol, kinoni) [42] (slika 2).

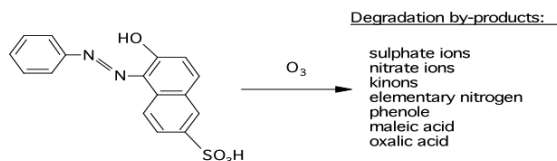


Figure 2: Scheme of ozone influence on a model azo dye [42]

Nastali prekurzorji reagirajo v končne produkte [2], kot so organske in anorganske [1, 2, 23, 33, 39, 43], pretežno preproste karbonske kisline (oksalna, maleinska [42] in mravljična, mukonska [50]) (slika 3) [12], posledica tega pa je znižanje pH vrednosti in povečanje prevodnosti.

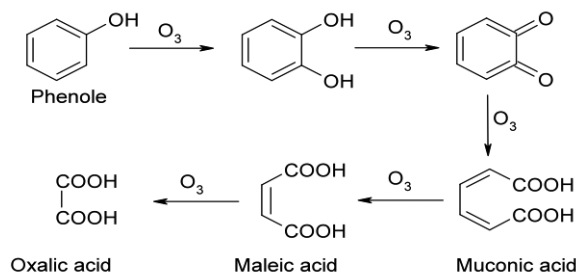


Figure 3: Phenole ozonation by-products [42]

Pregled člankov, ki obravnavajo učinkovitost postopka ozoniranja in  $H_2O_2/O_3$  pri različnih pogojih odstranjevanja najpogosteje uporabljenih tekstilnih barvil, je povzet v preglednici 4. Poraba ozona je glede na različne kategorije porabe  $O_3$  podana v različnih enotah (hitrost pretoka v mg/min ali mg/(l  $\times$  min) ali l/min; proizvodnja ozona v g/h ali %; koncentracija ozona v mg/l ali %). Načrtovanje porabe ozona je odvisno od začetne koncentracije barvila v barvalni kopeli in od lastnosti strojne opreme, kar je podrobneje opisano v navedenih referencah. Enako velja za porabo vodikovega peroksida, ki je največkrat podana v enotah, kot so ml/l, mol, g/l.



Table 4: Efficiency of ozonation and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> process at different conditions for removing different classes of textile dyes

Method	Dye Class	Colour Index (C.I.) and Trade name	Initial dye conc. (mg/l; μmol; mol/l)	Consumption		pH	Ozonation time (min)	Decolourization efficiency (%)	COD/(TOC) (decrease in % regarding the initial value)	Reference
				O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>					
O <sub>3</sub>	REACTIVE	Reactive Yellow 84 / Procion Yellow H-E4R (80% dye purity)	200 mg/l	9.1-18.5 mg/l		6.3	60	almost complete	50; (30)	Koch et al, (2002) [39]
		Reactive Black 5	250-300 mg/l	26.1 mg/l-min		unknown	10-30	99-100	27-87	Wu and Wang, (2001) [25]
		Remazol Black 5 / Brasilen Schwarz FB (75% dye purity)	200 mg/l	20.500 g/l		7.4	180-360	99.5-100	40; (25)	Wang et al, (2003) [1]
		Reactive Red 120 (75% dye purity)	200-500 mg/l	8.9-20 mg/l		10	90	93.7	74.1	Zhang et al, (2004) [8]
		Reactive Blue 15	500-3000 mg/l	16.7-69.7 mg/l-min		unknown	30-40	90-95	51.7-84.6	Wu et al, (2008) [69]
		Reactive Orange 113	60 mg/l	17 mg/l		2.4	6	100	44; (36)	Gutowska et al, (2007) [70]
		Reactive Blue 19	30 mg/l	0.14 g/h		7	5-10	99-100	0-100	Peralta-Zamora et al, (1999) [27]
		Reactive Blue 220; Black 5; Blue 28; Red 22; Yellow 15; Remazol Dark Black N (C.I. unknown)	200 mg/l	0.0813 mol/l	4.5 ml/l (w=35%)	1	60-120	99-100	COD <sub>end</sub> 170 mg/l O <sub>2</sub>	Kurbus et al, (2003) [71]
		Reactive Red 2	40 mg/l	12060 mg/l	20.5-1 g/l (w = unknown)	10	30	1; 95% 2; 57	unknown	Wu and Ng, (2008) [68]
		O <sub>3</sub> and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>								

Table 4: Efficiency of ozonation and  $H_2O_2/O_3$  process at different conditions for removing different classes of textile dyes

Method	Dye Class	Colour Index (C.I.) and Trade name	Initial dye conc. (mg/l; $\mu$ mol; mol/l)	Consumption		pH	Ozonation time (min)	Decolourization efficiency (%)	COD/(TOC) (decrease in % regarding the initial value)	Reference
				$O_3$	$H_2O_2$					
$O_3$	ACID	Acid Brown 159 (metal-complex)	100 mg/l	17 mg/l		2; 4	7	100	56.1; (54.1)	Jóźwiak et al. (2007) [38]
		Acid Red 88	500 $\mu$ mol	2 g/h		3; 11	3-15	99.9	64	Muthukumar et al. (2004) [71]
		Acid Yellow 17	1-250 mg/l	79.2 mg/min		7	40	99.9	55.5	Lackey et al. (2006) [48]
		Acid Red 151	$44 \times 10^{-6}$ mol/l	2-2.8 mol/l		<sup>a</sup> 2.5 <sup>b</sup> 10	10	<sup>a</sup> 98 <sup>b</sup> 87	<sup>a</sup> 58	Özbelge et al. (2003) [73]
		Acid Orange 52 / Methyl Orange	40 mg/l	4-75 mg/l		9.3	15	97	unknown	Chen, (2000) [47]
		Orange II (C.I. 16185); Acid Red 27 (C.I. 15510)	$1 \times 10^{-4}$ mol/l	3.3 L/min		9	30	98	(20-45)	Silva et al. (2009) [74]
		Procion red MX-5B	250 mg/l	0.26 g/h		11	5-30	79	58-80; (60.4-75)	Pachhade et al. (2009) [75]
		Acid Orange 8 (65% dye purity)	20-40 $\mu$ mol	2 g/l		5	30	95	unknown	Gültekin and Ince, (2006) [13]
		Acid Blue 62 (C.I. 62045) / Polan blue E2R	100-200 mg/l	6-36 mg/l	1 ml/l (w=30%)	3.8	25-30	90-95	unknown	Perkowski and Ledakowicz, (2002a, b) [24, 45]
		Acid Red 88 (C.I. 15620)	50 mg/l	2 g/h	$5.4 \times 10^{-4}$ mol (w=33%)	7	15	84	57; (36)	Domínguez et al. (2005) [65]
$O_3$ and $O_3/H_2O_2$		Acid Blue 193; (C.I. 15707; C.I. 15705) - 2:1 chromium complex	100-400 mg/l	1-2 g/h	7 ml/l (w=30%)	7; 12	20-40	95-98	36-45; (22-35)	Bauman et al. (2007, 2008) [76, 77]

Table 4: Efficiency of ozonation and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> process at different conditions for removing different classes of textile dyes

Method	Dye Class	Colour Index (C.I.) and Trade name	Initial dye conc. (mg/l; μmol; mol/l)	Consumption		pH	Ozonation time (min)	Decolourization efficiency (%)	COD/(TOC) (decrease in % regarding the initial value)	Reference
				O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>					
O <sub>3</sub>	DIRECT	Isma fast Red 8B	300 mg/l	25 g/l		11; 12	10	54.3	unknown	Kosnowa, (2003) [22]
		Direct Blue 71 / Sirius Blue SBRR	100-800 mg/l	24 g/m <sup>3</sup>		12	26	97.4	unknown	Turhan and Turgut, (2009) [78]
		Direct Blue 199	20 mg/l	6 l/min; 5%		6.8	2-15	99.9	(60)	Shu, (2006) [50]
		Direct Black 22	20 mg/l	6 l/min		6.4	5-160	99.9	(33)	Shu and Chang, (2005a, b) [23, 43]
O <sub>3</sub> and O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	METAL-COMPLEX	Bomaplex Red CR-L	200-600 mg/l	164 mg/min		9.3	5-30	80-99	50	Oguz and Keskinler, (2008) [79]
		Bomaplex Red CR-L	400-1000 mg/l	0.7- 1.4 O <sub>3</sub> %; 164-493 mg/min	7-21 × 10 <sup>-3</sup> mol (w=30%)	12; 9.3	15-30	99	54	Oguz and Keskinler, (2005, 2007) [18, 21]
O <sub>3</sub>	BASIC	Basic Red 46 / Cationic Red X-GRL	50 mg/l	3 g/h		9.2	6-60	93-100	(5.7-34.9)	Zhao et al, (2004) [33]
		Basic Red 9 (C.I. 42500) /Pararosaniline monohydrochloride (88% dye purity)	1.2 · 10 <sup>-5</sup> mol/l	25 mg/h; 1.3 l/min		5-6	2-120	100	increased - unknown	De O. Martins et al, (2005) [54]
O <sub>3</sub>	DISPERSE	Disperse Red 354 /Foron Rubin S <sub>2</sub> GLF	45.756 μmol	8.2 mg/l		6.7	30	29.3	14.2; (29.3)	Neamtu et al, (2004) [19]

ence in the reaction is visible from the values of constants of reaction rates of order  $10^9$ – $10^{10} M^{-1} s^{-1}$  (cf. Equations 4.14 and 4.15) and  $10^6 M^{-1} s^{-1}$  (cf. Equations 4.13 and 4.16) [26].

The advantage of the  $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$  process over other AOPs is the decolourization ability of different organic components dissolved in the water, acid, neutral and/or basic pH medium [13, 33, 55, 67]. In a basic pH (7–8), indirect reactions with  $OH^\cdot$  radicals and other radical compounds take place. The dye molecule partially oxidizes all sites, and after the ozonation degradation, the products remain in the water [6]. The incompletely oxidised components can cause toxicity and mutagenicity of treated wastewaters. Recently, most researchers have stated that after the ozonation, the dye-bath wastewaters from the textile industry are less toxic and more biodegradable [56]. In an acid pH (under 6), the molecular ozone is stable and reacts directly with organic substances or unsaturated chromophore dye bonds as an electrophyl or electronic acceptor [6, 33, 67]. The direct reactions of hydroxyl radicals  $OH^\cdot$  with different impurities (M) in water are very selective and slow [33], whereas the indirect ones have a non-selective character [55] (cf. Figure 1), they are slow and take place faster when increasing the pH value. Usually, all of the mentioned reactions take place simultaneously. During direct reactions, the decomposition of aromatic rings with cycloaddition of ozone is performed, while the indirect reactions cause mineralisation of organic components, which contains carbon (reduction of TOC) [33].

The decolourization efficiency of ozone is influenced by the chemical structure of dyes [2]. The first decomposition level is a rapid and selective oxidation of chromophoric azo groups or multiplied unsaturated double azo bonds ( $-\overset{|}{C}=\overset{|}{C}-$ ,  $-\overset{|}{C}=N-$  ali  $-N=N-$ ), bound to the aromatic ring of water soluble dyes [9, 41]. The more frequently used polyazo dyes are more difficult to decolourize than monoazo dyes. Intermediate products, the so-called precursors (e.g. elementary nitrogen, phenols, quinones) [42] are formed when ozonating azo dyes [2] (cf. Figure 2).

The formed precursors react into end products [2], both organic and inorganic [1, 2, 23, 33, 39,

Iz preglednice 4 je razvidno, da je bilo do zdaj največ obdelav odpadnih tekstilnih barvalnih kopeli s postopkoma  $O_3$  in  $H_2O_2/O_3$  narejenih na reaktivnih barvilih. Za odstranjevanje kisljih, direktnih, bazičnih in disperznih barvil obstaja manj referenc, med proučevanimi postopki pa prevladuje ozoniranje.

Učinek razbarvanja je odvisen predvsem od eksperimentalnih pogojev, kot so: vrsta barvila, koncentracija barvila, reakcijski čas, pH vrednost. Oba postopka uspešno razgradita in razbarvata reaktivna, kislja, direktna, kovinsko-kompleksna in bazična, manj disperzna barvila. Če učinek razbarvanja primerjamo glede na barvo kromofora, se v primerjavi z rumenimi, oranžnimi, modrimi in črnimi barvili slabše razbarvajo rdeča barvila, in sicer disperzno (Disperse Red 354), direktno (Isma fast Red 8B), kovinsko-kompleksno (Bomaplex Red CR-L) ter nekatera rdeča kislja barvila (Procion red MX-5B), predvsem v alkalnem mediju (pH med 9 in 11).

Med reaktivnimi barvili je bilo največkrat obravnavano barvilo Reactive Black 5, sam [1, 25, 71] v primerljivih začetnih koncentracijah barvila (200–300 mg/l). Učinek razbarvanja je v vseh primerih med 99 in 100 odstotki, KPK vrednosti so se znižale v odvisnosti od časa ozoniranja in porabe ozona med 27 in 87 odstotki; TOC vrednosti pa za 25 odstotkov. Postopka  $O_3$  in  $H_2O_2/O_3$  sta primerna tudi za reaktivna barvila drugih odtenkov (oranžna, modra, rdeča) [8, 27, 39, 69, 70, 68], saj je učinek razbarvanja v vseh primerih med 90 in 100 odstotki, KPK in TOC pa se znižata primerljivo z rezultati, podanimi za Reactive Black 5.

Med kisljimi barvili so najpogosteje obravnavana rdeča, in sicer Acid Red 88 [65, 71], Acid Red 151 [73], Acid Red 27 [74] in Procion red MX-5B [75]. Navedena rdeča barvila so se odlično razbarvala (učinek razbarvanja je med 90 in 99,9 %) v kislem mediju (pH med 2,5 in 4), medtem ko v alkalnem mediju (pH od 9 do 11) dosegajo največ 87-odstotno razbarvanje. Oranžna kislja barvila [13, 47, 74] so se čistila tako v kislem kot v alkalnem mediju. Učinek razbarvanja v obeh medijih je primerljiv, med 95 in 98 odstotki. Znižanje KPK-vrednosti dosega od 50 do 60 odstotkov začetne vrednosti in je odvisno tako od začetne koncentracije barvila kot od pogojev čiščenja. Podatkov za TOC je manj, nakazujejo pa zmanjšanje začetne TOC-vrednosti za 20 do 45 odstotkov, izjema je Procion red MX-5B, kjer se TOC zmanjša za 75 odstotkov.

Za direktna, bazična in disperzna barvila je bil do zdaj v najdeni literaturi opisan le postopek  $O_3$ , medtem ko nismo zasledili nikakršnih podatkov za postopek  $H_2O_2/O_3$ . Med direktnimi barvili sta obravnavani dve modri [50, 78] ter po eno rdeče [22] in črno [23, 43] barvilo. Učinek razbarvanja je odvisen od začetne koncentracije barvil, časa in pogojev ozoniranja in znaša od 97 do 99,9 odstotka; izjema je barvilo Isma fast red 8B, ki se je po 10 minutah razbarvalo manj kot 55-odstotno. Medtem ko podatki o KPK niso bili navedeni, se vrednosti TOC zmanjšajo za 33 do 60 odstotkov.

Med kovinsko kompleksnimi barvili je bilo obravnavano le barvilo Bemaplex Red CR-L [18, 21, 79], ki se je po 30 minutah razbarva-

43], predominantly to simple carboxylic acid (oxalic, maleic [42] and formic, muconic [50]) (cf. Figure 3) [12]. Consequently, the pH value decreases and conductivity increases.

An overview of articles which deal with the efficiency of the ozonation and  $H_2O_2/O_3$  process at various conditions for colour removal of commercial textile dyes is noted in Table 4. The use of ozone depends on various categories of use of  $O_3$  given in different units (flow velocity in mg/min or mg/(l×min) or l/min; ozone production in g/h or %; ozone concentration in mg/l or %). The ozonation addition to the process depends on the initial dye concentration in the dyebath and on the machine equipment characteristics, which is described in more details in the cited references. Similar is true for the hydrogen peroxide, mostly given in units ml/l, mol, g/l.

Table 4 clearly shows that most treatments of textile dyebaths containing reactive dyes were performed with the  $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$  process. For the removal of acid, direct, basic, and disperse dyes, there are fewer references; however, among them, the ozonation process studies dominate. The effect of decolourization depends mostly on the experimental conditions, e.g. dye type, dye concentration, reaction time and pH value. Both processes successfully degrade and decolourize reactive, acid, direct, metal-complex and basic dyes, and a little less efficiently disperse dyes. When comparing the decolourization effect according to the chromophore colour, among yellow, orange, blue, and black dyes, less decolourization is achieved for red dyes, esp. disperse (Disperse Red 354), direct (Isma Fast Red 8B), metal-complex dyes (Bomplex Red CR-L) and certain red acid dyes (Procion Red MX-5B), most of all in an alkaline pH (between 9 and 11).

Among reactive dyes, the Reactive Black 5 dye was most frequently the subject of research [1, 25, 71] in comparable initial dye concentrations (200–300 mg/l). The decolourization efficiency was in all experiments between 99 and 100%, the COD values decreased by 27 to 87% and TOC by 25%.

Regarding the ozonation time and ozone application, the  $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$  process are also suitable for other reactive dye tones (e.g. orange, blue, red) [8, 27, 39, 69, 70, 68]. In comparison

lo 99-odstotno po obeh postopkih ( $H_2O_2/O_3$  in  $O_3$ ). KPK- vrednost se je zmanjšala za 50 odstotkov, podatkov za TOC ni.

V skupini bazičnih in disperznih barvil so bila obravnavana štiri rdeča barvila [19, 33, 54] v različnih razmerah ozoniranja (pH vrednost med 5 in 9,2). Učinek razbarvanja je pri bazičnih barvilih med 93 in 100 odstotki, pri disperznem pa le 29,3 odstotka, kar izhaja iz kemijskih lastnosti disperznega barvila. Skladno s tem se je KPK-vrednost disperznega barvila glede na začetno vrednost zmanjšala za 14,2 odstotka, medtem ko se pri bazičnem barvilu Basic red 9 po ozoniranju KPK celo poveča [54]. Za omenjeno barvilo za TOC-vrednost ni podatka, pri preostalih, enem bazičnem in enem disperznem, pa se TOC zmanjša za 6 do 35 odstotkov.

## 5 Sklep

V 21. stoletju je čedalje bolj jasno, da je ozon vsestransko uporaben, kar potrjuje množična objavljena literatura s področja različnih strok [54]. Na učinek razbarvanja z ozonom vplivajo predvsem: a) začetna koncentracija barvila, b) pretok ozona c) pH medija, d) čas razbarvanja, e) temperatura, f) dodatek soli (elektrolitov) in g) dodatek vodikovega peroksida pri postopku  $H_2O_2/O_3$ . Prednost postopka ozoniranja in  $H_2O_2/O_3$  se kaže predvsem v učinkovitem razbarvanju (več kot 90-odstotno) različnih vrst in koncentracij barvil [31], le odstranitev KPK in TOC pri obeh postopkih ( $O_3$  in  $H_2O_2/O_3$ ) je omejena. Med ozoniranjem se KPK-vrednost v povprečju zmanjša za 40–60 odstotkov. Mineralizacija, izražena kot TOC, je ponavadi nepopolna (10–30-odstotna), predvsem pri razbarvanju direktnih, kisljih in bazičnih barvil, čeprav so končni produkti oksidacije bolj biološko razgradljivi. Med procesom razbarvanja pH vrednost pade v povprečju za dve enoti, prevodnost se poveča kot posledica nastanka produktov razgradnje, med katerimi prevladujejo kisline. Za razbarvanje kisljih, direktnih, bazičnih in disperznih barvil je dovolj učinkovit postopek ozoniranja v kislem ali alkalnem pH, medtem ko se za odstranjevanje reaktivnih in kovinsko-kompleksnih barvil priporočata postopek  $H_2O_2/O_3$  in alkalni pH-medij (9–12).

Pregled velikega števila obstoječe literature je pokazal številne prednosti obeh obravnavanih postopkov za čiščenje tekstilnih odpadnih voda iz barvarn. Hkrati kaže tudi pomanjkljivosti tako enega kot drugega postopka, ki izhajajo iz velike kemijske raznolikosti znotraj in med posameznimi skupinami barvil. Iz tega lahko povzamemo, da je za najučinkovitejše vodenje tehnološkega postopka potrebna optimizacija glede na specifičnost tekstilne odpadne barvalne kopeli.

„Operacijo delno financira Evropska unija, in sicer iz Evropskega socialnega sklada. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, 1. Razvojne prioritete: Spodbujanje podjetništva in prilagodljivosti, prednostne usmeritve 1.1.: Strokovnjaki in raziskovalci za konkurenčnost podjetij.“

with the results for Reactive Black 5, in these cases, the decolourization efficiency is between 90 and 100%, and the COD and TOC values are adequately lowered.

Among acid dyes, the Acid Red 88 [65, 71], Acid Red 151 [73], Acid Red 27 [74] and Procion Red MX-5B [75] are mostly treated. The listed red dyes have excellently decolourized (the decolourization efficiency is between 90 and 99.9%) in acid pH (between 2.5 and 4), whereas in an alkaline medium (pH 9 to 11), only 87% decolourization is achieved. Orange acid dyes [13, 47, 74] were treated in acid and alkaline media. The decolourization efficiency (from 95 to 98%) in both media is comparable. Due to the initial value, the reduction of COD was from 50 to 60% and depends on the initial dye concentration and treatment conditions. There is less information on TOC reduction; however, some results indicate a TOC reduction by 20 to 45%. An exception is Procion Red MX-5B, where the TOC value reduced by 75%.

The most commonly applied decolourization process for direct, basic, and disperse dyes in literature has been the  $O_3$  process, while no data has been obtained for the  $H_2O_2/O_3$  process. Among direct dyes, two blue [50, 78], one red [22] and one black dye [23, 43] were treated. The results show that the decolourization effect between 97 and 99.9% depends on the initial dye concentration, time and ozonation conditions. An exception is the Isma Fast Red 8B dye that decolourized after 10 minutes by less than 55%. While there are no listed data for COD, the TOC values have decreased by 33 to 60%.

Among the metal-complex dyes, only the dye Bemaplex Red CR-L [18, 21, 79] was investigated. The dye decolourized after 30 minutes by 99% when applying both treatments (i.e.  $H_2O_2/O_3$  and  $O_3$ ). The COD value decreased by 50%, whereas no information on TOC is available.

From basic and disperse dye classes, experiments with four red dyes [19, 33, 54] at different ozonation conditions (pH 5 and 9.2) were performed. The decolourization efficiency for basic dyes was between 93 and 100%, and for disperse dyes only 29.3%. The lack of decolourization derives from the chemical properties of disperse dyes. Regarding its initial value, the COD value of the disperse dye decreased after

## 6 Literatura

1. WANG, C., YEDILER, A., LIENERT, D., WANG, Z., KETTRUP, A. Ozonation of an azo dye C. I. Remazol Black 5 and toxicological assessment of its oxidation products. *Chemosphere*, 2003, vol. 52, p. 1225–1232.
2. SHU, H.Y., HUANG, C.R. Degradation of commercial azo dyes in water using ozonation and UV enhanced ozonation process. *Chemosphere*, 1995, vol. 31, no. 8, p. 3813–3825.
3. SENTHILKUMAR, M., MUTHUKUMAR, M. Studies on the possibility of recycling reactive dye bath effluent after decolouration using ozone. *Dyes and pigments*, 2007, vol. 72, (2), p. 251–255.
4. ZAVRŠNIK, T. Čiščenje tekstilnih odpadnih vod s posebnim poudarkom na odstranjevanju barvil. *Tekstilec*, 1992, let. 35, št. 7–8, str. 321–330.
5. FARIA, C.C.P., ÓRFÃO, J.J.M., PEREIRA, M.F.R. Mineralisation of coloured aqueous solutions by ozonation in the presence of activated carbon. *Water Research*, 2005, vol. 39, p. 1461–1470.
6. ADAMS, C.D., GORG, S. Effect of pH and Gas-Phase Ozone Concentration on the Decolorization of Common Textile dyes. *Journal of Environmental Engineering*, 2002, vol. 128, p. 293–298.
7. SOARES, O.S.G.P., ÓRFÃO, J.J.M., PORTELA, D., VIEIRA, A., PEREIRA, M.F. R. Ozonation of textile effluents and dye solutions under continuous operation: Influence of operating parameters. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, vol. 137, (3), p. 1664–1673.
8. ZHANG, F., YEDILER, A., LIANG, X., KETTRUP, A. Effects on dye additives on the ozonation process and oxidation by-products: a comparative study using hydrolyzed C. I. Reactive Red 120. *Dyes and Pigments*, 2004, vol. 60, p. 1–7.
9. GOGATE, P.R., PANDIT, A.B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in Environmental Research*, 2004, vol. 8, (3-4), p. 501–551.
10. VIJAY, R., GUNUKUALA, B., TITTLEBAUM, M., E. Industrial wastewater treatment by advanced oxidation process. *J. Environ. Sci. Health*, 2001, vol. 36, (3), p. 307–320.
11. ALATON, I.A., BALCIOGLU, I.A., BAHNEMANN, D.W. Advanced oxidation of reactive dyebath effluent: comparison of  $O_3$ ,  $H_2O_2/UV-C$  and  $TiO_2/UV-A$  processes. *Water Research*, 2002, vol. 36, (5), p. 1143–1154.
12. ARSLAN, I. Treatability of a simulated disperse dye-bath by ferrous iron coagulation, ozonation, and ferrous iron-catalyzed ozonation. *Journal of Hazardous Materials*, 2001, vol. 85, p. 229–241.
13. GÜLTEKIN, I., INCE, N.H. Degradation of aryl-azo-naphthol dyes by ultrasound, ozone and their combination: Effect

the ozonation only by 14.2%, while in the case of the basic dye Basic Red 9, the COD value increased [54]. There is no TOC data available for the mentioned dye, whereas for one basic and one disperse dye, the TOC value decreased from 6 to 35%.

## 5 Conclusion

In the 21<sup>st</sup> century, it is becoming clearer and clearer that the ozone is widely applicable, which has been confirmed in different scientific fields by numerous publications [54]. The decolorization effect of the ozone is mostly influenced by: a) initial dye concentration, b) ozone flow c) pH medium, d) decolorization time, e) temperature, f) salt addition (electrolytes) and g) hydrogen peroxide addition in case of the  $H_2O_2/O_3$  process. The advantage of the ozonation and  $H_2O_2/O_3$  process is predominantly the decolorization efficiency (more than 90%) of various dye types and concentrations [31]. Only the COD and TOC removal with both processes ( $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$ ) is limited. During the ozonation process, the COD value lowers on average by 40–60%. The mineralisation, expressed as TOC, is in fact usually incomplete (10–30%); however, the decolorization of direct, acid and basic dyes enables the final oxidation products being more biologically degradable. During the decolorization process, the pH value decreases approximately by two units, and the conductivity increases as a result of the degradation products, predominantly acids. The ozonation in acid or alkaline pH suffices for the decolorization of acid, direct, basic, and disperse dyes, whereas for the removal of reactive and metal-complex dyes, the  $H_2O_2/O_3$  process and alkaline pH is recommended (9–12).

An overview of many existing literature sources has shown numerous advantages of both treatment processes for textile dyebaths and wastewaters. However, at the same time, both processes do have some disadvantages deriving from the chemical diversity within and among individual dye classes. In conclusion, for the most efficient performance of the technological process, an optimisation according to the specific textile dyebath wastewaters is required.

- of  $\alpha$ -substituents. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2006, vol. 13, (3), p. 208–214.
14. HAN, R., ZHANG, S., ZHAO, W., LI, X., JIAN, X. Treating sulfur black dye wastewater with quaternized poly (phthalazine ether sulfone ketone) nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, 2009, vol. 67, (1), p. 26–30.
  15. ALCAINA-MIRANDA, M.I., BARREDO-DAMAS, S., BESPÍÁ, A., IBORRA-CLAR, M.I., IBORRA-CLAR, A., MENDOZA-ROCA, J.A. Nanofiltration as a final step towards textile wastewater reclamation. *Desalination*, 2009, vol. 240, (1–3), p. 290–297.
  16. ZHENG, L., SU, Y., WANG, L., JIANG, Z. Adsorption and recovery of methylene blue from aqueous solution through ultrafiltration technique. *Separation and Purification Technology*, 2009, Article in Press, Accepted Manuscript, Available online 21 May.
  17. TANG C., CHEN V. Nanofiltration of textile wastewater for water reuse. *Desalination*, 2002, vol. 143, (1), p. 11–20.
  18. OGUZ, E., KESKINLER, B. Comparison among  $O_3$ , PAC adsorption,  $O_3/HCO_3^-$ ,  $O_3/H_2O_2$  in  $O_3$ /PAC processes for the removal of Bomaplex Red CR-L dye from aqueous solution. *Dyes and Pigments*, 2007, vol. e 74, (2), p. 329–334.
  19. NEAMTU, M., YEDILER, A., SIMINICEANU, I., MACOV-EANU, M., KETTRUP, A. Decolorization of disperse red 354 azo dye in water by several oxidation processes – a comparative study. *Dyes and Pigments*, 2004, vol. 60, (1), p. 61–68.
  20. AL-KDASI, A., IDRIS, A., SAED, A., GUAN, C.T. Treatment of Textile Wastewater by Advanced oxidation Processes – A Review. *Global nest: the Int. J.*, 2004, vol. 6, (3), p. 226–234.
  21. OGUZ, E., KESKINLER B., ÇELIK, Z. Ozonation of aqueous Bomaplex Red CR-L dye in a semi-batch reactor. *Dyes and Pigments*, 2005, vol. 64, (2), p. 101–108.
  22. KOSNOWA, A.H. Decolorization of wastewater containing direct dye by ozonation in a bubble batch reactor. *Desalination*, 2003, vol. 158, p. 233–240.
  23. SHU, H.Y., CHANG, M.C. Decolorization effect of six azo dyes by  $O_3$ , UV/ $O_3$  and UV/ $H_2O_2$  process. *Dyes and Pigments*, 2005, vol. 65, p. 25–31.
  24. PERKOWSKI, J., LEDAKOWICZ, S. Decomposition of Anthraquinone Dye in the Aqueous Solution by Ozone, Hydrogen Peroxide or UV Radiation. *Fibres and textiles in Eastern Europe*, 2002, p. 72–77.
  25. WU, J., WANG, T. Ozonation of aqueous azo dye in a semi-batch reactor. *Water Research*, 2001, vol. 35, (4), p. 1093–1099.
  26. OGUZ, E., KESKINLER B., ÇELIK, C., ÇELIK, Z. Determination of optimum conditions in the removal of Bomaplex Red CR-L dye from the textile wastewater using  $O_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $HCO_3^-$  and PAC. *Journal of Harzadus Materials*, 2006, vol. 131, (1–3), p. 66–72.

27. PERALTA-ZAMORA, P., KUNZ, A., GOMES DE MORAES, S., PELEGRINI, R., DE CAMPOS MOLEIRO, P., REYES, J., DURAN, N. Degradation of reactive dyes I. A comparative study of ozonation, enzymatic and photochemical processes. *Chemosphere*, 1999, vol. 38, (4), p. 835–852.
28. GOMES DE MORAES, S., FREIRE, R., S., DURAN, N. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation process. *Chemosphere*, 2000, vol. 40, p. 369–373.
29. SHENG, H.L., CHI, M.L. Treatment of textile waste effluents by ozonation and chemical coagulation. *Water Research*, 1993, vol. 27, (1)2, p. 1743–1748.
30. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken (*Uradni list RS*, št. 7/2007).
31. CHU, W., MA, C.W. Quantitative prediction of direct and indirect dye ozonation kinetics. *Wat. Res.*, 2000, vol. 34, no. 12, p. 3153–3160.
32. KURBUS, T., MARCH SLOKAR, Y., MAJCEN LE MARECHAL, A. The study of the effects of the variables on  $H_2O_2$ /UV decoloration of vinylsulphone dye: part II. *Dyes and Pigments*, 2002, vol. 54, p. 67–78.
33. ZHAO, W., SHI, H., WANG, D. Ozonation of Cationic Red X-GRL in aqueous solution: degradation and mechanism. *Chemosphere*, 2004, vol. 57, Issue 9, p. 1189–1199.
34. ROBINSON, T., MCMULLAN, G., MARCHANT, R., NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 2001, vol. 77, (3), p. 247–255.
35. MAJCEN LE MARECHAL, A., MARCH SLOKAR, Y., LOBNIK, A. Nekateri vidiki oporečnosti in testiranja ekoloških parametrov barvil. *Tekstilec*, 1996, let. 39, št. 1-2, str. 4–10.
36. ČVAN, S., GOLOB, V., MAJCEN LE MARECHAL, A. *Ekološki in ekonomski vidiki zmanjšanja onesnaženosti odpadnih vod tekstilne industrije : Magistrsko delo*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2004.
37. SONG, S., YING, H., HE, Z., CHEN, J., Mechanism of decolorization and degradation of CI Direct Red 23 by ozonation combined with sonolysis. *Chemosphere*, 2007, vol. 66, (9), p. 1782–1788.
38. JÓŹWIAK, W.K., MITROS, M., KAŁUŻNA-CZAPLIŃSKA, J., TOSIK, R. Oxidative decomposition of Acid Brown 159 dye in aqueous solution by  $H_2O_2/Fe^{2+}$  and ozone with GC/MS analysis. *Dyes and Pigments*, 2007, vol. 74, (1), p. 9–16.
39. KOCH, M., YEDILER, A., LIENERT, D., INSEL, G., KETRUP, A. Ozonation of hydrolyzed azo dye reactive yellow 84 (CI). *Chemosphere*, 2002, vol. 46, p. 109–113.
40. KURNIK, J., GOBEC, S. Textile Wastewater Treatment Technologies: Wet Oxidation vs. Ozonation. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2003, vol. 33, (4), p. 297–300.



41. COOPER, P. *Colour in Dyehouse effluent*. Bradford : Society of Dyers and Colourists, 1995.
42. SKELLY, J.K. *Water Recycling in Textile Wet Processing*. Bradford : Society of Dyers and Colourists, 2003, p. 50, 83–86, 89–90, 92, 157, 184–185.
43. SHU, H.Y., CHANG, M.C. Pre-ozonation coupled with UV/ $H_2O_2$  process for the decolorization and mineralization of cotton dyeing effluent and synthesized C.I. Direct Black 22 wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, vol. 121, p. 127–133.
44. ANDREOZZI R., CAPRIO V., INSOLA A., MAROTTA, R. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catalysis Today*, 1999, vol. 53, (1), p. 51–59.
45. PERKOWSKI, J., LEDAKOWICZ, S. Decomposition of Anthraquinone Dye in the Aqueous Solution during Advanced Oxidation Processes. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2002, p. 68–72.
46. KOMMINENI, S., ZOECKLER, J., STOCKING, A., LIANG, S., FLORES, A., KAVANAUGH, M. 3.0 *Advanced Oxidation Processes : Literature Review*. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.nwri-usa.org/pdfs/TTChapter3AOPs.pdf>> citirano [5. 6. 2009].
47. CHEN, L.H. Effects of factors and interacted factors on the optimal decolorization process of methyl orange by ozone. *Water Research*, 2000, vol. 34, (3), p. 974–982.
48. LACKEY, L.W., MINES, R.O.JR., MCCREANOR, P.T., Ozonation of acid yellow 17 dye in a semi-batch bubble column. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, vol. 138, (2), 16, p. 357–362.
49. FAOUZI, M., CAÑIZARES, P., GADRI, A., LOBATO, J., NASR, B., PAZ, R., RODRIGO, M.A., SAEZ, C., Advanced oxidation processes for the treatment of wastes polluted with azoic dyes. *Electrochimica Acta*, 2006, vol. 52, (1), p. 325–331.
50. SHU, HY. Degradation of dyehouse effluent containing C. I. Direct Blue 199 by proces of ozonation, UV/ $H_2O_2$  and in sequence of ozonation with UV/ $H_2O_2$ . *Journal of Hazardous Materials*, 2006, vol. 133, (1–3), p. 92–98.
51. SUNDRARAJAN, M., VISHNU, G., JOSEPH, K. Ozonation of light-shaded exhausted reactive dye bath for reuse. *Dyes and Pigments*, 2007, vol. 75, (2), p. 273–278.
52. MUTHUKUMAR, M., SARGUNAMANI, D., SENTHILKUMAR, M., SELVAKUMAR, N. Studies on decolouration, toxicity and the possibility for recycling of acid dye effluents using ozone treatment. *Dyes and Pigments*, 2005, vol. 64, p. 39–44.
53. CIARDELLI, G., RAINERI, N. The treatment and reuse of wastewater in the textile industry by means of ozonation and electroflocculation. *Wat. Res.*, 2001, vol. 35, (2), p. 567–572.
54. DE O. MARTINS, A., CANALLI, V.M., AZEVEDO C.M.N, PIRES, M. Degradation of pararosaniline (C.I. Basic Red 9 monohydrochloride) dye by ozonation and sonolysis. *Dyes and Pigments*, 2005, vol. 68, (2–3), p. 227–234.

55. ARSLAN, I., BALCIOGLU, I.A. Effect of common reactive dye auxiliaries on ozonation of dyehouse effluents containing vinylsulphone and aminochlorotriazine dyes. *Desalination*, 2000, vol. 130, p. 61–71.
56. ARSLAN-ALATON, I. The effect of pre-ozonation on the biocompatibility of reactive dye hydrolysates. *Chemosphere*, 2003, vol. 51, p. 825–833.
57. SARAYU, K., SWAMINATHAN, K., SANDHYA, S. Assessment of degradation of eight commercial reactive azo dyes individually and in mixture in aqueous solution by ozonation. *Dyes and Pigments*, 2007, vol. 75, (2), p. 362–368.
58. GÜL, Ş., ÖZCAN, Ö., ERBATUR, O. Ozonation of C.I. Reactive Red 194 and C.I. Reactive Yellow 145 in aqueous solution in the presence of granular activated. *Dyes and Pigments*, 2007, vol. 75, (2), p. 426–431.
59. HASSAN, M., MD, HAWKYARD, C.J. Ferral-catalyzed ozonation of aqueous dyes in a bubble-column reactor. *Catalysis Communications*, 2002, vol. 3, p. 281–286.
60. RICE, R.G. Century 21 – Pregnant with Ozone. *Ozone Science and Engineering*, 2002, vol. 24, p. 1–15.
61. Wastewater Technology Fact Sheet: Ozone Disinfection, Adapted from Crites and Tchobanoglous, EPA 832-F-99-063: 1999.
62. GÖKÇEN, F., ÖZBELGE, T.A. Pre-ozonation of aqueous azo dye (Acid Red-151) followed by activated sludge process. *Chemical Engineering Journal*, 2006, vol. 123, (3), p. 109–115.
63. SZPYRKOWICZ, L., JUZZOLINO, C., KAUL, S.N. Comparative study on oxidation of disperse dyes by electrochemical process, ozone, hypochlorite and fenton reagent. *Water Research*, 2001, vol. 35, (9), p. 2129–2136.
64. 2. THE OZONE. Dostopno na svetovnem spletu: <[http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UB/AVAILABLE/TDX-0311103-135423/TOL167B.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UB/AVAILABLE/TDX-0311103-135423/TOL167B.pdf)> citirano [2. 2. 2007].
65. DOMÍNGUEZ, J., R., BELTRAN, J., RODRIGUEZ, O. Vis and UV photocatalytic detoxification methods (using  $TiO_2$ ,  $TiO_2/H_2O_2$ ,  $TiO_2/O_3$ ,  $TiO_2/S_2O_8^{2-}$ ,  $O_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $S_2O_8^{2-}$ ,  $Fe^{3+}/H_2O_2$  and  $Fe^{3+}/H_2O_2/C_2O_4^{2-}$ ) for dyes treatment. *Catalysis Today*, 2005, vol. 101, (3–4), p. 389–395.
66. MUTHUKUMAR, M., SARGUNAMANI, D., SELVAKUMAR, N., VENKATA RAO, J. Optimisation of ozone treatment for colour and COD removal of acid dye effluent using central composite design experiment. *Dyes and Pigments*, 2004, vol. 63, p. 127–134.
67. INCE, N.H., TEZCANLI, G. Reactive dyestuff degradation by combined sonolysis and ozonation. *Dyes and Pigments*, 2001, vol. 49, p. 145–153.
68. WU, C.-H., NG, H.-Y. Degradation of C.I. Reactive Red 2 (RR2) using ozone-based systems: Comparisons of decolorization efficiency and power consumption. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, vol. 152, (1), p. 120–127.

69. WU, J., DOAN, H., UPRETI, S. Decolorization of aqueous textile reactive dye by ozone. *Chemical Engineering Journal*, 2008, vol. 142, (2), p. 156–160.
70. GUTOWSKA, A., KAŁUŻNA-CZAPLIŃSKA, J., JÓŹWIĄK, W.K. Degradation mechanism of Reactive Orange 113 dye by  $H_2O_2/Fe^{2+}$  and ozone in aqueous solution. *Dyes and Pigments*, 2007, vol. 74, (1), p. 41–46.
71. KURBUS, T., MAJCEN LE MARECHAL, A., BRODNJAK VONČINA, D. Comparison of  $H_2O_2/UV$ ,  $H_2O_2/O_3$  and  $H_2O_2/Fe^{2+}$  processes for the decolorisation of vinylsulphone reactive dyes. *Dyes and Pigments*, 2003, vol. 58, (3), p. 245–252.
72. MUTHUKUMAR, M., SELVAKUMAR, N. Studies on the effect of inorganic salts on decolouration of acid dye effluents by ozonation. *Dyes and Pigments*, 2004, vol. 62, p. 221–228.
73. ÖZBELGE, T.A., EROL, F., ÖNDER, ÖZBELGE, H. A Kinetic Study on the Decolorization of Aqueous Solutions of Acid Red-151 by Ozonation. *Journal of environmental science and health*, 2003, vol. 38, (8), p. 1597–1614.
74. SILVA, A. C., PIC, J. S., SANT'ANNA, G. L. JR., DEZOTTI, M. Ozonation of azo dyes (Orange II and Acid Red 27) in saline media. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, Article In Press, Corrected Proof, Available online 19 April.
75. PACHHADE, K., SANDHYA, S., SWAMINATHAN, K. Ozonation of reactive dye, Procion red MX-5B catalyzed by metal ions. *Journal of Hazardous Materials*, Article In Press, Corrected Proof, Available online 10 January 2009.
76. BAUMAN, M., LOBNIK A., HRIBERNIK, A. Decolourization and modelling of synthetic waste-water by  $O_3$  and  $H_2O_2/O_3$  process. *Executive summaries v Oxidation technologies for water and wastewater treatment / 5th IWA Specialist Conference, 10th IOA-EA3G Berlin Conference*, March 30 - April 2, 2009 (AOP5), Berlin, Nemčija, v *CUTEC-Serial publication no. 72*. 1<sup>st</sup> ed. CUTEC Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld, 2009, USB ključ, str. 8.
77. BAUMAN, M. HRIBERNIK, A., LOBNIK, A. *Načrtovanje in analiza poskusov pri kemijski obdelavi obarvanih odpadnih vod : Magistrsko delo*. Maribor : Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2007.
78. TURHAN, K., TURGUT, Z. Decolorization of direct dye in textile wastewater by ozonation in a semi-batch bubble column reactor. *Desalination*, 2009, vol. 242, (1–3), p. 256–263.
79. OGUZ, E., KESKINLER, B. Removal of colour and COD from synthetic textile wastewaters using  $O_3$ , PAC,  $H_2O_2$  and  $HCO_3^-$ . *Journal of Hazardous Materials*, 2008, vol. 151, (2–3), p. 753–760.

## Raziskava kompaktnega predenja za preje iz regenerirane celuloze in sintetične preje

Original Scientific Paper  
Received April 2009 • Accepted June 2009

### Izvleček

V tej raziskavi smo primerjalno proučevali fizikalne lastnosti kompaktnih in klasičnih predivnih prej. Za ta namen smo izdelali kompaktne in klasične prstanske preje v treh debelinah niti in s tremi stopnjami vitja. Kot surovino smo uporabili stenj iz 100 % modala, 100 % poliestra, 100 % tencela in 100 % viskoze.

Rezultati raziskave se pokazali, da so kompaktne preje v primerjavi s klasičnimi prstanskimi prejami manj kosmate, trdnjše in imajo višje vrednosti razteznega razmerja.

Razlike v kosmatosti in nateznih lastnostih med kompaktnimi in klasičnimi prstanskimi prejami so odvisne od surovine, uporabljene v postopku predenja. Z mehanskim kompaktnim predenjem se izboljšajo kakovostne lastnosti prej, ki se bolje predejo z viskoznimi štapelnimi vlakni kot z drugimi surovinami, ki smo jih uporabili v raziskavi.

*Ključne besede:* mehansko kompaktno predenje, klasično prstansko predenje, modal, tencel, poliester, viskoza, fizikalne lastnosti preje

---

Vodilni avtor/corresponding author:  
Sevda Atlas  
tel.: +90 232 388 01 10  
e-mail: sevda.atlas@ege.edu.tr

---

Sevda Altas<sup>1</sup>, Hüseyin Kadoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tire Kutsan Vocational Training School, Ege University, Izmir, Turkey

<sup>2</sup> Textile Engineering Department, Ege University, Izmir, Turkey

## Compact Spinning Research for Regenerated Cellulose and Synthetic Yarns

*Izvorni znanstveni članek*

Poslano april 2009 • Sprejeto junij 2009

### Abstract

This study is a comparative study of physical properties of compact and conventional spun yarns. For this aim, compact and conventional ring yarns were produced at three yarn counts having three-twist levels. 100% modal, 100% polyester, 100% tencel and 100% viscose rovings were used as raw materials in the study.

The results showed that compact yarns have less hairiness, higher strength and higher elongation ratio values than conventional ring yarns.

The differences in hairiness and tensile properties between compact and conventional ring yarns depend on the raw material used in spinning. Mechanical compact spinning improves the quality properties of yarns, which spun with viscose staple fibres better than other raw materials used in the study.

**Keywords:** mechanical compact spinning, conventional ring spinning, modal, tencel, polyester, viscose, yarn physical properties

### 1 Introduction

In conventional ring spinning, the zone between the nip line of the pair of delivery rollers and the twisted end of yarn is called the 'spinning triangle'. This represents the most critical part of the ring spinning system due to the critical weak spot of the ring spinning process. In this zone, the fibre assembly contains no twist. The edge fibres play out from this zone and make little or no contribution to the yarn tenacity. Furthermore, the edge fibres lead to the familiar problem of yarn hairiness [1].

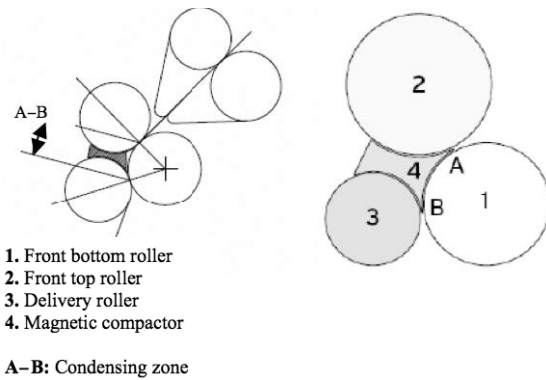


Figure 1: RoCos mechanical compact spinning principle

In compact spinning, the 'spinning triangle' is eliminated and almost all fibres are incorporated into the yarn structure under the same tension. This results in increased tenacity, as more fibres contribute to yarn tenacity, and leads to significant advantages, e.g. increasing yarn tenacity, yarn abrasion resistance and reducing yarn hairiness [2, 3].

There are different compact spinning systems in the market from different manufacturers. The main difference among these manufacturers is the condensing system. In most cases, the pneumatic compacting system is used via the perforated drums or lattice aprons over the openings of suction slots. Following the air flow, the fibres move sideways and they are consequently condensed. Nowadays, this method is widely used in compact yarn production. However, the adaptation of this system to conventional ring spinning machine is very complex and expensive. In addition, the energy consumption in the spinning process is very high. Mechanical compact spinning is an important alternative to compact yarn production. The system is cheaper and less complicated than pneumatic yarn compacting systems. Furthermore, there is no

energy consumption whatsoever in the spinning process [4].

The mechanical compact spinning system which was used in the production of compact yarns for the purpose of this study is a design of Rotorcraft Company. In RoCoS compact spinning, compact yarn is produced by adding positive nip at the end of the drafting unit. The condenser is held against the bottom front drafting roller by means of a magnet. The operation brings the fibres closer and eliminates the spinning triangle [5, 6]. The view of the RoCoS mechanical compact spinning principle is given in Figure 1.

According to previous researches, mechanical compact spinning significantly improves the yarn tensile properties and reduces its hairiness [7, 8]. Numerous studies have been conducted so far concerning the compact spinning of cotton yarns. However, there are very few studies on compact spinning of 100% regenerated and 100% synthetic fibres. Consequently, in this study, we wanted to examine the effect of a compact yarn spinning system with the raw materials mentioned earlier.

## 2 Experimental

### 2.1 Yarn samples production

In the experimental part of the study, 100% modal, 100% polyester, 100% tencel and 100% viscose rovings were collected from several spinning mills located in Bursa and Kayseri. The physical properties of raw materials used in the study are given in Table 1.

The linear densities of the compact and conventional ring yarns were 29.53 Tex (Ne 20), 19.68 Tex (Ne 30) and 14.76 Tex (Ne 40). For each yarn count, twist multipliers were chosen as follows:  $\alpha_e$  3.4,  $\alpha_e$  3.8 and  $\alpha_e$  4.2. During the compact and convention-

Table 1: Raw material physical properties

Raw material	Roving linear density	Roving twist (turn/mt)	Fiber length (mm)	Fiber fineness
Modal	573 tex	28	38 mm	1.3 dtex
Polyester	573 tex	25.6	40 mm	1.3 dtex
Tencel	573 tex	28	38 mm	1.4 dtex
Viscose	596 tex	32	35.4 mm	1.58 dtex

Table 2: Experimental plan and yarn spinning set parameters

Technological/machine parameters	Yarn linear density								
	29.53 Tex (Ne 20)			19.68 Tex (Ne 30)			14.76 Tex (Ne 40)		
Ring yarn type	conventional & compact			conventional & compact			conventional & compact		
Twist coefficient ( $\alpha_e$ )	3.4	3.8	4.2	3.4	3.8	4.2	3.4	3.8	4.2
Twists (turns/m)	602	667	735	735	818	902	838	947	1044
Spindle speed (rpm)	10.000			10.000			10.000		
Ring type	Orbit			Orbit			Orbit		
Ring diameter (mm)	42			42			42		
Traveller type (ISO No)	80			45			35.5		
Design and finishing treatment	SFB 2 Pm dr Saphir			SFB 2 Pm dr Saphir			SFB 2 Pm udr Saphir		
Cradle spacer thickness (mm)	3.75			3.25			2.75		
Cradle spacer colour	Cream			Yellow			Grey		

al spinning, the same rovings and the same spindles were used in order to eliminate any possible effect of roving and spindle on yarn quality properties.

It should be taken into consideration that the purpose of the study was a comparison of mechanical compact spun yarn and conventional spun yarn properties; therefore, the selected set of parameters of compact and conventional yarn spinning remained constant throughout the study.

The production of ring and compact yarns was conducted with Rieter G30 ring spinning machine in the Textile & Apparel Research and Application Centre at the Ege University. The experimental plan and the set parameters of compact and spinning systems are given in Table 2.

After a proper conditioning (65% relative humidity, 20°C), all yarn samples were tested for single-end tensile properties with Uster<sup>®</sup> Tester 5 (UT5) and Uster<sup>®</sup> Tensorapid. We tested 10 bobbins with 400 m per bobbin on the evenness tester and 5 bobbins with 100 individual breaks per bobbin on the tensile tester.

The results obtained from the laboratory testing of yarn samples were statistically evaluated with the Factorial ANOVA method by using the SPSS statistical pocket program with the 0.05 significance level. We observed the main effect of the spinning

system, the interaction effect of the spinning system & yarn linear density, and the interaction effect of the spinning system & twist multipliers on yarn quality. In some cases, despite the interaction effect of the spinning system & yarn linear density and the interaction effect of spinning system & twist multipliers being significant, the effect is irregular and the trend is too unclear to accept the presence of any meaningful effect. In consequence, this paper includes explanations only when the interaction effect had a regular trend on yarn quality.

### 3 Results and discussion

Table 3 represents the statistical results of the main effect of the spinning system, the interaction effect of the spinning system and the yarn linear density, and the interaction effect of the spinning system and twist. Based on the analysis results, the following conclusions can be drawn:

#### 3.1 Yarn evenness results

Statistically-wise, the data analysis of all yarns indicated that the effect of the yarn spinning system on the evenness is significant for polyester and vis-

Table 3: F and significant analysis values

Compared pairs	Yarn property	Raw material type							
		Modal		Polyester		Tencel		Viscose	
		F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Spinning system	CVm (%)	1.84	.176	48.19	.000*	0,06	.797	7.08	.009*
	Thin place	1.23	.267	0.09	.755	0.78	.378	0.83	.363
	Thick place	11.60	.001*	7.09	.008*	13.33	.000*	12.31	.001*
	Neps	44.28	.000*	31.75	.000*	62.59	.000*	15.57	.000*
	Hairiness	101.72	.000*	0.94	.333	52.63	.000*	326.06	.000*
	Tenacity	14.36	.000*	146.29	.000*	0.06	.801	1.92	.000*
	Elongation	2.06	.155	138.33	.000*	0.34	.560	31.26	.000*
Spinning system* yarn linear density	CVm (%)	4.05	.019*	3.40	.035*	4.69	.010*	18.6	.000*
	Thin place	1.84	.161	0.22	.797	0.54	.584	1.64	.196
	Thick place	8.54	.000*	6.91	.001*	19.77	.000*	8.73	.000*
	Neps	20.30	.000*	41.03	.000*	47.58	.000*	9.72	.000*
	Hairiness	1.14	.320	2.95	.055	9.54	.000*	0.30	.738
	Tenacity	6.59	.002*	17.32	.000*	0.75	.472	8.29	.001*
	Elongation	6.79	.002*	6.49	.002*	4.08	.020*	0.95	.390
Spinning system* twist	CVm (%)	0.053	.948	1.59	.207	1.15	.317	11.90	.000*
	Thin place	2.30	.103	1.58	.207	0.38	.685	1.51	.222
	Thick place	2.85	.060	1.75	.177	13.48	.000*	3.34	.038*
	Neps	11.52	.000*	0.56	.569	16.79	.000*	3.70	.027*
	Hairiness	5.48	.005*	0.65	.520	0.186	.830	3.97	.021*
	Tenacity	7.49	.001*	0.12	.884	1.04	.356	7.99	.001*
	Elongation	1.87	.160	1.84	.164	4.60	.013*	0.447	.641

cose yarns. In contrast, for tencel and modal yarns, there is no significant difference between the evenness values of compact and conventional ring yarns produced from them.

The mechanical compact spinning system improves the evenness property of polyester yarns. The evenness values of polyester compact yarns are lower than the evenness values of conventional spun polyester yarns.

The effect of the compact spinning system on the viscose yarn evenness property changes according to the yarn linear density. The 29.53 tex compact yarns have higher evenness than conventional ring yarns. On the other hand, the 19.68 tex and 14.76 tex compact yarns have lower evenness values than conventional ring yarns. The latter could be explained through the control of fibres in the compacting area for coarser yarns, which is smaller.

### 3.2 Yarn imperfection results

There is no significant difference between the number of thin places of modal, polyester, tencel and viscose compact and conventional ring yarns.

The effect of the yarn spinning system on the number of thick places and neps of modal, polyester, tencel and viscose compact yarns is statistically significant. Compact yarns have fewer thick places and neps values than conventional ring yarns.

The effect of the interaction between the yarn linear density and the spinning system is significant for thick places and neps values of tencel yarns. While 29.53 tex and 19.68 tex compact yarns have higher thick places, 14.76 tex compact yarns have lower thick places than conventional ring yarns. The situation is similar for neps values of tencel yarns. While 29.53 tex compact yarns have higher neps values, 19.68 tex and 14.76 tex compact yarns have lower neps values than conventional ring yarns. As explained above, this result could be a consequence of a smaller control of fibres in the compacting area for coarser yarns.

The effect of the interaction between the spinning system and yarn linear density is significant for the neps values of polyester yarns. While 29.53 tex and 19.68 tex compact yarns have higher neps values, 14.76 tex compact polyester yarns have lower neps values than conventional ring yarns.

### 3.3 Yarn hairiness results

The hairiness values of modal, tencel and viscose compact yarns are significantly lower than the hairiness values of conventional ring yarns. However, no significant difference between the polyester compact and conventional ring yarns could be observed. The reason might be the better physical and mechanical properties of polyester and its greater bending rigidity, which reduces the fibre condensing effect [9].

The hairiness difference between the compact and conventional ring yarns are as follows: for modal yarns 4–44%, for tencel yarns 2–10% and for viscose yarns 12–20%.

For tencel yarns, the hairiness difference between the compact and conventional ring yarns increases as the yarn linear density increases.

For modal and viscose yarns, the hairiness difference between the compact and conventional ring yarns increases as the yarn twist multiplier decreases.

### 3.4 Yarn tenacity and elongation ratio results

The tenacity values of modal, polyester and viscose compact yarns are significantly higher than the conventional ring yarns. We could not find any significant difference between the compact and conventional ring yarns spun with tencel yarns.

The tenacity difference between the ring and compact yarns are as follows: for modal yarns 5–13%, for polyester yarns 1–9% and for viscose yarns 2–8%.

For modal yarns, the tenacity difference between the compact and conventional ring yarns increases as the yarn linear density decreases.

The elongation ratio values of polyester and viscose compact yarns are significantly higher than the conventional ring yarns. However, no difference for compact and conventional ring yarns spun with modal and tencel fibres could be found.

## 4 Conclusions

The hairiness values of modal, tencel and viscose compact spun yarns are significantly lower than the conventional spun yarns. On the other hand, there is no significant difference between yarn hairiness of conventional and compact spun polyester yarns. The reason might be the better physical and mechanical properties of polyester and its greater bending rigidity, which reduces the fibre condensing effect.

Due to the elimination of the spinning triangle in the compact yarn spinning system, the fly decreases and more fibres contribute to the yarn structure. Consequently, compact yarns have higher tenacity than conventional ring yarns.

The effect of the mechanical compact spinning on the improvement of yarn quality properties depends on the raw material used in the spinning. The best results are obtained in the compact spinning of viscose. It appears that the advantages of the compact spinning system are more noticeable when a fibre is shorter in length.

## 5 References

1. ÖMEROĞLU, S., ÜLKÜ, S., An Investigation about Tensile Strength, Pilling and Abrasion



- Properties of Woven Fabrics Made from Conventional and Compact Ring-Spun Yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2007, 15(1), pp. 39–42.
2. KAMPEN, W., The Advantages of Condensed Spinning. *Melliand English*, 2000, 4, pp. 58–59.
  3. CHENG, K.P.S. YU, C., A Study of Compact Spun Yarns. *Textile Research Journal*, 2003, No 4, pp. 345–349.
  4. JAYAVARTHANAVELU, D., Compact Spinning System-Lakshmi RoCoS 1.14. *Technical Newsletter Textile Machinery Division*, 2006, pp. 12, 2–4.
  5. STAHLLECKER, H., RoCoS Rotorcraft Compact Spinning. *Rotorcraft Technical Brochure*, 2005, pp. 1–8.
  6. JOSEPH, K., Rotorcraft'tan RoCoS Ring İplik Makineleri için Kolayca Takılabilen Kompakt İplik Eğirme Sistemi. *XI. International Izmir Textile & Apparel Symposium*, Çeşme, 2007, pp. 1–14.
  7. S. GANESAN, A. VENKATACHALAM, V. SUBRAMANIAM, Fibre Migration in Compact Spun Yarns: Part II – Mechanical Compact Yarn. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2007, 32, pp. 169–172.
  8. BECEREN, Y., NERGİS, B., U., Spinning Systems on Yarn and Knitted Fabric Performance Comparison of the Effects of Cotton Yarns Produced by New, Modified and Conventional. *Textile Research Journal*, 2008, 78(4), pp. 297–303.
  9. NIKOLIC, M, STJEPANOVIC, Z., LESJAK, F., ŠTRITOF A., Compact Spinning for Improved Quality of Ring-Spun Yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2003, 11(4), pp. 30–35.

Tatjana Rijavec, Vili Bukošek  
 Oddelek za tekstilstvo, Naravoslovnotehniška  
 fakulteta, Univerza v Ljubljani

## Nova vlakna za 21. stoletje

### Povzetek

Članek obravnava najvidnejše razvojne dosežke na področju vlaken v zadnjih nekaj letih: nanovlakna, kemično pajkovo svilo, gensko spremenjen bombaž, vlakna iz polimlečne kisline, inteligentna vlakna, vlakna z negativnim Poissonovim številom, sojina vlakna, vlakna iz ptičjega perja in nova poliestrska vlakna z latentno elastičnostjo.

*Ključne besede:* nanovlakna, kemična pajkova svila, BioSteel, Bt bombaž, polimlečna kislina, PLA, sojina vlakna, vlakna iz ptičjega perja, optična vlakna, vlakna z negativnim Poissonovim številom, Corterra, Sorona, Securus, polibutilen tereftalat, PBT, politrimetilen tereftalat, PTT, triexta, elasterell-p, elastomultiester

---

Vodilni avtor/corresponding author:  
**dr. Tatjana Rijavec**  
 tel.: +386 1 200 32 24  
 e-mail: tatjana.rijavec@ntf.uni-lj.si

---

## Novel Fibres for the 21<sup>st</sup> Century\*

### Abstract

The paper deals with the most prominent advances in the field of fibres in the last few years: nanofibres, man-made spider silk, genetically altered cotton (Bt-cotton), polylactide (PLA) fibres, intelligent fibres, auxetic fibres (negative Poisson's number fibres), soybean fibres, feather fibres, and new polyester fibres with latent elasticity.

*Keywords:* nanofibres, man-made spider silk, BioSteel, Bt-cotton, polylactide (PLA) fibres, soybean fibres, feather fibres, optical fibres, auxetic fibres, Corterra, Sorona, Securus, polybutylene terephthalate, PBT, polytrimethylene terephthalate, PTT, triexta, elasterell-p, elastomultiester

### 1 Introduction

The development of novel fibres and enhancement of existing ones in the last decade are based on novel technologies ranging from genetic engineering, biotechnology, nanotechnology to the microelectronics and informatics which together with the interdisciplinary approach to the science (Figure 1) create the opportunities for fibres with new potentials. First fibres produced by using novel technologies have been developed and some of them are already commercially available, such as nanofibres from various raw materials, genetically altered natural fibres (Bt-cotton), man-made fi-

---

\* The paper was first published in *Tekstilec* in the Slovenian language in vol. 47, 2004, no. 1/2, p. 13–25. However, according to fiber development in the last years, the authors have changed only some data.

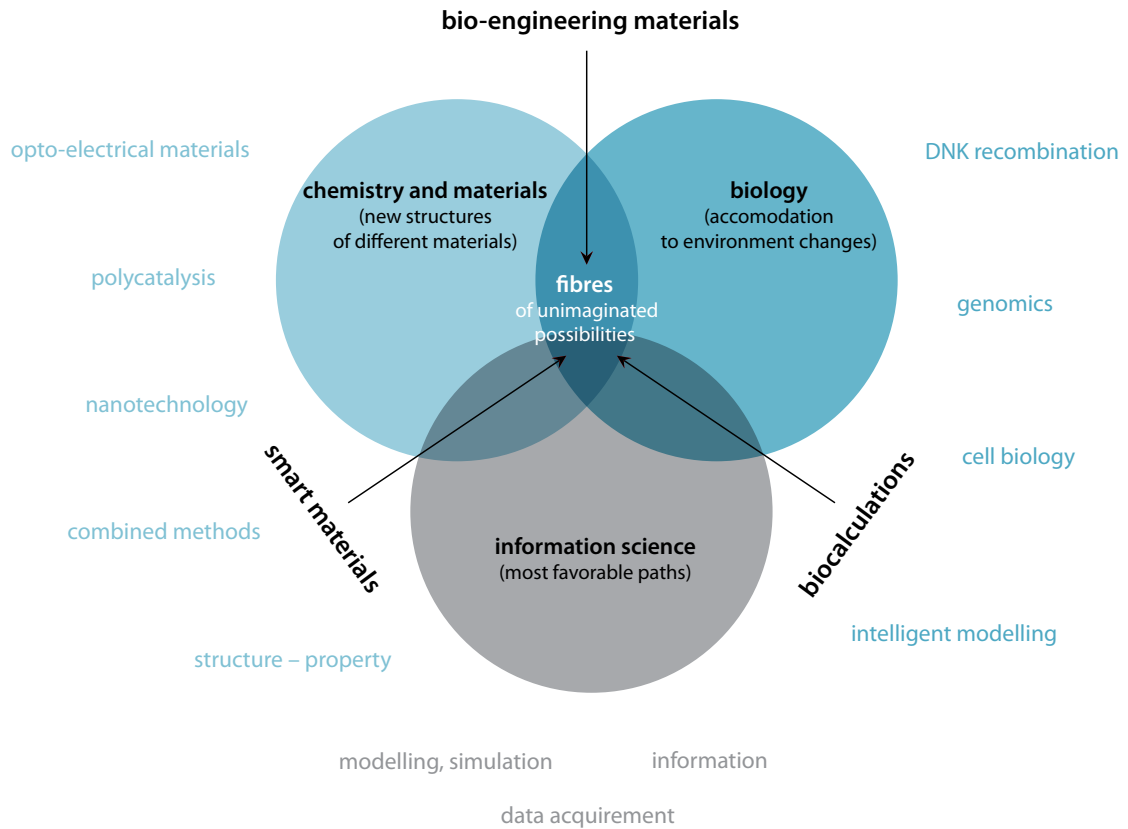


Figure 1: Interdisciplinarity of science will enable development of new fibres

bres made from naturally renewable raw materials (fibres from polytrimethylene terephthalate and polylactic acid, intelligent fibres, auxetic fibres (fibres with negative Poisson's number), etc. Novel technologies bring the opportunity to use by-products of some other industries, e.g. food industry, as the raw material for novel fibres (soybean fibres, feather fibres).

## 2 Nanofibres

Nanotechnology is a sophisticated technology, which will substantially affect the development of the entire textile technology as well as the type and applicability of products in the future. As expected, it will pave the way for more energy-saving, more efficient and cleaner textile industry. The impact and use of nanotechnology will be especially high in the production of fibres and dyestuffs. With completely new surface treatment processes, nanotechnology will impart multifunctionality to textiles by

combining various properties, such as water repellency, antibacterial protection, mould protection, applicability for sensors and camouflage purposes, etc.

It is expected that the global market for nanofibres should reach US \$ 176 million in 2012 and grow to US\$ 825 million by 2017, according to BBC Research report [1].

Nanofibres [2, 3, 4] are ultra fine fibres with a diameter less than 100 to few 10 nanometres. The finest microfibrils produced so far are only few micrometres in diameter; their fineness can be compared with that of degummed pure silk. The diameter of conventional fibres, e.g. cotton, wool and many other natural and man-made fibres, is from 10 to few 100 micrometres. Such extremely fine nanofibres excel in specific surface area, flexibility and tensile strength. These properties can be efficiently utilized for filtration, in biomedicine, for protective textiles, sails, nanocomposites and in the field of electronics and optics. By using nanofibres, it will be possible to develop materials which will be up to 10 times

stronger and more durable than steel with the same weight.

Nanofibres are usually produced by electrospinning (Figures 2 and 3), which is a cost-effective and simple method. Polymer liquid (solution or melt) in a syringe is exposed to high voltage. As soon as the voltage of polymer liquid is high enough to overpass the liquid's surface tension, a metallic nozzle or pipette ejects a liquid jet toward a metallic collector, which is the electrode of opposite charge and where the jet disperses into a multitude of fine and extra fine fibres. During the travel, the charged liquid jet undergoes bending and elongational deformations. The result is the thinning of fibres into fine fibres of nanometric crosswise dimensions. In order to be able to produce nanofibres of good quality with constant diameter and with even and smooth surface, it is necessary to optimise technological parameters, which means to choose suitable polymers (all polymers are not suitable for electrospinning of nanofibres), and optimal concentration and temperature of spinning liquid and voltage. Provided that suitable technological parameters have been selected, it is possible to directly produce porous fibres by electrospinning.

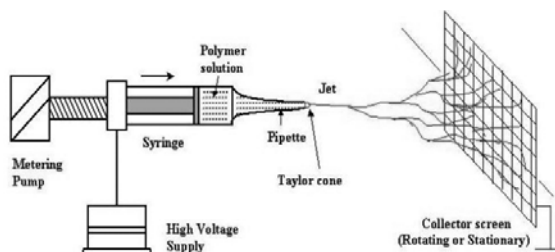


Figure 2: Scheme of electrospinning procedure



Figure 3: Direct depositing of nanofibres on the surface of a garment with an electrospinning process

The electrospinning technique can be also used for the production of nanofibres from polymers, which are soluble in volatile solvents, as well as from polymer melts. The morphology and properties of nanofibres, produced in this way, substantially differ from those of microfibrils and conventional fibres. Due to their large specific surface area, low density and high porosity, nanofibres are very interesting for textile purposes. They surpass properties of microfibrils, such as wind and water proofness.

Toray Industries Inc. from Tokyo has developed a polyamide nanofilament yarn Miramatte with total mass per unit length 44 dtex, containing more than 1.4 million nanofilaments with the fineness of individual filaments about 3 ntex and the diameter of individual fibres 20–200 nm. By using these fibres, Toray has manufactured a polyamide textile material with more than 1000 times larger surface area than that achieved by using conventional polyamide fibres. This novel textile material has outstanding capacity of absorbing unpleasant odours and 2–3 times higher capacity of absorbing moisture than standard polyamide textile materials, even higher than cotton! The fact, which is also very important, is that nanopolyamide fibres have high capacity of absorbing moisture on their outer surface (1000 higher than conventional polyamide fibres that practically bind the entire moisture in their interior). The ratio of the moisture bound on the surface to the moisture bound inside fibres is 1/1000 for polyamide fibres.

Miramatte fibres, which contain 3 times higher content of added inorganic particles than standard polyamide fibres, are opaque and impermeable for UV light, and are therefore suitable for the manufacture of thin fabrics. Inorganic particles are not arranged only in the interior of fibres, but also on their surface, which imparts them a special uneven surface with a characteristic touch similar to that of fine bird's feathers. The fibres will be used for clothing and various types of filters[5].

Based on the novel patented technology for the speciality fibres production, Toray will research the possibilities of producing nanofilament yarns from polyester (PES), polypropylene (PP) and new polymers, such as polylactic acid (PLA) by controlling nanostructure, i.e. molecular orientation at a nanoscale level, through optimisation of flow conditions [6].

Cellulose nanofibres for industrial nonwovens suitable for dry and wet filtration, for protective cloth-

ing, for agricultural products, such as pesticide and fertilizer absorbents, as well as for biodegradable composites are developed at the Cornell University in the USA. Novel cellulose solvents provide the possibility to produce high-strength nanofibres with the diameter less than 100 nm by using the electrospinning method; even wastes from cotton spinning mills can be used as raw material [7, 8].

Application of nanofibres on textile materials, the so-called nanocoating technique, makes such textile materials 100% waterproof. By applying nanofibres (nanowiskers) on cotton and synthetic materials, the American company Nano-Tex succeeded in making the materials water- and oil-repellent and at the same time steam-permeable, abrasion resistant and crease resistant. The textile material is dipped into the aqueous solution of nanofibres, which adhere to the material. An air cushion, which is formed above the flocked nanofibres surface, repels water and other liquid impurities. The mechanism is similar to that simulating water repellence by the geese plumage surface [9].

Carbon nanofibres are important for many various fields of application, such as filtration, composites, protective clothing, etc. The touch of carbon nanofibres is similar to that of cotton fibres only that their colour is black. Carbon nanofibres can be even more than 100 times stronger than steel. The invention of the hollow carbon nanofibres (nanotubes) production process (Figure 4) in 1991 prompted the development of carbon nanofibres. Nanotubes are used as fillers in composites to enhance their mechanical properties, for electrical cables, heat cables as well as for strong hook-and-loop fasteners (Velcro) (Figure 5) [10]. Nanotubes are extremely fine fibres with outstanding mechanical properties, high electrical and thermal conductivity, and chemical stability, which is the result of their chemical com-

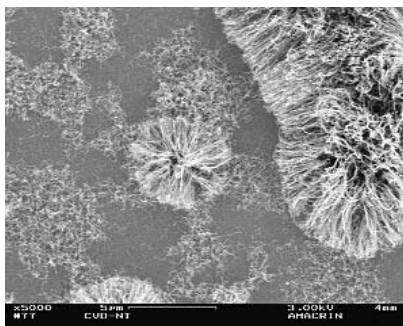


Figure 4: Fibres from hollow carbon nanotubes

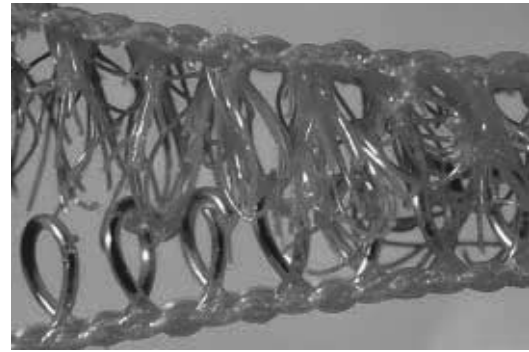


Figure 5: Touch and close fasteners from nanofibres

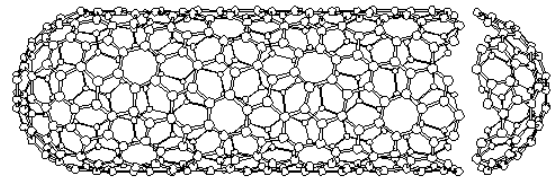


Figure 6: Structure of hollow carbon nanotube

position and perfect hexagonal arrangement of covalently bonded carbon atoms. Carbon atoms are arranged in concentrically shaped graphite layers (Figure 6).

### 3 Development of fibres by using genetic engineering

#### 3.1 Genetically altered cotton

In the 80s of the previous century the American multinational corporation Monsanto began to develop cotton, which was supposed to be pest-resistant, by using genetic engineering [11] (Figure 7). Genetically altered cotton, i.e. Bollgard cotton or Bt cotton, was created by injecting the cry-1Ac gene insecticidal protein isolated from a bacterium *Bacillus thuringiensis* into cotton seeds to give them enhanced resistance to pests. *Bacillus thuringiensis* is a gram-positive aerobic soil-dwelling bacterium, which is capable of producing four types of toxins in a crystal proteinaceous form among which the most important is  $\delta$ -endotoxin. In the USA, *Bacillus thuringiensis* was registered as a microbial pesticide in 1961. The development of genetic engineering created the opportunity to isolate an active gene and to transfer its sequences into the genetic material of some other organism, even cotton. Genetically altered cot-

ton contains the cry1Ac gene in its genome and is therefore capable of producing its own crystal toxic protein. When a bollworm attacks cotton plant and consumes any of its parts, it also swallows the mentioned toxin, which causes its death. Toxin is non-toxic to bees, neuropterans and ladybirds. It protects cotton plants from specific species of caterpillars, but not from leaf lice.

50% lower amount of pesticides required for cultivation of Bt cotton means lower pollution of soil, water and air. In the long term, lower consumption of pesticides will appease allergic reactions of farmers [12]. The Bt cotton yield is by approximately 10–15% to even 25–30% higher than that of non-Bt cotton with the same hybrid.

As a result of lower need for pesticides and higher yield, Bt cotton has been widely accepted by farmers [13,14]. Since 1996 it has been planted in the USA, Argentina, Australia, China, Mexico and South Africa. The world share of Bt cotton-growing area was as low as 12% in 1996, 23% in 1998, and already as high as 39% in 2000.

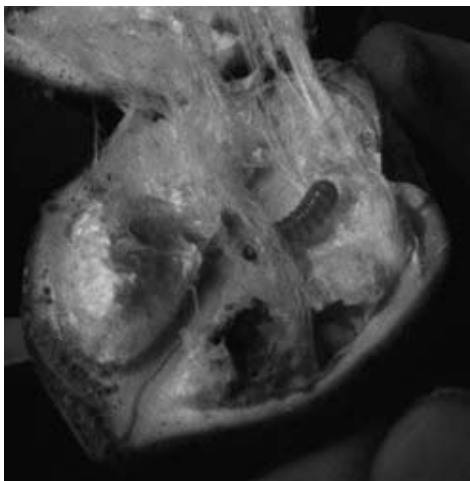


Figure 7: Opened cotton boll with a caterpillar of cotton's moth *Pectinophora gossypiella* inside

### 3.2 Man-made spider silk BioSteel®

In the year 2002 the Canadian company Nexia Biotechnologies Inc. and the US Army Soldier Biological Chemical Command succeeded in developing the first man-made spider silk protected under the trademark BioSteel® (Figure 8) [15,16,17,18]. The industrial process of BioSteel® fibres spinning has been developed by Acordis Speciality Fibres Ltd., Coventry, Great Britain.

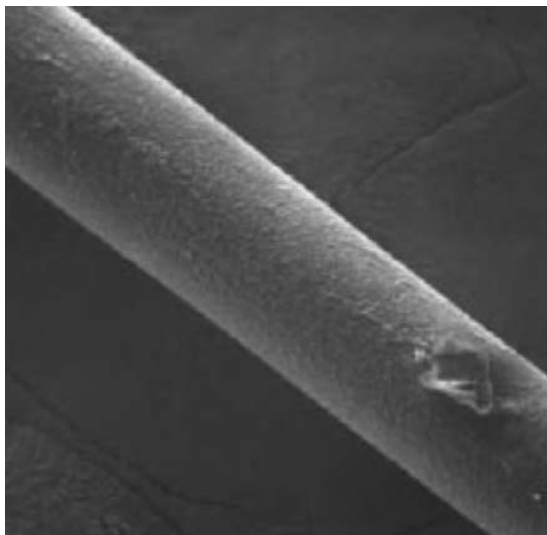


Figure 8: Longitudinal view of BioSteel® fibre

The production of man-made spider silk is based on genetic recombination technology. The DNA segment that controls the production of spider silk protein was introduced into the genome of mammary gland cells of goats. Mammary glands adopted silk-making genes and began to produce the desired proteins in milk. At a later date, individual spider genes were introduced into a single cell of a goat egg by using the in vitro injection method. In this way a transgenic goat was generated whose milk contained spider silk proteins. From the aqueous solution of recombinant spider silk proteins they extruded fibres with Young's modulus and toughness comparable with those of natural spider silk, but more elastic and by about 50% less strong (Figure 9). In addition to the recombinant DNA technology, certain modifications have been introduced into the fibres spinning process. In this way fibres of unequal lengthwise thickness and with various additions were obtained.

BioSteel® fibres are highly strong and elastic with Young's modulus from 40 to 50 GPa, tough, with low density and insoluble in water. They are flame and UV-stabilized. During a tensile test they behave stiffly under the initial stress as a result of high Young's modulus similar to that of aramid fibres, but as soon as they approach the yield point they become very elastic and their resistance to elongation diminishes; finally, the breakage occurs at the elongation, which is comparable to that of polyamide (PA 6.6) fibres.

BioSteel® fibres have outstanding mechanical properties and, which is very important they are biodegradable. All these properties coupled with their biocompatibility make them suitable for use in medicine for surgical microsutures, surgical meshes, artificial ligaments and sinews (BioSteel®-M products). It is estimated that BioSteel® sutures will improve surgical sewing by producing safer seams than those currently produced by using silk, polyamide or polypropylene sutures, but still strong enough, and by minimizing wound scars.

For technical applications BioSteel® fibres must be additionally protected in order to preserve their properties for as long period of time as possible. For this purpose the fibres will be embedded into proper matrixes that will protect them from undesirable environmental impacts. Bicomponent fibres consisting of a BioSteel® core and protective xylan coating for manufacture of fishnets are under development. It is expected that BioSteel® fibres, due to being extremely tough, will be also used for the manufacture of bullet-proof vests for military purposes.

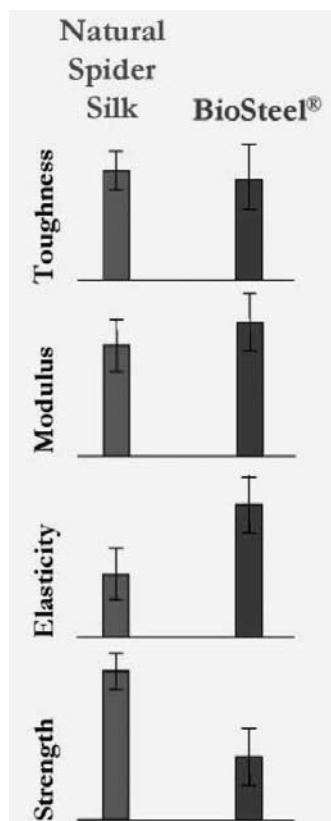


Figure 9: Natural spider silk properties in comparison to fibres BioSteel®

### 3.3 Triexta fibres from polytrimethylene terephthalate polymer Corterra® and Sorona®

The production of polyester fibres made of polytrimethylene terephthalate (PTT) started at the end of the 90s. Although the polymer was synthesized and patented already in 1941, its production was not possible due to expensive 1,3-propanediol, the basic raw material for PTT. At the end of the 90s Shell Chemicals developed the method for preparing qualitative 1,3-propanediol by continuous hydroformylation of ethylene oxide. The process is accomplished by the treatment with high pressure and at high temperature in a blend of ethylene oxide, hydrogen and carbon monoxide in solvent. The intermediate product 1,3-hydroxypropanol is converted into 1,3 propanediol (Bio-PDO) which gives the polytrimethylene terephthalate polymer during polycondensation with pure terephthalic acid (Figure 10). Polymer contains also 2.5–3% of low molecular oligomers among which the content of non-volatile cyclic dimer is the highest. Shell Chemicals is currently producing PTT polymer and PTT fibres under the trademark name Corterra. Fibres are extruded from Corterra polymer by melt processing.

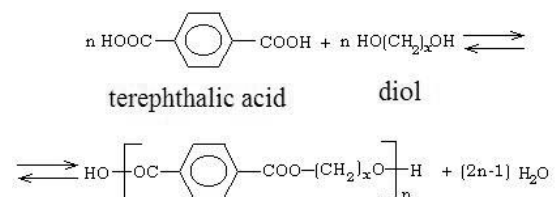


Figure 10: A polycondensation reaction for synthesis polyester from terephthalic acid and diol:

Diol:  $x = 2$  /ethylenediol/,  $x = 3$  /1,3-propanediol/,  $x = 4$  /1,4-butanediol/

Polyester:  $x = 2$  /polyethyleneterephthalate (PET) or 2GT/,  $x = 3$  /polythreemethyleneterephthalate (PTT) or 3GT/,  $x = 4$  /polybutyleneterephthalate (PBT) or 4GT/.

Chemical resistance of Corterra fibres is similar to that of polyester fibres made of polyethylene terephthalate. They are dyed with disperse dyestuffs without carriers. Some properties are presented in Table 1 [19, 20].

Corterra fibres are produced as POY yarns; commercially available are smooth, textured, highly strong filament yarns and spinning materials. They are used for the manufacture of sportswear and rec-

reational clothing, carpets, nonwovens for upholstery of furniture and cars. Products made of Corterra fibres are distinguished for their easy care, high stretch, softness, pleasant touch and brilliant colours. They combine good properties of PA 6 fibres (good elastic recovery, similar burning behaviour) and PET fibres (similar chemical resistance). Their good elastic properties make Corterra fibres suitable for the production of core spun yarns where they compete with elastane yarns (Lycra), because they develop elasticity at high temperatures, e.g. during dyeing.

DuPont is currently developing a PTT polymer and fibres under the trademark name Sorona. In 2003 it started to close the production of 1,3 propanediol (3GT) based on petrochemical raw materials (naphtha), and in 2004 it started to market 1,3 propanediol produced by using a biochemical

method of cornstarch fermentation, similar to winemaking (Figure 11). DuPont has developed the biosynthesis of 1,3 propanediol in a long cooperation with Genencor International. A monomer has been protected under the trademark name Bio-PDO™.

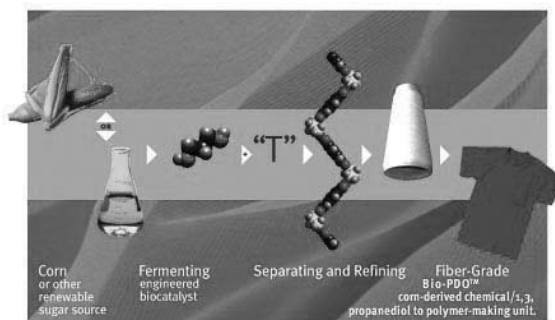


Figure 11: Biochemical synthesis of 1,3 propanediol - Bio-PDO™

Table 1: Comparison of properties of fibres from different polyester polymers: PET, PBT, PTT in bicomponent elasterell-p (elastomultiester) fibres.

Property	PTT	PET	PBT	T 400
Density of fibres (g/cm <sup>3</sup> )	1.35	1.39	1.32	1.36
Density of amorphous regions (g/cm <sup>3</sup> )		1.335	1.286	
Density of chrystalic regions (g/cm <sup>3</sup> )		1.455	1.390	
Glass transition temperature (°C)	50	74	20–40	65
Melting point from DSC (°C)	228–230	253–255	221–226	229
Temperature of thermofixation (°C)	160	177–188	182–188	160–177
Dyeing temperature (°C)	100	125–130	100	100–130
Spec. tensile breaking stress (cN/dtex)	2.29	3.795	2.38	3.35
Breaking elongation (%)*	41	16,5	37	27
Elastic elongation (%)	27	21	28	37–68
Modulus of elasticity (cN/dtex)	13.24	42.36	16.42	35.3
Yarn crimp extension (%)**	246	213	233	275
Crimp form	irregular	irregular	irregular	regular, spiral
Yarn liveliness	twisting	twisting	twisting	stil

\* elongation after decrimping

\*\* Decrimping was measured by ASTM D1774 method: skein of linear density 5000 den was first treated at boiling to develop crimps. After that a linear density was measured at load of 2.5 g (L2.5). After cyclic loading of skein 3-times up to mass, that caused decrimping (up to 1030 g) the length of yarn was measured again (L1030). Crimpness = (L1030 – L2.5)/(L2.5)\*100 (%).



Biochemical synthesis involves the use of microorganisms whose enzymes convert the cornstarch into 1,3-propanediol. In that case, the raw material for the synthesis of PTT is natural, renewable and no more dependent on naphtha [21].

In March 2009 Federal Trade Commission (USA) approved a new class of fibres with a generic name triexta fibres that are made from PTT polymer which base on BIO-PDO.

### 3.4 Poly lactide fibres (PLA)

Poly lactic acid is a natural, biodegradable organic substance, which is harboured in the bodies of animals, plants and microbes. Poly lactic acid as such cannot be found in the nature but should be industrially prepared by lactic acid polymerisation. Lactic acid used for the synthesis of poly lactic acid is derived from genetically altered corn grains (Figure 12). PLA is a thermoplastic polymer with the melting point at about 175°C. It is produced by Cargill Dow LLC (Nature Works®), Mitsui Toatsu Chemical (Lacea®), Shimadzu Chemical (Lacty®), Unitika (Terramac®).

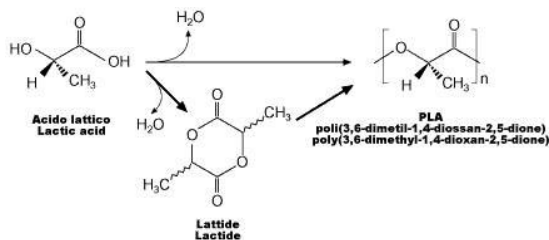


Figure 12: A synthesis of poly lactic acid (PLA)

Cargill Dow LLC patented the production of fibres from PLA polymer in 1997 under the trademark name Ingeo™ [22]. The fibres are currently produced by the Japanese company Toray and the American company Fiber Innovation Technology, Inc. (F.I.T.). Kanebo is producing PLA fibres under the trademark name Lactron® [23].

The fibres are produced by using the conventional melt-spinning method. They have round or profiled (trilobal) cross section, and high-to-medium lustre. The production includes also bicomponent fibres of the sheath/core type composed of synthetic polymer and PLA.

Physical properties of PLA fibres are similar to those of PA 6 and PES fibres. Their tensile strength is 45–55 cN/tex, elongation at break 20–35%, Young's

modulus 7.5–9 GPa. At the 19% elongation their elastic recovery is 64%. Their contraction in boiling water is 8–15%, absorption of air moisture is about 80%. The melting point of PLA fibres is 175–180°C and the glass transition temperature 58°C. The density of fibres is 1.25–1.27 gcm<sup>-3</sup> and their weight is lower than that of PES/PET fibres.

## 4 Intelligent fibres

Intelligent or smart fibres are the fibres made of special, stimuli-sensitive polymers or nanocapsules that react to the environment by changing their microstructure and properties. They react to the changes of temperature, mechanical force, light, concentration of electrolytes and pH as well as to the changes of the electric and magnetic field. Intelligent fibres help regulate body temperature or provide invisibility to IR detection, prevent staining of products, induce self-cleaning properties (e.g. floor coverings), prevent odour absorption, provide safety (e.g. during car driving), provide anti-ballistic protection, they are biologically active (bioactive), electro-conductive, etc.

Intelligent fibres are most frequently manufactured by coating fibres with polymers sensitive to external stimuli or by embedding such polymers into fibres by using the plasma process.

### 4.1 Fibres with PCMs (Phase Change Materials)

Most developed polymers, which recognize the environmental conditions, are sensitive to the change of temperature. At a certain temperature they undergo the process of phase change and are therefore classified as PCMs or Phase Change Materials. The potentials of the fibres containing PCMs are in the field of protection against cold and heat, sportswear, medical and hygienic products. The PCMs technology has been developed and patent protected by NASA. The use of PCMs in fibres was tested for the first time in 1987.

PCMs have superior capacity to absorb latent heat than fibres. The capacity of paraffin PCMs to absorb latent heat is about 200 kJ/kg without changing their temperature, whereas the temperature of 1 kg of standard fibres rises for 1 degree when only 1 kJ of latent heat is absorbed. With the absorption of heat, intermolecular links in PCMs break and PCMs convert into liquid state.

PCMs help to regulate body temperature by dynamic storing and releasing heat within the skin temperature range, i.e. from 29 to 35°C, through the changes of their aggregate state from solid to liquid phase and reversely from liquid to solid phase. We speak about various paraffin waxes: licosane, octadecane, heptadecane, hexadecane [24]. Fibres, textile materials and foams with embedded PCMs store the released body temperature and return it to the body as soon as the body needs it in dependence of its physical activity or outdoor temperature so that the body keeps constant body temperature all the time. The only fibres with embedded PCMs, which are commercially available, are PAN and PES fibres. Gateway Technologies Inc. has protected the PCMs technology. In most cases PCMs are spread over the surface of fibres (the protected trademark name Outlast) (Figure 13).

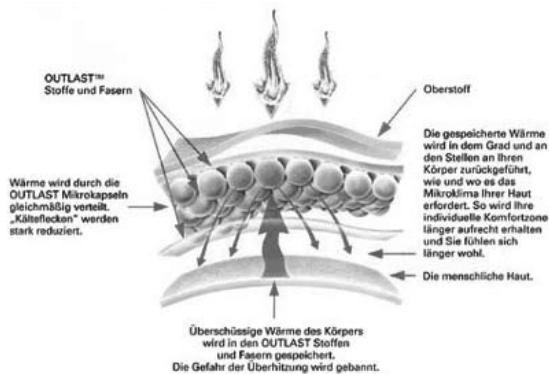


Figure 13: A cross-section of a textile phase change material (PCM) with a layer of Outlast in the middle

#### 4.2 Shape Memory Fibres

Polymers, which change their shape in response to external stimuli (temperature, pH, etc.), are identified as SMPs (Shape Memory Polymers):

- Dimensional changes of some SMPs, such as poly-N-isopropylacrylamides (PNIPAAm), are in-

duced by the change of temperature. At a certain balance temperature the polymer absorbs water from the environment and swells substantially, converts to gel and increases its dimensions. When the temperature rises, gel discharges water and shrinks.

- Ionic polycarboxyl polymers (PAA) with bound weak carboxyl groups sensitive to pH electrolytes are also classified as SMPs. When pH value is reduced, carboxyl groups lose their charge (bind hydrogen proton). Repulsion between polymers becomes less intensive which leads to shrinkage of gel (collapse). Addition of salt to the gel makes the effective distance of repulsive forces activity shorter the consequence of which is again the shrinkage of gel (collapse).

By using the existing technology, SMPs are spread over the surface of fibres as a film, which should not be damaged if we want to achieve good reversibility.

- Third generation of developed SMPs are polyethyleneglycols (PEG), which appear in a rubberlike state and never crystallize abundantly. Unlike PNIPAAm and PAA polymers, PEGs are, as a result of their elasticity, capable of withstanding tensions during swelling without any risk of surface cracks. PEGs applied on cotton, polyester or other fibres provide adaptation to a predefined temperature and reversible contraction of fibres or textiles.

The use of SMP materials for controlled delivery of drugs, food, perfumes and herbicides, for medical and hygienic textiles, such as baby diapers, healing underwear, which helps heal wounds, compression dressings, plasters, incontinence diapers, sanitary towels, socks, agrotexiles, etc. is under investigation. At contact with liquids (water, blood, etc.) SMPs shrink, e.g. SMP materials used as compression dressings shrink at contact with blood and bleeding stops [25].

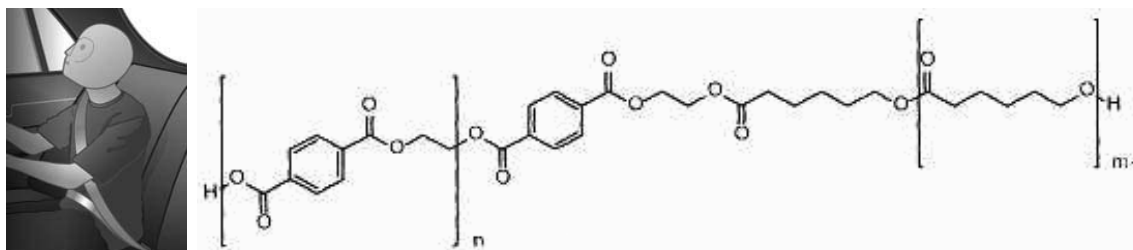


Figure 14: Intelligent fibres Securus for safety belts and a blockcopolymer PET-PCL

It is expected that SMP fibres will be used for clothing which will not need ironing as they will revert, at the pre-programmed temperature, to their initial shape and dimension after having been stretched and subjected to deformations. The company European Space Agency has developed a shirt, which recovers from wrinkles at body temperature during wear [26].

Patented Securus fibres (Honeywell) [27, 28] also belong to the group of shape memory fibres. These fibres are the first high performance fibres with engineered properties of that kind. They are designed for car seat belts (Figure 14).

Securus fibres are block copolymer fibres made of polyethylene terephthalate and polycaprolactone (PET-PCL). They are extruded from a PET-PCL copolymer melt by using a special reactive extrusion technology. In addition to high strength and high Young's modulus, these fibres are capable to quickly absorb impacts. Seat belts made of Securus fibres can absorb 3 times more energy than currently used conventional seat belts. The "intelligent" reaction of Securus fibres provides that seat belts extend to a determined value within a pre-defined range of loading. Securus fibres deliver three-step restraint reaction to tension within the tension range 0–24 cN/tex or within 0–15% extension. At lower tensions to about 8.8 cN/tex (to about 2% extension) high Young's modulus of fibres enables that seat belt holds occupants tightly in position. This function of holding occupants in position is very important in a traffic collision as it triggers the seat belt locking mechanism. In this first step Securus fibres behave similarly as conventional polyester fibres. The second step represents the range of higher tensions from 8.8–13.2 cN/tex (2–9% extension) when Young's modulus of fibres is extremely reduced and enables balancing of load. In this stage an occupant's controlled forward movement is possible by which the force imposed on the occupant is reduced. In the third step in which the tension exceeds 13.2 cN/tex (above 9–15% extension) Young's modulus substantially increases and holds the occupant in position as long as the fibres succeed in absorbing the entire energy released at impact in a traffic collision.

The Securus seat belts with their programmed behaviour provide higher protection for occupants than conventional polyester seat belt restraint systems by minimizing the force exerted on an occu-

pant's chest and also on the head of smaller persons and children.

#### 4.3 Fibres sensitive to UV rays (chromic materials) and to X-rays

The group of colour active intelligent fibres involves the fibres, which change their colour reversibly in dependence of external conditions (chameleon fibres). These are the fibres, which change their colour, and the fibres, which become invisible. They can be sensitive to heat [29], light (visible or UV) and other electromagnetic radiations [30], electric energy, pressure and solvents or other liquids.

- Fibres that absorb visible light and change their colour accordingly contain specific organic dye-stuffs (photochromic dyestuffs). The UV-sensitive spiropirane induces the fibre colour percentage phenomenon in dependence of the absorbed UV light wavelength.
- Fibres made from stainless steel that are coated with thermochromic ink, when connected to the power supply, can change their colour in dependence of the heat released by conductive fibres. Wall curtains, which are programmed to change the colour of the integrated conductive fibres, are the example of such use.
- Acordis Speciality Fibres has developed a PP multifilament yarn named Micropake, which is made from PP with the addition of a concentrate containing more than 60% of  $\text{BySO}_4$ . Fabrics made from Micropake are "visible" for X-rays. The yarn's properties are superior to those of PVC monofilament that has been used for this purpose so far.

#### 4.4 Optical fibres

One of the applications of optical fibres is for optical sensors used to measure temperature, stress/strain, gases, biological substances and odours [31]. Since glass optical fibres are capable of transmitting light signals over long distances, they have been used for optical fibre cables in telecommunications for quite a long time. Organic polymer optical fibres are made from polymethylacrylate (commercially available for about 25 years), polystyrene and polycarbonates. They can be used for data transmission over short distances up to few ten metres and can be incorporated into clothing. Novel perfluoro polymers have low absorption capability and are as such suitable for making optical fibres for communication appliances [32].

The use of optical fibres in combination with electronics and information technology, which includes computers, telephone sets, etc. is connected with the development of intelligent textiles. Sensatex [33] was the first company, which manufactured and marketed “a smart T-shirt” (Figures 15, 16) with integrated organic polymer optical fibres connected to a processor. A smart T-shirt emits light in 256 colours in dependence of critical level of vital life functions – by measuring blood pressure, pulse, blood sugar, etc.

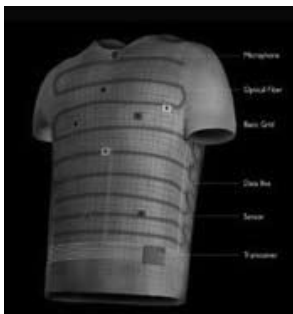


Figure 15: Smart shirt – scheme



Figure 16: Sensatex: a smart shirt

In order to achieve various colour effects, to transfer motion pictures on textiles, etc., light emitting diodes (LEDs) powered by unnoticeable batteries have been developed. Fibres are integrated into clothing together with microchips and switches [34]. At France Telecom such optical fibres were additionally perforated along the length so that they emit light over the entire length and not only at the ends.

The use of the mentioned organic polymer optical fibres in the field of technical textiles will pave the way for the development of sophisticated systems in which the information technology integrated into textile materials (floor coverings, automotive tex-

tile, curtains, etc.) will be less noticeable and more comfortable.

## 5 Auxetic fibres (negative Poisson's ratio fibres)

When axially stretched, fibres extend in lengthwise direction ( $+\Delta l/l$ ) and contract in transversal direction ( $-\Delta d/d$ ) at the same time. Poisson's ratio ( $\mu$ ) expresses the ratio of longitudinal strain to transversal strain. A classical elasticity theory of isotropic materials predicts the values of Poisson's ratio values from  $-1$  to  $+0.5$ . Since the volume of fibres does not change or perhaps only slightly increases ( $\Delta V \geq 0$ ) at stretching, the Poisson's ratio is less than  $0.5$ , typically from  $+0.2$  to  $+0.4$  (Figure 17). Most fibres behave in this way when stretched. Only a small number of natural and synthetic materials exhibit the opposite phenomenon, which means that they become thicker when stretched and thinner when compressed (Figure 18). These materials have a negative Poisson's ratio. They are known under the name auxetic, anti-rubber or dilational (expanding) materials [35]. The word auxetic is derived from the Greek word auxesis meaning “increase”. This term is used in biology to describe the cell volume enlargement at growth prior to its division.

Examples of auxetic materials can be found among polymers, metals and ceramics. Some natural ma-

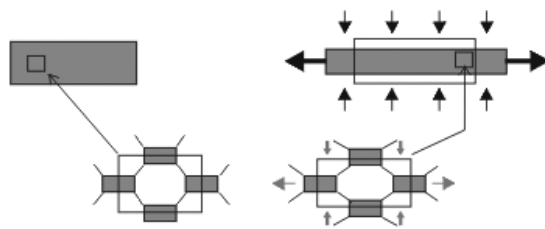


Figure 17: A model of stretching a fibre with a positive Poisson's ratio

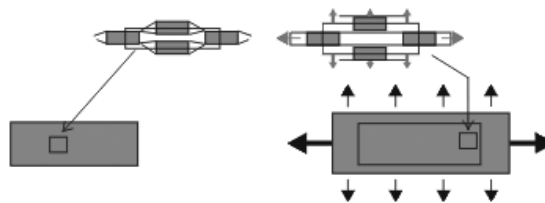


Figure 18: A model of stretching a fibre with a negative Poisson's ratio

materials have a negative Poisson's ratio at a molecular level. This untypical property has a significant influence on their mechanical properties, such as shear modulus, puncture and indentation resistance, impact resistance, thermal shocks and sound absorption.

In 1987 R.S.Lakes [36] manufactured the first synthetic material exhibiting a negative Poisson's ratio. By using high pressures, he succeeded in compressing standard polyurethane foam consisting of honeycomb-shaped air-filled hexagonal cells in such a way that it adopted "re-entrant" behaviour and was, when normally stretched, capable of extending to a certain extent even in transversal direction. The behaviour of such structure when stretched is presented in Figure 19.

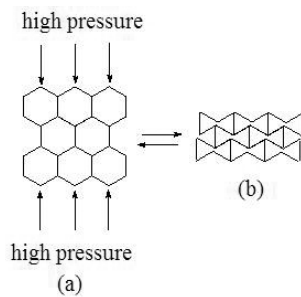


Figure 19: A model of hexagonal structure (a) that at high pressure lead to a structure with a negative Poisson's ratio (b)

In 1988 K.E.Evans found out that the thickness of conventional polytetrafluoroethylene (PTFE) film increased when stretched. It is the so-called nodule-fibril microstructure which, when stretched in the direction of fibrils, creates a lattice-like structure which expands also in transversal direction (Figure 20). Evans applied this model of microstructure to other polymers, including PE and PP [37, 38]. Scientists at the Bolton Institute produced auxetic fibres by using polyethylene of ultra high molecular weight (PE UHMW) in powder form. The process was based on conventional melt-spinning method but with novel processing conditions required to produce the nodule-fibril microstructure. After sin-

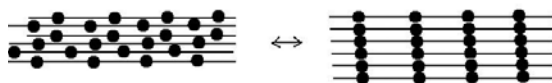


Figure 20: A model of nodule-fibril microstructure after Evans

tering, PE powder partially melted and gave rise to fibrillation. The obtained PP filaments have diameters to 1 mm and Young's modulus ranging between 0.2 and 2 GPa [39].

The development of a continuous manufacturing process for such materials in fibrillar monofilament or multifilament form as well as fabrics woven or knitted from such materials, has created the opportunity to use unique properties of auxetic materials, such as pull-out resistance, toughness, energy absorption compression and indentation resistance, impact resistance, release of entrapped particles, wear resistance and microporosity. The fibres can be used for composites, protective clothing (helmets, jackets, sportswear), filters, for mechanical lungs (microporous hollow materials), ropes, cords, fishnets, upholstery, in biomedical industry, for medical bandages and fibrous seals.

## 6 Novel man-made protein fibres

### 6.1 Soybean fibres

Soybean fibres [40] (Figure 21) are the only commercially available man-made protein fibres. The raw material for soybean fibres is soybean proteins that remain after extraction of soybean oil and are produced by a novel bioengineering technology. Firstly, the protein globulin is distilled from the soybean cake and refined (about 400 kg of globulin are obtained from 1 tonne of soybeans) and, secondly, under the functioning of additional chemical reagents and biological enzymes, the globular and spherical structure changes in such a way that it can be processed into fibres. Fibres are extruded from the spinning solution confected from soybeans, by using the wet-spinning method. Cable-shaped regenerated fibres are stabilized by acetalizing in acid bath prior to being cut into short staples. Antibiotics (against



Figure 21: Soyabean protein fibres – raw (left) and bleached (right)

coli bacillus, staphylococcus aureus and candida albicans bacteria), anti inflammatory agents and UV protection agents are added during the spinning process.

The company Swicofil [41] is currently producing soybean fibres with length 38–76 mm and fineness 0.9–3 dtex. Their specific breaking tension in dry is 38–40 cN/tex, and in wet 25–30 cN/tex, elongation at break from 18 to 21%, elastic recovery 55%, density 1.29 g/cm<sup>3</sup>. They have fine lustre.

At increased temperatures the properties of fibres substantially change. At 160°C their colour turns to light yellow and at 200° to intense yellow. With the rise of temperature, the fibres begin to carbonise at 300°C and become brown. As these changes occur at relatively low temperatures, the fibres must be treated and dyed at temperatures below 100°C. At the temperatures above 100°C the fibres become hard to the touch, however, washing in soap water at the temperature higher than 60°C makes them soft again.

In boiling water and hot air the fibres undergo contraction by 2.2%. Ironing of products made from soybean fibres is not necessary. Soybean fibres have good resistance to electrostatic charging which contributes to higher wear comfort of clothing. They have high UV-resistance. Soybean fibres can be used especially in the blends with cashmere fibres, silk, cotton, bamboo and elastane fibres. They are used for personal underwear and bed linen, shirts, evening dresses, children's clothing, towels and sportswear.

## 6.2 Feather fibres

Using bird's plumage, particularly that of turkeys and chickens, also means solving the problems related to by-products of food industry which arose after the BSE outbreak when processing of bird's plumage into stock forage was forbidden. Only in the USA, the production of bird's plumage amounts to about 1–2 million tonnes. Fibres from bird's plumage (Figures 22 and 23) are rich in keratin, highly crystalline, with good mechanical and thermal resistance. Turkey feathers give fine downy fibres and rough fibres. Downy fibres originating from the basal part of a feather quill shaft are about 40 mm long, their fineness is about 55 dtex, strength about 3 cN/tex and elongation at break about 17%. Rough fibres originate from the upper part of a feather quill shaft and are about 50 mm long, their fineness is about

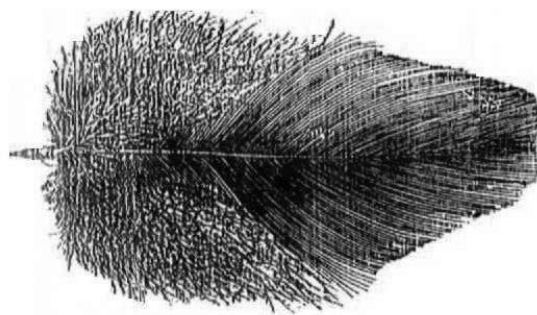


Figure 22: Turkey feather

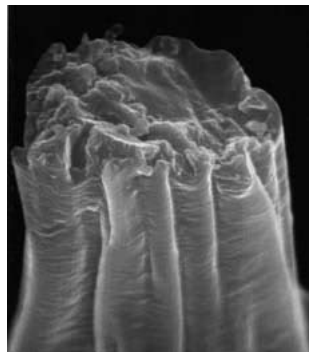


Figure 23: A magnified fibre taken from a turkey feather

140 dtex, strength about 7 cN/tex and elongation at break about 8%.

Addition of 40% maximally of turkey feather fibres to other fibres improves heat insulation capacity of the products. So far the use of turkey feather fibres has been investigated in the blends with polyamide, polyester and cellulose fibres for heat insulators and for nonwovens used to reduce soil erosion [42]. The potentials of feather fibres are also in the field of absorption of heavy metals during the water and other systems cleaning process. Since the absorption of heavy metals depends on pH, proteins, as being amphoteric substances, are highly appropriate. The combination of nanofibrillar structure and active functional groups in bird feather fibres provides ideal biosorption capacities in technologically highly developed filters for absorption of heavy metals [43].

## 7 Polyester fibres with latent elasticity for stretch products

The development of latent-elasticity fibres, which are capable of developing outstanding elastic prop-

erties with recovery after elongation exceeding 100% during a finishing process (e.g. dyeing), has created the opportunity for novel applications. Their elasticity and elastic recovery rank the textured multifilament yarns made from these fibres among highly stretchable elastane fibres (EL) and less stretchable polyamide (PA) and polyester polyethylene terephthalate (PES/PET) textured yarns.

### 7.1 Polybutylene terephthalate fibres (PBT)

Polybutylene terephthalate (PBT) fibres are polyester fibres synthesized from terephthalic acid and 1,4 butanediol (butylene glycol). Polybutylene terephthalate was synthesized for the first time in 1968. Absence of large side groups, flexibility of segments between benzene rings and regularity of chemical structure in the main chain provide good crystallization of molecules, so that PBT is considered a highly crystalline substance, which significantly affects its properties. Contrary to polyamides, PBT molecules are low-polar and absorb only a small amount of water. Longer exposure of PBT to hot water or steam leads to depolymerization of molecules. Due to high crystallinity, PBT has excellent chemical resistance to most organic solvents. It is also wear resistant. PBT fibres are wear resistant, they can be dyed at the boil without carriers, their colour fastness is good, they do not change dimensions and are chlorine resistant even in wet. They excel at very soft touch, much better elasticity and elastic recovery than PA 6,6, Pa 6 and PES (PET). Elasticity of PBT yarn develops during treatments at higher temperatures, e.g. during dyeing. Some properties of PBT fibres are presented in Tables 1 and 2.

Despite high prices of raw materials and high production costs, which were higher than those of PET fibres, PBT fibres, due to their special properties (superior elasticity), were successfully used for floor coverings already in the 70s of the previous century. In Europe, the company Hoechst produced the PBT spinning material Boden Trevira® for yarns from which carpets and carpet runners with perfect elastic recovery were manufactured.

Today, PBT multifilament yarns are produced by Gruppo Bonazzi Aquafil, Trevira, Elite® yarn by Nylstar, Elastil® yarn by Miroglio Group, Elas-Ter® yarn by Teijin, etc.

The use of Elite® yarn is diverse: for underwear, swimwear, sportswear and recreation wear. In Ja-

pan, polybutylene terephthalate fibres were used particularly for the manufacture of swimsuits and fine ladies' underwear. In the USA, the yarn was produced for stretch jeans and sportswear. Not long ago, Italian companies Miroglio and Montefibre started with the production of a modified PBT multifilament yarn Mirhon WE for sportswear (100%) and for the blends with polyester (PET), viscose, polyacrylonitrile fibres, cotton, flax and wool. In addition to high elasticity, the Mirhon WE yarn excels at good dyeability at the boil with disperse and also alkaline dyestuffs without carriers, at single-bath dyeing of PBT/PAN and PBT/WO blends and at achieving two-tone effects in PBT/PET blends [44].

### 7.2 Elasterell-p (USA) or elastomultiester (EU) fibres

Elasterell-p is the name of a new class of polyester fibres, which have high stretch properties in common. In 2002 they were classified by the US Federal Trade Commission as polyester fibres formed of two or more chemically distinct polymers (of which none exceeds 85% by weight) containing ester groups as the dominant functional units (at least 85% by weight in the total polymer content of fibre) and which, if stretched for at least 100%, quickly revert to their initial unstretched shape after the tension is removed [45]. In European Union these fibres are classified as elastomultiester fibres that is a new generic name formed by interaction of two or more chemically distinct linear macromolecules in two or more distinct phases (of which none exceeds 85% by mass) which contains ester groups as dominant functional unit (at least 85%) and which after suitable treatment when stretched to one and half times its original length and released recovers rapidly and substantially to its initial length [46].

DuPont Textiles & Interiors (DTI), today DuPont INVISTA, has developed the first elasterell-p fibre T-400, previously named DP 0002. The fibre is marketed under the Lycra® brand. T-400 fibre is a bicomponent textile fibre made of polyethylene terephthalate (PET) and polybutylene terephthalate (PBT). It differs from a pure PET fibre also in the degree of polymerisation and related properties as well as in helical crimp, which is induced by differences in the shrinkage of two distinct polymers present in a fibre. As a result of this phenom-

Table 2: Elastic elongation of the yarn T-400 in comparison to other polyester yarns.

Properties	T400	PES (PET)	PES (PBT)	PES (PET)/ elastane (91/9)
Yarn elastic elongation (%)	37	21	28	38
Fabric elongation (%)	23	10	9	21

enon, T-400 fibre is self-crimping, its stretch properties are not mechanically induced by texturing, it is inherently elastic. Its stretch properties are superior to those of textured polyester yarn with false twist from PET, PTT and PBT, which is under 35% (Table 1). T-400 yarn outstandingly preserves its stretch properties, which do not deteriorate with normal maintenance (washing, dry cleaning) as is the case with textured polyester yarns. According to DuPont, the stretch properties of T-400 have remained unchanged after repeated washing at  $40 \pm 5^\circ\text{C}$  with water, detergent and a dose of chlorine bleaching agent, and drying at  $65\text{--}70^\circ\text{C}$ . They have softer touch than PET textured fibres.

A clothing is comfortable if the fabric provides at least 20% stretch. According to DuPont a highly comfortable product is manufactured from the yarn having the elastic elongation above 35% while the yarn with 28% elastic elongation (PBT) still does not impart high quality stretch to a product.

DuPont compared the elastic elongation of textured yarn made from PET, PBT and T-400 fibres with the yarn made from the combination of elastane and PET textured yarn (9% EL, 44 dtex, and 91% PET, 167 dtex) (Table 2).

## 8 Conclusion

The development of novel fibres is proceeding at a rapid pace. In many cases it is driven by the needs of a specific field of application, most frequently for military and aerospace purposes, for protective clothing as well as for top level and extreme sports. The development of novel fibres is oriented toward multifunctionality, engineering of fibres with tailored properties, production of fibres based on renewable raw materials, ecologically clean production processes which do not additionally burden the environment, low energy consumption, recycling potentials and simple, above all biological degradation.

## 9 References

1. Nanofibers global sales to reach US\$ 176mn in 2007. *Filtration Industry Analyst*, Nov. 2007, p. 3. [www.bccresearch.com](http://www.bccresearch.com).
2. WENDORFF, J. H. Polymer nanofibres, nanotubes, nanocables: preparation, properties, applications. <http://www.sun.ac.za/unesco/Conferences/Conference2003/ABSTRACTS/>
3. *Nanofibers and nanotechnology in textiles*. Edited by P.J. Brown and K. Stevens. Boca Raton, Boston, New York, Washington, DC: The Textile Institute, CRC Press; Cambridge: Woodhead Publishing, 2007
4. *Nanotechnology*. Global Industry Analysts, Inc. (2003), 1015 p. <http://www.marketresearch.com/researchindex/910420.html#pagetop>
5. Japan's Toray uses nano-sized fibers for absorbent nylon textile. <http://nanotech-now.com/2002-october-news.htm>
6. Toray: New PA Nanofiber Technology. *Chemical Fibre International*, vol. 53, 2003, p. 5.
7. Solvent Solutions. <http://www.inteletex.com/FrontPageFeatures.asp?PubId=&NewsId=2469>
8. Turning Waste Into Fibre. <http://www.hindu.com/seta/2003/11/20/stories/2003112000100200.htm>
9. RODIE, B. J. Quality Fabric of the Month, Like Water Rolling Off a Ducks Back, Textile Industries Media Group. – News. <http://www.textileworld.com/News.htm?CD=2058&ID=426>
10. Ball P.: Nano-Velcro Binds Faster than Strongest Glue. <http://www.nature.com/nsu/031020/031020-5.html>
11. STANKOVIČ ELESINI, U. *Medena rosa na bombažnih vlaknih*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 1994, p. 14–15.
12. DAGAONKAR, V.S. in AURANGABADKAR, L.P. Bt cotton, the myth and the reality. [http://www.indiaagronet.com/indiaagronet/BT\\_COTTON/center.htm#myth](http://www.indiaagronet.com/indiaagronet/BT_COTTON/center.htm#myth)
13. Bt Cotton. [http://www.ucsus.org/food\\_and\\_environment/biotechnology\\_archive/page.cfm?pageID=360](http://www.ucsus.org/food_and_environment/biotechnology_archive/page.cfm?pageID=360)



14. MILIUS, S. Bt Cotton: Yields up in India; pests low in Arizona. <http://www.sciencenews.org/articles/20030208/fob5.asp>
15. LAZARIS et al.: Spider Silk Fibers Spun from Soluble Recombinant Silk Produced in Mammalian cells. *Science*, vol. 295, 2002, p. 472–476.
16. BioSteel. An innovative biomaterial. <http://www.nexiabiotech.com/pdf/BioSteelExpanded-Profile-English.pdf>
17. Nexia and US Army spin the world's first man-made spider silk performance fibres, [http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2002-01/nbi-nau011102.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2002-01/nbi-nau011102.php)
18. TURNER, J.D. BioSteel® Performance Fibres: Military Applications of Recombinant's Spider Silk. 6<sup>th</sup> CTI-DND Conference and Military Textiles, 2003, April 3–4. [http://www.textiles.ca/ctidndconference/6th\\_2003/presentations/DrJefferyTurnerNexia.pdf](http://www.textiles.ca/ctidndconference/6th_2003/presentations/DrJefferyTurnerNexia.pdf)
19. BLICKMAN, N. Federal trade commission 16 CFR Part 303. *Rules and regulation under the textile fiber product identification act* (15 U.S.C 70e(c)). April 2002, p. 1–15.
20. SATO, T. Polybutylenterephthalatfasern: Garne, Gewebe und Einsatzgebiete. *Chemiefasern/Textilindustrie*, 1991, Vol. 40/92 Jahrgang, p.35.
21. Sorona. <http://www.dupont.com/sorona/sitelargerfont/biotechnology.html>
22. Ingeo. <http://www.cargilldow.com/ingeo/home.asp>
23. Ecological fiber made from corn. <http://www.kanebotx.com/english/new/corn-f.htm>
24. COX, R. Synopsis of the New Thermal Regulating Fiber Outlast. *Chemical Fibres International*, vol. 48, 1998, no. 6, p. 475–479.
25. PARYS, van M.: Coating and Laminating: The "Must-Have" <http://www.unitex.be/Downloads/niet-leden/unitex%20nr.%206.pdf>
26. ESA and industry to discuss how space technology can improve textiles [http://www.esa.int/export/esaCP/ESASB4OED2D\\_Benefits\\_0.html](http://www.esa.int/export/esaCP/ESASB4OED2D_Benefits_0.html)
27. SRIDHARAN, S. et al: High-molecular weight polymers and methods of manufacture. US P 20030092853 (15. 05. 2003)
28. LEVY, M. et al. Securus™ Fiber, A Load Leveling Copolymer for Safer Seat Belts. [http://www.performancefibers.com/securus/pdfs/Securus\\_Fiber\\_Development.pdf](http://www.performancefibers.com/securus/pdfs/Securus_Fiber_Development.pdf)
29. TOWNS, A. The Heat is on for New Colours. *JSDC*, vol. 115, 1999, nr. July/August, p. 196–198.
30. Chromic Materials. <http://www.tut.fi/units/ms/teva/projects/intelligentt.../chromic.ht>
31. BOISDE, G. et al: Chemical and Biochemical Sensing with Optical Fibers and Waveguides. *Artech House*, 1996.
32. HARLIN, A. et al: Polymeric optical fibres and future prospects in textile integration. *AUTEX Research Journal*, vol. 2, 2002, nr. 3. <http://www.autexrj.org/No5/0036.pdf>
33. Sensatex. <http://www.sensatex.com/>
34. GOULD, P. Textiles gain intelligence. *Materials Today*, 2003, nr. 10, p. 39–43.
35. WITZE, A. 'Anti-rubber' materials stretch possibilities. <http://www.philly.com/mld/inquirer/2003/11/09/news/nation/7215434.htm>
36. LAKES, R. Negative Poisson's Ratio Materials: Names- Anti-Rubber, Auxetic, Dilational. <http://silver.neep.wisc.edu/~lakes/PoissonFAT.html>
37. BURKE, M. A stretch of the imagination. Dynamic materials. <http://research.dh.umu.se/dynamic/artiklar/shape/stretch.html>
38. ALDERSON, A. A triumph of lateral thought. *Chemistry & Industry*, 1999, p. 384–391. <http://www.bolton.ac.uk/research/materials/pdf/c&i-review.pdf>
39. SCOTT, P.J. et al. Auxetic Materials – an Introduction. *Materials World*, vol. 8, 2000, p.12–14.
40. World Exclusive Soybean Protein Fibre! <http://www.soybeanfibre.com>
41. Soybean protein fibres. <http://www.swicofil.com/soybeanproteinfiber.html>
42. GEORGE, B.R. et al: Utilization of Turkey Feather Fibres in Nonwoven Erosion Control Fabrics, *Int. Nonwovens J.* (2003) 45–52.
43. KAR, M.M. et al. Keratin protein nano-fiber for removal of heavy metals and contaminants. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol. 702, 2002, p. U2.1.1-U2.1.7.
44. FRANCALANCI, F in D'ANDOLLFO, F. New PBT fiber developments. *Melliand International*, vol. 9, 2003, nr. 6, p. 111.
45. FTC Approves "Elasterell-P" as polyester alternative. [http://www.afma.org/f-info/More\\_News/ftc-112702.htm](http://www.afma.org/f-info/More_News/ftc-112702.htm)
46. *Terminology of man-made fibres. 2009 Edition (replaces the 2006 edition)*. www.bisfa.org Bruxelles: BISFA, 2009, 109 p.

# Bilateralna projekta z Dansko in Norveško na področju higiene pranja industrijskih tekstilij

doc. dr. Sabina Fijan<sup>1</sup>, Jan Tore H. Gunnarsen<sup>2</sup>, John Weinreich<sup>3</sup>, prof. dr. Sonja Šostar-Turk<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Inštitut za inženirske materiale in oblikovanje, Smetanova ulica, 17, SI-2000 Maribor; sabina.fijan@uni-mb.si

<sup>2</sup> Norske Vaskeriers Kvalitetstilsyn, Farmannsgate 1, 1607 Fredrikstad, Norveška

<sup>3</sup> Technological Institute Denmark, Gregersensvej, Postbox 141, Dk-2360 Taastrup, Danska

<sup>4</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za zdravstvene vede, Žitna ulica 15, 2000 SI-Maribor

## Udeleženci projektov

Center za nego tekstilij (Inštitut za inženirske materiale in oblikovanje, Fakulteta za strojništvo Maribor) sodeluje pri dveh bilateralnih projektih na področju nege tekstilij, in sicer z Norveško pri projektu z naslovom 'Higienski in ekološki postopki pranja tekstilij iz živilske industrije', številka projekta BI-NO/07-09-006, in Dansko pri projektu z naslovom 'Higiena in ekologija bolnišničnih tekstilij', številka projekta BI-DK/07-09-004. Norveški partner je Norske Vaskeriers Kvalitetstilsyn, danski pa Danski tehnološki inštitut.

## Uvod

Sektor industrijskih pralnic v Evropi sestavlja 9500 podjetij, ki operejo več kot 2.300.000 ton perila na leto. Ta industrija zaposluje 140.000 delavcev in uporablja 35.000.000 m<sup>3</sup> pralne vode in 50 PJ energije na leto. Letni dobiček tega sektorja je 4.700.000.000 evrov. Z zaostritvijo okoljske zakonodaje se je povečala tudi skrb za zmanjšanje onesnaževanja in porabe vode za pranje. Odpadne vode iz bolnišničnih pralnic vsebujejo ostanek maščob,

krvi, urina, fekalij itd. in imajo vrednosti KPK med 400 in 1200 mg O<sub>2</sub>/L. Pralnice, ki perejo tekstilije iz objektov in hotelov, onesnažujejo vodo z vrednostmi KPK med 600 in 2500 mg O<sub>2</sub>/L. Iz teh podatkov je razvidno, da je potrebno čiščenje odpadnih voda iz pralnic. Po drugi strani pa je pomembno tudi, da se zmanjša poraba vode za pranje. Poraba vode kontinuirane pralne linije (PL) je 11 L/kg tekstilij, za klasične industrijske bobnaste stroje pa 30 L/kg tekstilij. PL so opremljene z integriranim sistemom za recikliranje vode, kar močno zmanjša porabo vode, s 30 na 11 L/kg tekstilij. Inovativne tehnologije porabe vode bi lahko še zmanjšale porabo na 8 L/kg tekstilij. Te so zasnovane na uporabi učinkovitejšega sistema pranja z inovativnimi kombinacijami detergentov.

Higiena pranja je še zlasti pomembna pri tekstilijah iz bolnišnic, saj je za bolnike z zmanjšanim imunskim sistemom pomembno, da niso po nepotrebem izpostavljeni škodljivim mikroorganizmom iz slabo opranih tekstilij, ki bi lahko povzročili še dodatne okužbe. Ker lahko tekstilije iz bolnišnic vsebujejo veliko vrst patogenih bakterij, glivic in virusov, je nujno, da ima proces pranja ne samo učinek čiščenja, temveč tudi proti-mikrobni učinek. Ker so uporabniki bolnišničnih tekstilij pogosto pacienti z zmanjšanim imunskim sistemom, je priporočljivo, da se pri pranju in razkuževanju tekstilij uporablja najboljša praksa.

Živilska industrija je zelo raznolik segment industrije, ki vključuje različne panoge kot so: klavnica, priprava mesnih izdelkov, priprava vmesnih živilskih izdelkov, gostinske storitve itd. V živilski industriji je higiena še posebno pomembna pri delovnih oblačilih delavcev. Evropska komisija je 14. julija 1993 sprejela novo direktivo: Evropske smernice 93/43/EWG za higieno v živilski industriji, ki je zasnovana na sistemu HACCP. Sprejeto je bilo tudi, da so tekstilije v živilski industriji (delovna oblačila, brisače itd.) ena kritičnih kontrolnih točk v živilski industriji, za katero je treba izvesti kontrolo za preprečitev kakršnegakoli tveganja pri varnosti živil oz. zmanjšati tveganje do sprejemljive mere. Zaščitna oblačila so namenjena zaščiti delavcev v živilski industriji. Obvarujejo jih lahko pred okužbo z bakterijami, glivicami, virusi, prioni itd. v izločkih in surovih mesnih izdelkih, poleg tega pa je to lahko zaščita mesnih in drugih živilskih izdelkov pred okužbami z mikroorganizmi na delavcih. Tekstilije so namreč kontrolna točka, za katero velja, da je tre-

ba tekstilije primerno očistiti in razkužiti, da ne pride do kontaminacije. Pri gostinskih storitvah pa se tekstilije uporabljajo za pogrinjanje miz v restavracijah in za druge estetske namene. Higienški vidik tekstilij je tudi pomemben dejavnik pri preprečevanju okužb delavcev v pralnici in uporabnikov živilih izdelkov.

Glavni cilj pranja tekstilij je odstranjevanje nečistoče in mikroorganizmov z umazanih tekstilij in doseči čiste, sveže in razkužene tekstilije za nadaljnjo uporabo. Proces pranja vključuje: odstranjevanje madežev z uporabo specifičnih pralnih sredstev, beljenje, razkuževanje ter nevtralizacijo in izpiranje. Večina ljudi predvideva, da so vrnjene oprane tekstilije čiste in je zato njihova uporaba varna. Vendar, čeprav so nečistoče odstranjene, tekstilije niso sterilne. Iz izkušenj je priporočljivo, da strokovnjaki za kontrolo okužb ne podcenjujejo pranja. Neprimerno razkužene tekstilije so eden izmed virov bolnišničnih okužb, kar je razvidno iz več objavljenih raziskav. Obstajajo poročila, da so bolnišnične tekstilije vir bolnišničnih okužb s streptokoki, enterokoki, *Bacillus cereus*, stafilokoki in koliformnimi bakterijami. Obstaja tudi tveganje okužbe delavcev v bolnišnicah in pralnicah pri ravnanju z umazanimi tekstilijami. Obstajajo dokumentirani primeri okužb z garjami, glivicami, salmonelami, gastroenteričnimi virusi, virusom hepatitisa, koksielami itd.

Razkuževanje tekstilij je lahko termično, kemično ali kemijsko-termično. Termično razkuževanje je obdelava s toploto. Predvsem je pri termičnem postopku učinek razkuževanja odvisen od temperature in časa učinkovanja, pralna sredstva imajo le manjšo vlogo. Za kemično in/ali kemijsko-termično razkuževanje uporabljamo anorganska in organska razkuževalna sredstva, npr. peroksi kisline, alkalije, oksidante, halogene, alkohole, organske in anorganske spojine s kovinskimi ioni, aldehide, fenole, kvarterne amonijeve soli itd. Zelo uspešna je kombinacija kemičnega in termičnega razkuževanja predvsem pri postopkih pranja, kjer zaradi surovinske sestave tekstilij ali obarvanosti ni mogoče prati pri visokih temperaturah. Na učinek razkuževalnih sredstev vplivajo: koncentracija sredstev, trajanje delovanja, vrste mikroorganizmov, ki povzročajo okužbe, in struktura okolja. Pri tem je treba upoštevati, da so predpisani kemijsko-termični postopki ustrezni le, če uporabljamo pralna in razkuževalna sredstva, ki so navedena v ustreznih seznamih. Pogoji za kemijsko-termično razkuževanje so podani v raznih seznamih, kot npr. v

Seznamu preizkušenih in pri RKI (Robert-Koch-Institut) in DGHM (Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie) priznana razkuževalna sredstva in postopki itd. Pralnice so največji porabniki detergentov za pranje tekstilij, zato je treba temu področju nameniti veliko pozornosti, zlasti z ekološkega in ekonomskega vidika.

Čeprav je seveda higienški vidik najpomembnejši za te tekstilije, je prav tako pomembna tudi kakovost pranja za estetske namene. Obstajajo različni sistemi za vrednotenje higiene opranih tekstilij.

#### *Smernice inštituta Robert-Koch (RKI-smernice)*

RKI-smernice so nemške zahteve higiene za tekstilije iz zdravstvenih ustanov, pralnice, ki vsebujejo veljavne postopke pranja ter pogoje za bolnišnične tekstilije. Po RKI-smernicah morajo biti tekstilije čiste in brez povzročiteljev bolezni. Glede na RKI-smernice obstajata dve pomembni preiskavi za vrednotenje stopnje higiene v bolnišničnih pralnicah:

1. Razkuževalni učinek postopka pranja bolnišničnih tekstilij se preišče z uporabo dveh standardnih bioindikatorjev: *Enterococcus faecium*, ATCC 6057 in *Staphylococcus aureus*, ATCC 6538. Nositelci testnih mikroorganizmov so bombažne krpice, velike 1 cm<sup>2</sup>, kontaminirane s suspenzijo defibrinogenirane ovčje krvi in mikroorganizmov. Postopek pranja mora zagotoviti zmanjšanje obeh standardnih bakterij za 100,000 CFU/mL.
2. Jemanje odtisov s ploščicami RODAC-agar na 10 naključnih vzorcih zlikanih in zloženih bolnišničnih tekstilij ne sme presežati naslednje mejne vrednosti: 9 od 10 vzorcev ne sme vsebovati več kot 2 CFU/10 cm<sup>2</sup>. Na tekstilijah ne smejo biti prisotni patogeni mikroorganizmi.

#### *EN 14065: RABC – analiza tveganja in kontrola biokontaminacije*

Evropska komisija za standardizacijo (CEN) je 23. septembra 2002 odobrila standard, zasnovan na načelih za tekstilije iz pralnic RABC. Ta dokument določa sistem upravljanja, ki uporablja načela analize tveganja in kontrole biokontaminacije, temelječi na preventivnih ukrepih. To omogoča pralnicam, da kontinuirano zagotavljajo mikrobiološko kakovost opranih tekstilij, posebno tekstilije, uporabljene v posebnih sektorjih, kot so farmacevtika, medicinski instrumenti, hrana, zdravstvo in kozmetika.

Kontrolna točka (CP) je katerakoli točka ali korak v procesu, v katerem je uporabljena kontrola z namenom obdržati, odstraniti ali zmanjšati tveganje biokontaminacije.

#### *HACCP – načela – analiza tveganja in kritične kontrolne točke*

Evropska komisija je 14. julija 1993 sprejela novo direktivo: EG Richtlinie 93/43/EWG za higieno v živilski industriji, zasnovani na sistemu HACCP. Sistem HACCP je sistem kakovosti, ki omogoča, da podjetje izoblikuje taktiko varnosti hrane in temelji na postavljanju, dokumentiranju in vzdrževanju sistema, ki zagotavlja, da so identificirane vse značilne potencialne nevarnosti in da so kontrolirane vse pomembne nevarnosti tako, da proizvodi podjetja ne povzročajo nevarnosti potrošniku. Kritična kontrolna točka (CCP) je točka, postopek ali faza v prehrabni verigi, ki jo lahko kontroliramo, kar je nujno za preprečevanje tveganja varnosti hrane ali da se zmanjša do sprejemljive stopnje. Tekstilije v živilski industriji (npr. delovna oblačila, brisače itd.) so bile razvrščene kot ena izmed CCP.

#### *RAL-GZ 992 – Zagotovilo higieno za bolnišnične tekstilije in tekstilije iz živilske industrije*

RAL, nemški inštitut za zagotavljanje kakovosti in izdajanje certifikatov, je leta 1986 izdal navodila za higieno pranja RAL-GZ 992/2 za bolnišnične tekstilije. Ta navodila veljajo kot pomembna priporočila v nekaterih državah v Evropski uniji. Raziskovalni inštitut Hohenstein je pooblaščen pri RAL, da izdaja certifikate kakovosti in higieno pranja (RAL-GZ 992/2), ki vključujejo načela RABC in temeljijo na smernicah nemškega inštituta Robert-Koch. Leta 1998 so bila izdana dodatna navodila za kakovost in higieno pranja tekstilij iz živilske industrije po RAL-GZ 992/3. Ohranitev certifikata je odvisna od letnih nenapovedanih inšpekcij kakovosti in stopnje higieno v pralnicah glede na standardne metode in v primerjavi z mejnimi vrednostmi (tabela 1). Obstaja več kontrolnih točk v pralnicah (tabela 1), ki jih je nujno kontrolirati za zmanjšanje kontaminacije z mikroorganizmi, kot npr.: vrednotenje postopka pranja z uporabo standardnih bioindikatorjev, odtisi različnih površin z uporabo ploščic RODAC-agar, kot so npr. tekstilije, tehnična oprema, skladiščne police, transportna sredstva ter roke delavcev in mikrobiološka analiza vodnih vzorcev.

Higiensko stanje CP je ovrednoteno na podlagi naključne zunanje kontrole.

#### *Pregled raziskave*

V naši raziskavi smo predstavili naključni pregled stopnje higieno v slovenskih in danskih pralnicah, ki perejo bolnišnične tekstilije, in naključni pregled stopnje higieno v slovenskih in norveških pralnicah, ki perejo tekstilije iz živilske industrije.

#### *Določanje higieno pranja v Sloveniji*

Za določanje učinkovitosti razkuževalnega učinka pranja glede na zagotovilo higieno po RAL-GZ 992 smo kot standardna bioindikatorja uporabili *Enterococcus faecium* in *Staphylococcus aureus* inokulirana v defibrinogenirano ovčjo kri. *Enterococcus faecium* in *Staphylococcus aureus* sta standardna bioindikatorja, ki se uporabljata pri evropskih testih za določanje osnovnega baktericidnega razkuževalnega učinka za zmanjšanje za 100,000 CFU/mL glede na smernice inštituta Robert-Koch. Bioindikatorje smo vstavili v testirane postopke pranja (faze pranja, izpiranja in stiskanja) v pralnicah in jih potem prinesli v laboratorij ter dali v 40 mL triptozni sojin bujon (TSB) ter inkubirali 4 dni pri 36 °C (Incubator, Wtb Binder). Nato smo po 1 mL homogenizirane suspenzije dali na naslednje agarje in inkubirali 24 ur pri 36 °C: eskulin azidni agar za dokazovanje *Enterococcus faecium* in Baird-Parker agar za dokazovanje *Staphylococcus aureus*. Prisotnost *Enterococcus faecium* smo potrdili z nastankom olivno zelenih do črnih kolonij. Črne, sijoče kolonije s svetlim obročem pa so potrdile prisotnost *Staphylococcus aureus*. Razkuževalni učinek je bil potrjen, če nismo našli nikakršnih kolonij in s tem potrdili potrebno znižanje za 100.000 CFU/mL za bakterije.

V pralnicah smo vzeli tudi vzorce vode pred mehčanjem, po mehčanju in po izpiranju glede na zagotovilo higieno po RAL-GZ 992. Po 200 µL vsakega vodnega vzorca smo dali na triptozni sojin agar. Za vsak vzorec vode smo pripravili po dva testa – enega smo inkubirali pri 22 °C 72 ur in drugega pri 37 °C 24 ur. Določili smo CFU in identifikacijo kolonij po splošnih mikrobioloških metodah, opisanih spodaj. Površinsko jemanje odtisov s ploščicami RODAC agar smo uporabili za naslednje kontrolne točke v pralnicah: tekstilije (zlikane in zložene tekstilije, vlažne tekstilije), tehnična oprema (pralni stroji, dvizni trak, sortirni trak), skladiščne police/prevoz (polica valjčne likalne naprave, polica za zložene te-

kszilije, stranska stena v vozilih), higiena rok (delavci pri sortirnem traku, na valjčni likalni napravi in zlagalni mizi) glede na zagotovilo higiene po RAL-GZ 992. Ploščice RODAC-agar smo z enakomernim pritiskom za 10 sekund pritisnili na vse površine. Površina vseh ploščic je 25 cm<sup>2</sup>. Ploščice RODAC agar smo inkubirali 48 h pri 37 °C. Po inkubaciji smo določili CFU in identificirali nastale kolonije po splošnih mikrobioloških metodah, opisanih spodaj.

### Splošne mikrobiološke metode identifikacije mikroorganizmov

Vse nastale kolonije smo analizirali z uporabo splošnih in specifičnih mikrobioloških metod. Prisotnost izolatov iz družine *Enterobacteriaceae* smo potrdili z barvanjem po Gramu, katalazno aktivnostjo, oksidazno aktivnostjo in rastjo na agarju Endo, VRB-agarju in VRBD-agarju. Prisotnost *Pseudomonas aeruginosa* smo potrdili z barvanjem po Gramu, katalazno aktivnostjo, oksidazno aktivnostjo in rastjo na cetrimidnem agarju. Prisotnost *Staphylococcus sp.* smo potrdili z barvanjem po Gramu, katalazno aktivnostjo, oksidazno aktivnostjo, koagulazno aktivnostjo in rastjo na Baird-Parkerjevem agarju in krvnem agarju. Prisotnost *Enterococcus sp.* smo potrdili z barvanjem po Gramu, katalazno aktivnostjo, oksidazno aktivnostjo, pirazno aktivnostjo ter rastjo na eskulin azidnem agarju in krvnem agarju. Izolate *Micrococcus sp.* smo potrdili z barvanjem po Gramu, katalazno aktivnostjo, oksidazno aktivnostjo in nerastjo na OF-mediju v anaerobnih razmerah. Izolate *Corynebacterium sp.* smo potrdili z barvanjem po Gramu, katalazno aktivnostjo, oksidazno aktivnostjo in mikroskopiranjem. Prisotnost po Gramu pozitivnih aerobnih sporogenih bacilov smo potrdili z barvanjem po Gramu, katalazno aktivnostjo in rastjo na agarju TSA po termični obdelavi vzorcev (10 min, 75 °C). Prisotnost kvasovk in gliv smo potrdili z vizualnim opazovanjem hif in prisotnostjo kvasnih celic.

### Določanje higiene v pralnicah na Danskem

Kontrolne točke, podane v tabeli 2 petih naključnih zlikanih zloženih bolnišničnih tekstilij, smo ovrednotili kot zunanjo kontrolo. Celotno število bakterij in enterobakterij smo ovrednotili in določili točke glede na podano lestvico. Izbrali smo pet naključnih tekstilij za vrednotenje higiene. Na vsaki tekstiliji smo vzeli po dva brisa: enkrat z uporabo

monitorja Hygicult TPC in enkrat z uporabo monitorja Hygicult E. Monitor Hygicult TPC vsebuje agar za določanje celotnega števila bakterij na obeh straneh, medtem ko ima monitor Hygicult E VRB agar na obeh straneh. Vzorčenje poteka tako: za 3–4 sekunde pritisnemo obe strani monitorja na površino. Oba monitorja nato inkubiramo pri 37 °C. Kolonije na monitorju Hygicult TPC preštejemo po 24 urah in rdeče kolonije na monitorju Hygicult E preštejemo po 48 urah.

### Določanje higiene v pralnicah na Norveškem

Kontrolne točke, podane v tabeli 3, ovrednotimo kot rezultat naključne zunanje kontrole 2- do 6-krat na leto glede na standardni protokol RABC. Število aerobnih in koliformnih bakterij ter število *E. coli* ovrednotimo glede na mejne vrednosti (tabela 3), ki jih določa inštitut Robert-Koch. Te vrednosti se uporabljajo tako za pralnice, ki perejo bolnišnične tekstilije, kot tudi tekstilije iz živilske industrije. Na kontrolnih točkah smo vzeli brise z uporabo epruvetk RediSwab s pokrovi s 15 mL nevtralizirajoče raztopine. Brisi so bili pritrjeni na pokrove in smo jih uporabili v aseptičnih razmerah na različnih površinah v pralnici, kot npr.: dno preše, dvizni sortirni trak, polica valjčne likalne naprave, transportni voziček, stranska stena transportnega vozička, različne tekstilije. Za vsak bris smo določili število aerobnih in koliformnih bakterij in število *Escherichia coli* po naslednjih postopkih: (1) število aerobnih bakterij: 1 mL nevtralizirajoče raztopine s potopljenim brisom smo inokulirali in razmazali na ploščico Petrifilm aerobic count in 24 ur inkubirali pri 37 °C ter prešteli cfu; (2) število koliformnih bakterij/*E. coli*: 1 mL nevtralizirajoče raztopine s potopljenim brisom smo razmazali ploščico na Petrifilm coliform/*E. coli* count in 48 ur inkubirali pri 37 °C. Kolonije koliformnih bakterij so bile rdeče obarvane in v primeru prisotnosti *E. coli* je nastala okrog kolonij modro obarvana oborina zaradi prisotnosti indikatorja glukuronidaze.

### Rezultati

#### Stopnja higiene tekstilij in pralnic v Sloveniji

Nekatere pralnice uporabljajo prej omenjene oz. druge sisteme monitoringa, vendar zaradi tajnosti podatkov ni podrobnejših podatkov.

Bioindikatorji: iz sanitarno-mikrobiološke analize šestih slovenskih pralnic, ki perejo bolnišnične te-

kszilije, in petih pralnic, ki perejo tekstilije iz živilske industrije, je razvidno, da so preverjeni postopki pranja v osmih pralnicah ustrezni, saj so imeli zadosten razkuževalni učinek. Po drugi strani pa je razvidno, da pralni postopki v treh pralnicah niso imeli zadostnega razkuževalnega učinka, saj je preživel bioindikator *Enterococcus faecium*. V pralnih postopkih dveh teh pralnic je preživel tudi bioindikator *Staphylococcus aureus*, kar kaže na zelo slab postopek razkuževanja. Vse tri postopke pranja je treba optimizirati, da se doseže primeren razkuževalni učinek.

Odtisi površin: odtisi površin so pokazali, da smo na tekstilijah najpogosteje našli tipične kožne bakterije, kot npr.: koagulazno negativni stafilokoki, *Micrococcus sp.* in *Corynebacterium sp.*, in s tem potrdili splošno neprofesionalno ravnanje s čistimi tekstilijami (sortiranje, likanje, zlaganje in pakiranje). Našli smo tudi *Bacillus sp.* in saprofitne po Gramu negativne bacile, kar kaže na nezadostne ukrepe čiščenja in razkuževanja. Našli smo tudi nekatere patogene bakterije, kot npr. *Enterococcus sp.*, *Pseudomonas aeruginosa* in *Staphylococcus aureus*. Tolerančne vrednosti za zlikane in zložene tekstilije, vlažne tekstilije in higieno rok so bile presežene v dveh od šestih pralnic za bolnišnične tekstilije. Vseh šest pralnic za bolnišnične tekstilije je preseglo tolerančne vrednosti za tehnično opremo in tako pokazalo, da splošna higiena tehnične opreme v pralnicah ni na najboljši ravni. Tudi tolerančne vrednosti za tekstilije iz živilske industrije so bile presežene. V treh od petih pralnic so bile presežene tolerančne vrednosti za zlikane, zložene tekstilije, tehnično opremo, skladiščne police in transportna vozila in higiena rok. Redno izobraževanje delavcev je najpomembnejše pri implementiranju primerne stopnje higiene pri ravnanju s čistimi in razkuženimi tekstilijami po pranju (sortiranje, likanje, zlaganje in pakiranje) poleg osnovne higienske zahteve razkuževalnega postopka pranja.

Kakovost vode: Mikrobiološka analiza kakovosti vode v pralnici je pokazala, da je začetna voda (pitna voda) ustrezala zahtevani stopnji higiene in da je prišlo do kontaminacije v nadaljnjih fazah. Stopnja higiene mehčane vode je bila presežena v dveh pralnicah, medtem ko je bila stopnja higiene izpiralne vode presežena v petih pralnicah, kar potrjuje neprimerno razkuževalno učinkovitost pranja. V izpiralnih vodah v petih pralnicah smo našli bakterijo *Pseudomonas aeruginosa*, avtohtono vodno bakte-

rijo. Prav tako smo našli predstavnike družine *Enterobacteriaceae* v izpiralni vodi v eni pralnici ter v izpiralni in mehčani vodi v dveh pralnicah. V eni pralnici je bila presežena tudi tolerančna vrednost, kar potrjuje kontaminacijo ionskega izmenjevalca in ga je treba zamenjati.

Splošni rezultati higiene: Le ena pralnica je dosegla najboljše rezultate, saj ni bila presežena nobena tolerančna vrednost. Tri pralnice so dosegle druge najboljše rezultate, saj je pri vseh treh presežena samo ena tolerančna vrednost in še to je le orientacijska vrednost za tehnično opremo. Ena pralnica je presegla le dve tolerančni vrednosti, in sicer za tehnično opremo in higieno rok. Po drugi strani pa je ena pralnica za bolnišnične tekstilije dosegla najslabše splošne rezultate, saj sta bili presežni obe mejni vrednosti glede na smernice inštituta Robert-Koch. V tej pralnici postopek pranja ni imel razkuževalnega učinka proti indikatorskim bakterijam in presežna je bila mejna vrednost za zlikane in zložene tekstilije. Še ena pralnica je imela neprimerno higieno, saj je šest kontrolnih točk preseglo tolerančne vrednosti (vse kontrolne točke razen pitne vode, mehčane vode in bioindikatorji). Najslabši rezultati za tekstilije iz živilske industrije so bili v eni pralnici, kjer so bile presežene vse tolerančne vrednosti razen pitne vode. Drugi najslabši rezultat za tekstilije iz živilske industrije je bil v pralnici, kjer je bilo preseženih pet od devetih kontrolnih točk. V obeh teh pralnicah je očitno, da postopek pranja nima ustreznega razkuževalnega učinka, saj je preživel vsaj en bioindikator in stopnja higiene izpiralne vode je presegla tolerančne vrednosti. Rezultati potrjujejo, da je razkuževalni učinek postopka pranja najpomembnejši pri preprečevanju širjenja mikroorganizmov v čistem delu pralnice, kjer poteka vse nadaljnje delo (sortiranje, likanje, zlaganje in pakiranje). Očitno je tudi, da imajo pralnice z neprimernimi postopki pranja tudi neprimerne ukrepe čiščenja in razkuževanja vse tehnične opreme, skladiščnih polic, transportnih vozil in higiene rok delavcev. Po drugi strani pa rezultati petih pralnic potrjujejo, da je mogoče doseči čiste in razkužene tekstilije za nadaljnjo uporabo z implementacijo ukrepov čiščenja in razkuževanja, ki omogočajo primerno stopnjo higiene.

#### Stopnja higiene bolnišničnih tekstilij na Danskem

Raziskava higiene v pralnicah na Danskem kaže, da so preiskane bolnišnične tekstilije v eni pralnici imele odlične rezultate, saj so bile dosežene vse toč-

ke. Na nobeni tekstiliji ni bilo celotno število bakterij več kot 2 cfu/cm<sup>2</sup> in nismo našli nobenega predstavnika družine *Enterobacteriaceae*. Po drugi strani pa so rezultati v drugi pralnici dosegli le stopnjo 3 (nevtralno), saj smo na eni testirani tekstiliji (pižami) našli predstavnika družine *Enterobacteriaceae* in vseh bakterij je bilo več kot 2 cfu/cm<sup>2</sup> na testirani zdravnikovi uniformi. Vendar iz teh rezultatov ni razvidno, ali je prišlo do kontaminacije po pranju oz. ali sam postopek pranja ni imel razkuževalnega učinka.

### Stopnja higiene tekstilij iz živilske industrije in pralnic na Norveškem

Iz rezultatov je razvidno, da le ena pralnica ni presegla nobene tolerančne vrednosti, medtem ko je bilo v treh preseženih več kontrolnih točk in v eni pralnici je bila presežena ena kontrolna točka (dno

preše). V eni pralnici je bilo preseženo število aerobnih in koliformnih bakterij v obdelani vodi, zato mora pralnica implementirati razkuževalne ukrepe za vodo pred pranjem. Iz preostalih rezultatov je sicer razvidno, da ustrezen postopek pranja za zdaj izniči biološko breme obdelane vode, vendar se to lahko spremeni pri dodatnem povečanju biološkega bremena. Tri pralnice so imele problematično higieno na dnu preše, saj je bilo aerobno število bakterij preseženo v vseh treh pralnicah in v dveh je bilo preseženo tudi število koliformnih bakterij. Te pralnice morajo nujno implementirati ustrezne ukrepe čiščenja in razkuževanja preše. Opazili smo tudi, da imajo nove pralne linije težave s prešo in vode iz preše v pralnicah, ki prej niso imele težav z ustrežno higieno. Morda je težava v majhni porabi vode in kontaminaciji izpiralnega območja. V dveh pralnicah je bilo tudi preseženo število aerobnih bakterij

Tabela 1: Tolerančne vrednosti kritičnih kontrolnih točk glede na RAL-GZ 992/2 za bolnišnične tekstilije in RAL-GZ 992/3 za tekstilije iz živilske industrije

CP	RAL-GZ 992/2	RAL-GZ 992/3
Zlikane in zložene tekstilije <sup>b</sup>	9 od 10 vzorcev ne sme vsebovati več kot 20 cfu <sup>c</sup> /dm <sup>2a</sup>	9 od 10 vzorcev ne sme vsebovati več kot 50 CFU/dm <sup>2</sup>
Postopek pranja	Morajo biti uničeni <sup>a</sup>	Morajo biti uničeni
Vlažne tekstilije	< 30 CFU/dm <sup>2</sup>	< 100 CFU/dm <sup>2</sup>
Voda za pranje, mehčana voda, izpiralna voda	< 100 CFU/mL <sup>d</sup>	< 100 CFU/mL
Tehnična oprema (pralni stroji, sortirni in dvizni trak)	< 100 CFU/dm <sup>2</sup>	< 100 CFU/dm <sup>2</sup>
Skladiščenje/transport (polica valjčne likalne naprave, polica skladiščne police, stranska stena v vozilu)	< 100 CFU/dm <sup>2</sup>	< 100 CFU/dm <sup>2</sup>
Higiena rok (delavci na sortirnem traku, valjčni likalni napravi in zlagalni mizi)	< 100 CFU/dm <sup>2</sup>	< 100 CFU/dm <sup>2</sup>

<sup>a</sup> Mejne vrednosti: vrednosti, ki jih določa inštitut Robert-Koch v Nemčiji.

<sup>b</sup> Na odtisih zlikanih, zloženih tekstilij ne smejo biti prisotni patogeni in fakultativno patogeni mikroorganizmi, kot so: *Escherichia coli*, *Enterobacter cloaque* itd.

<sup>c</sup> CFU/dm<sup>2</sup> (colony forming units) = število vseh nastalih kolonij mikroorganizmov (bakterije, glive) na ploščicah RODAC-agar po inkubaciji (48 ± 4) ur pri 37 °C preračunano na površino 1 dm<sup>2</sup>.

<sup>d</sup> CFU/mL = število vseh nastalih kolonij mikroorganizmov (bakterije, glive) v in 1 mL vzorca vode po inkubaciji (24 ± 4) ur pri 37 °C vzorca vode po inkubaciji (72 ± 4) ur pri 22 °C

Tabela 2: Tolerančne vrednosti kontrolnih točk za bolnišnične tekstilije na Danskem

Kategorija	TPC	E
5 naključnih zlikanih zloženih bolnišničnih tekstilij	Manj kot 2 cfu/cm <sup>2</sup> pomeni 15 točk. Več kot 2 cfu/cm <sup>2</sup> pomeni 0 točk.	0 cfu/cm <sup>2</sup> pomeni 15 točk. Katerokoli število cfu/cm <sup>2</sup> pomeni –10 točk.
Skala		
150–135 točk	odlično	Odobrena stopnja higiene
134–120 točk	dobro	Odobrena stopnja higiene
119–105 točk	nevtravno	Odobrena stopnja higiene
104–90 točk	slabo	Ni odobrena stopnja higiene
manj kot 90 točk	zelo slabo	Ni odobrena stopnja higiene

Tabela 3: Tolerančne vrednosti kontrolnih točk za tekstilije iz živilske industrije na Norveškem

Kontrolna točka	Pralnica pere tekstilije (celotno število aerobnih bakterij) iz:		Vse tekstilije (število koliformnih bakterij/E. coli)
	Zdravstvenega sektorja ali živilske industrije	Samo iz živilske industrije	
Voda iz pipe/obdelana voda	100 cfu/mL	100 cfu/mL	0 cfu/dm <sup>2</sup>
Tehnična oprema	100 cfu/dm <sup>2</sup>	100 cfu/dm <sup>2</sup>	0 cfu/dm <sup>2</sup>
Tekstilije	20 cfu/dm <sup>2</sup>	50 cfu/dm <sup>2</sup>	0 cfu/dm <sup>2</sup>

na testiranih tekstilijah, kar kaže, da nadaljnja obdelava tekstilij (sortiranje, likanje, zlaganje, pakiranje) ne poteka strokovno. Delavce je treba izobraziti o primernih ukrepih čiščenja in razkuževanja rok in vse tehnične opreme, ki pride v stik s tekstilijami.

#### SKLEPI

Pregled stopnje higiene v pralnicah v Sloveniji, na Danskem in Norveškem pokaže, da je, čeprav niso vse pralnice dosegle zahtevane higiene, to mogoče doseči z implementiranjem sistema monitoringa higiene. Prvi dejavnik je optimiziranje postopka pranja z ustreznim razkuževalnim učinkom ob sočasni učinkoviti stopnji kakovosti. Poleg tega pa je pomembno tudi, da vsi delavci, še zlasti v čistem delu pralnice, ohranjajo redne ukrepe čiščenja in razkuževanja za preprečitev rekontaminacije čistih tekstilij pri nadaljnji obdelavi tekstilij po pranju in sušenju (sortiranje, likanje, zlaganje in pakiranje). Ta raziskava tudi pokaže, da ni pomembno, kateri sistem se uporablja za implementiranje teh ukrepov,

dokler te ukrepe izvaja vse osebje redno, saj je potrebna visoka stopnja zavezanosti in prizadevnosti vodstva ter vseh delavcev.

#### Zahvala

Zahvaljujemo se Agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) za finančno podporo v okviru bilateralnih projektov štev. BI-DK/07-09-004, BI-NO/07-09-006 in podoktorskega projekta štev. Z2-7076.

#### Opomba

Rezultati skupaj z metodami in uvodom so povzeti po članku: Fijan, Sabina, Gunnarsen, Jan Tore H., Weinreich, John, Šostar-Turk, Sonja. Determining the hygiene of laundering industrial textiles in Slovenia, Norway and Denmark = Ispitivanje higijene u industrijskim praonicama tekstilija u Sloveniji, Norveškoj i Danskoj. *Tekstil*, 2008, vol. 57, no. 3, str. 73–95.



## Bombaž, otroško delo, ekologija ...

Bombaž ljudje poznajo kot surovino že več tisoč let, dokaz pa so bombažni kosmi, ki so bili najdeni v jami blizu Tehucana v Mehiki. O njih znanstveniki trdijo, da so iz leta 5800 pred našim štetjem. Našli so tudi bombažne tkanine, bombažne vrvice v hindujski kulturi v Pakistanu, katerih nastanek je ocenjen na okrog 3000 let pred našim štetjem. Menijo, da je Aleksander Veliki 325. leta pred našim štetjem prvi prinesel bombažne tkanine iz Indije v Evropo. Prva bombažna vlakna so, kot kažejo arheološke raziskave, predelali v prejo in tkanine v Pakistanu. Na arheološkem najdišču v bližini mesta Moenjodaro v bližini Karačija so našli doslej najstarejši ostanek bombažne tkanine. Po propadu civilizacije Moenjodaro se je spretnost predelave prenesla v Indijo in od tod naprej na Bližnji vzhod in v Egipt. V preteklosti je bila Indija dolga leta ne le glavna izvoznica bombaža, temveč tudi proizvajalka kakovostnih in finih bombažnih tkanin. Kljub preprostim tehnologijam predenja in tkanja se je v Indiji razvila proizvodnja najbolj raznovrstnih tkanin, od težkih brokatov do najfinejših muslinov.

V zadnjih petih letih je bila svetovna proizvodnja bombaža povprečno 25,9 milijona ton, v sezoni 2006/07 je dosegla 26,74, v minuli sezoni 2008/09 se je nekoliko zmanjšala, na 23,67 milijona ton, predvidevajo pa, da bo v prihajajoči sezoni 2009/10 znašala 23,52 milijona ton. Poraba je približno enako velika, petletno povprečje je bilo 25,5 milijona ton, predvidevajo pa, da bo v prihodnji sezoni 23,92 milijona ton. Štirje največji pridelovalci v zadnjih petih letih so: Kitajska, Indija, ZDA in Pakistan, ki imajo skupaj več kot 70 odstotkov svetovne proizvodnje. Preostali večji pridelovalci so: Brazilija, Uzbekistan, Turčija, Grčija, Avstralija, Turkmenistan ... Med največjimi porabniki bombažnih vlaken so trije največji pridelovalci: Kitajska, Indija in Pakistan, ki imajo skupaj okrog 65 odstotkov svetovne porabe. Preostali večji porabniki (med prvimi desetimi) so: Turčija, Brazilija, ZDA, Bangladeš, Indonezija in Tajska.

Vrednost letne trgovine z bombažem je več kot 35 milijard dolarjev in veliko držav spodbuja proizvodnjo, porabo in izvoz bombaža. Bombaž je eden po-

membnejših proizvodov v svetovnem gospodarstvu, še posebno pomemben je za države v razvoju, saj si z njim zagotavljajo prisotnost na tujih trgih in omogočajo devizne prilive. Sočasno pa je bombaž tudi osnova in surovina za razvoj lastne tekstilne industrije teh držav.

### *Otroško delo v svetovni pridelavi bombaža ...*

Čedalje večje potrebe po bombažu, pravočasno obiranje bombaža ter hkrati prizadevanje za čim nižje stroške so v državah pridelovalkah bombaža povzročile uporabo najcenejše delovne sile za posamezne postopke pri gojenju bombaža. Za obiranje bombaža v nekaterih državah uporabljajo otroke kot poceni in lahko dostopno delovno silo. Tako na primer v Uzbekistanu to delajo otroci, stari manj kot sedem let, kot tudi šolarji. Med obiranjem so šole po dva meseca zaprte, da šolarji lahko obirajo bombaž. Plačilo je bore tri cente za kilogram. Otroci to delajo v številnih državah. V Uzbekistanu je sicer to delo prepovedano z ustavo, vendar ga kljub temu izvedejo kot posebno državno „delovno akcijo“. Unicef ocenjuje, da je leta 2000 okoli 22,6 odstotka otrok, starih od pet do štirinajst let, delalo, čeprav ne izključno pri obiranju bombaža. Delo otrok je razširjeno tudi na kmetijah, ki pridelujejo svilo, riž in tobak. Ker se je površina, zasajena z bombažem, povečala, je ročno obiranje čedalje bolj potrebno. Zdaj se v Uzbekistanu 90 odstotkov bombaža obira ročno in otroci so tu, da nadomestijo mehanizacijo, ki se je uporabljala v sovjetskem obdobju.

V svetu je okrog 250 milijonov otrok prisiljenih delati v kmetijstvu, a ne vsi pri obiranju bombaža. Tako je od zahodne Afrike do Egipta, Indije in Turkmenistana. Otroci so zaposleni pri različnih opravilih, od proizvodnje bombaževega semena, škropljenja s pesticidi do obiranja bombaža. V vseh petih srednjeazijskih državah to delo opravljajo otroci. V Tadžikistanu je bilo po nekaterih podatkih 2004. leta okrog 40 odstotkov bombaža pridelanega z delom otrok. V Turkmenistanu je bilo kljub predsednikovemu pozivu 200.000 otrok vključenih v obiranje bombaža. V Beninu proizvodnjo bombaža spodbujajo s trgovanjem z otroki iz Burkine Faso. V Egiptu je bilo po ocenah 2001. leta okrog milijon otrok, starih od sedem do dvanajst let, angažiranih pri odstranjevanju škodljivcev bombaža. Zloraba otrok vključuje tudi izpostavljenost pesticidom. V indijski državi Andhra Pradesh več kot 240.000 otrok dela v pridelavi bombažnega semena.

Poročila o tem, koliko otroci lahko zaslužijo, so zelo različna. Nekateri otroci trdijo, da dobijo pet dolarjev za pet dni dela, medtem ko drugi pravijo, da dobijo samo 180 sumsov (0,15 dolarja). Zaslužek je na začetku žetve manjši, za kilogram bombaža dobijo 22 sumsov (1,5 centa), na koncu pa do 15 centov. Zaslužek je različen od pokrajine do pokrajine, vendar je jasno, da je otroško delo zelo poceni in da za proizvod, ki je na svetovnem trgu vreden 1,15 dolarja, za obiranje plačajo le 3–4 cente.

Kljub mednarodni obsodbi zlorabe otroškega dela in pritožb 18 uzbekistanskih nevladnih organizacij, ki so zahtevale prepoved otroškega dela pri obiranju bombaža, ni bilo odziva. To poskušajo doseči s pozivi mednarodnim trgovcem, naj prenehajo kupovati uzbekistanski bombaž in naj porabniki bojkotirajo blago, izdelano iz takšnega bombaža, kar je skoraj nemogoče, saj na etiketah ni označeno poreklo bombaža. Dokler ne bo gospodarskih reform in pritiska mednarodne skupnosti, se bo izkoriščanje uzbekistanskih otrok nadaljevalo.

#### *Odpor svetovne javnosti ...*

Veliko ameriških in evropskih trgovinskih verig se zavzema za bojkot uzbekistanskega bombaža v znamenje protesta proti uporabi prisilnega dela otrok pri obiranju bombaža. Od večjih trgovinskih verig so bojkot napovedali: Wal-Mart, Tesco, Mark & Spencer, Target, Gap, Debenhams, Henne in Mauritz.

Ugotovljeno je bilo, da se izkoriščanje otroškega dela nadaljuje, čeprav je uzbekistanski parlament z Mednarodno organizacijo za delo (ILO) ratificiral sporazum, in sicer Konvencijo o minimalni starosti za zaposlitev in Konvencijo o prepovedi in takojšnjih ukrepih za odpravo najtežjih oblik otroškega dela.

Cinik bi rekel – bojkot je bolj gesta za odnose z javnostjo kot pa resno prizadevanje za zaustavitev dela otrok. Uzbekistan ni edina država, ki je bila obtožena izkoriščanja dela otrok. Nekatera podjetja v ZDA so pred nekaj leti dobila namig o številu otrok, ki delajo v kitajskih predilnicah. Mednarodna skupnost ne sme sprejeti samo govornice ali pisane obveznosti Uzbekistana, temveč mora zahtevati akcijo, ki bo prikazala popolno odpravo prisilnega dela otrok in ki jo je mogoče preveriti s pomočjo neodvisnega nadzora med sezono obiranja bombaža.

Aktivisti pozivajo vlade ZDA in EU, da sprejmejo ukrepe, s katerimi bi preprečili, da bi na njihove trge prišli izdelki, na katerih so sledi prisilnega otroškega dela.

#### *Ekološka katastrofa ...*

Bombaž je rastlina, ki za svojo rast potrebuje velike količine vode, in ga zato gojijo tam, kjer je mogoče namakanje z zadostnimi količinami vode. Velike količine vode so potrebne tudi zaradi čim večjih donosov. Po nekaterih podatkih za kilogram bombaža potrebujejo od 20.000 do 29.000 (organski bombaž) litrov vode. Pridelava bombaža v osrednji Aziji je odvisna od vode, ki se izliva v Aralsko jezero, po količini vode nekdanje četrto največje na svetu, a se je zdaj zmanjšalo na okrog 15 odstotkov nekdanje velikosti. V Aralsko jezero se izlivata veliki reki Amu-Darja in Sir-Darja, ki pritekata iz gora Afganistana in Tadžikistana. Največje bogastvo tega pomembnega vira, vode iz rek, se uporablja večinoma za namakanje bombažnih polj. Po podatkih Svetovne banke uzbekistanski kmetje porabijo povprečno 14.000 kubičnih metrov vode za vsak hektar namakanih bombažnih nasadov. Ocenjujejo pa, da 60 odstotkov preusmerjene vode ne pride do polj, temveč se izgubi zaradi slabo vzdrževanih kanalov in cevi za namakanje. Zaradi bombaža, ki se goji kot monokultura, se Uzbekistan sooča z naraščajočo erozijo tal, tla so kontaminirana s pesticidi in povečala se je slanost vode. Staranje in neučinkovitost namakalnega sistema, v katerem je 28.000 kilometrov kanalov, je pripomoglo k propadanju tal.

Zaradi zmanjšanja količine vode v Aralskem jezeru je uničenih 24 avtohtonih vrst rib. Usihanje se je začelo še pred razglasitvijo uzbekistanske neodvisnosti (1991), toda zdajšnja vlada je storila bore malo za odpravo tega problema. Vodna površina se je izrazito zmanjšala po letu 1991. Jezero, ki ostaja, je veliko bolj slano kakor prej; Aralsko jezero je s 67 grami soli na liter vode dvakrat bolj slano kot druga svetovna morja.

Posledice za okolje so očitne na površini približno 400.000 kvadratnih kilometrov. Zaradi krčenja mokrišč in jezer izginjajo avtohtone živalske in rastlinske vrste. Izsuševanje je zmanjšalo tudi gozdove. Ruski strokovnjaki ocenjujejo, da je v nekaterih delih Uzbekistana ostalo le od 15 do 20 odstotkov gozdov. Že od leta 2001 je problem kopičenja soli tako razširjen, da je na skoraj 70 odstotkih vseh namakanih obdelovalnih zemljišč v osrednji Aziji do neke mere negativno vplivala salinizacija. Čeprav je več kot pol vseh prizadetih zemljišč v Uzbekistanu, sta tudi sosednji državi, Turkmenistan in Kazahstan, prav tako močno prizadeti. Delež namakanih zemljišč, ki trpijo zaradi povečane slanosti, je narasel z 18 odstot-

kov leta 1990 na približno 64 odstotkov danes. To pomeni več kot 2,75 milijona hektarov zemljišč, ki so poškodovana zaradi slabega upravljanja voda. Paradoks je, da povečanje potrebe po vodi in povečana slanost zemljišča ogroža kmetijsko preživetje Uzbekistana. Bombaž je predvsem zelo občutljiv na slanost tal tako v času kalitve in pozneje v rodni fazi. Povečana slanost povzroča zmanjšanje pridelka in slabšo kakovost vlaken. Uzbekistanu bi se lahko zgodilo, da bi se prizadevanje za večjo pridelavo bombaža sprevrlo v njen propad.

**Herbert Kranjc**

#### Vir

[www.ejfoundation.org/pdf/white\\_gold\\_the\\_true\\_cost\\_of\\_cotton.pdf](http://www.ejfoundation.org/pdf/white_gold_the_true_cost_of_cotton.pdf) 28.08.2009.

<http://www.asianews.it/index.php?l=en&art=13599> 7.9.2009.

<http://www.laborrights.org/files/UzbekCottonOpenLetter.pdf> 7.9.2009.

## Posvetovanje Tekstilni dnevi Zagreb 2009: Nove tehnologije v današnjih razmerah poslovanja

Kljub slabim gospodarskim razmeram si organizatorji tradicionalnega posvetovanja v Zagrebu prizadevajo, da bi ta strokovna prireditev ostala kraj za srečanja strokovnjakov tekstilne in oblačilne stroke iz gospodarstva, izobraževalnih in raziskovalnih ustanov ter za izmenjavo informacij in znanja. Posvetovanje je v drugi polovici novembra organizirala Hrvaška inženirska zveza tekstilcev v sodelovanju s Tekstilno-tehnološko fakulteto v Zagrebu, Hrvaško gospodarsko zbornico, Zagrebško gospodarsko zbornico in Zagrebškim velesejmom ob finančni podpori Ministrstva za znanost, izobraževanje in šport. Prvi del posvetovanja je bil namenjen gospodarskim in trženjskim temam.

Uvodno predavanje *Mirjane Gambiroža Jukić* s Hrvaške gospodarske zbornice je bilo namenjeno predstavitvi položaja hrvaške tekstilne, oblačilne in usnjarskopredelovalne industrije in njeni perspektivi. Hrvaška tekstilna proizvodnja in proizvodnja oblačil se še naprej zmanjšujeta, večajo se zaloge oblačil. Skupaj z usnjariji imajo hrvaški tekstilci še vedno 10-odstotni delež izvoza v celotni hrvaški predelovalni industriji in prav tako zaposlujejo dobrih deset odstotkov vseh zaposlenih v celotni predelovalni industriji. Skrb zbujajoče je, da so se od leta 2007 drastično zmanjšale investicije. Predavateljica je poudarila, da so v letih 2008 in 2009 podjetja iz te panoge dobila več kot 200 milijonov kun pomoči, toda ni podatkov o gospodarskih učinkih te pomoči. Dodala je tudi, da očitno ni veliko podjetij, ki bi prepoznala svojo tržno nišo in našla svoj prostor za konkurenčno proizvodnjo. Prvi korak ni zgolj zmanjševati stroške, je menila, temveč je to optimizacija proizvodnje. Za rešitev panoge in hrvaškega gospodarstva je po njenem mnenju potrebna strukturna sprememba, pri čemer je treba reformirati korporativno razmišljanje in vnesti human odnos v poslovanje ter se opreti na proizvodnjo, ne pa na storitvene dejavnosti.

Podjetje Čateks, d. d., Čakovec, ki je s svojo 135-letno tradicijo eno najstarejših tekstilnih podjetij v jugovzhodnem delu Evrope, je v predavanju predstavil *Davor Sabolić*. Kljub napovedim o ugašanju tekstilne industrije v Evropi je Čateks svetel primer, ki potrjuje, da je z razvojem, visoko kakovostjo ter hitro odzivno proizvodnjo mogoče doseči uspeh. Poleg tekstilne proizvodnje in konfekcije je Čateks pred leti odprl tudi novo linijo za proizvodnjo umetnega usnja na osnovi poliuretana. V okviru plemenitilne proizvodnje (ognjevarne apreture, tisk, digitalni tisk in barvanje tekstilij) opravlja storitve tudi za zunanje naročnike. V okviru njihovega razvojnega dela velja omeniti še razvoj negorljive tkanine, večslojnega materiala in tkanine za uniforme lastne blagovne znamke.

Tudi podjetje Jadran tvornica čarapa, d.o.o., je primer uspešnega hrvaškega tekstilnega podjetja. V predavanju *Vinka Barišića* sta bili predstavljeni poslovna strategija in vizija tega podjetja, ki ves čas vlaga v posodabljanje tehnologije, spodbuja in zahteva inventivnost zaposlenih, spremlja modne trende ter kreira široko paleto izdelkov vrhunske kakovosti in prepoznavne blagovne znamke. Poleg celovitega nadzora kakovosti proizvodnje, v kateri

uporabljajo vrhunske surovine, skrbijo tudi za okolje, saj imajo najsodobnejšo tehnologijo za čiščenje odpadnih tehnoloških voda in vračanje vode v proizvodni proces.

Željko Penava s Tekstilno-tehnološke fakultete je predstavil razvoj Hrvaškega portala za tekstil in oblačila, ki je zaživel eno leto po prvi predstavitvi zamisli (<http://www.tekstil.com.hr>). Portal je kraj za kontakte, informacije, pridobivanje strokovnih nasvetov in pomoči za tekstilna podjetja in posameznike iz gospodarstva, za zdaj predvsem iz Hrvaške, pozneje pa za vso srednjo Evropo, je rekel predavatelj. Kljub slabim ekonomskim razmeram ali pa prav zaradi njih je dostop do portala prost.

Za hrvaška podjetja za proizvodnjo zaščitne opreme in oblačil ter vse uporabnike tovrstne opreme je bilo informativno predavanje o Ocenjevanju skladnosti osebne zaščitne opreme. *Marijan Povodnik* iz podjetja Mirta-Kontrol, d.o.o., je govoril o tem, kaj zahteva hrvaški Pravilnik o dajanju osebne zaščitne opreme na trg; pravilnik je bil objavljen v uradnem listu „Narodne novine“ št. 106/07. V predavanju je bilo tudi pojasnjeno, kakšen je postopek ocene skladnosti in ocenjevanja zaščitne opreme in oblačil, ter kako se izvaja.

V drugem delu posveta so bile na vrsti tehnološke teme.

Prvo predavanje v tem sklopu je imelo naslov Leto 2009 – Mednarodno leto naravnih vlaken, ki ga je predstavila *Marina Martek* s Tekstilno-tehnološke fakultete. Leto 2009 je namreč generalna skupščina ZN razglasila za leto naravnih vlaken, da bi bila čim bolj poudarjena vrednost naravnih vlaken za porabnike in za tekstilno proizvodnjo, sočasno pa tudi pomen teh vlaken za ohranitev živinoreje in poljedelstva. Z organizacijo številnih konferenc, razstav in modnih revij po vsem svetu za promoviranje pomena naravnih vlaken poskušajo spodbuditi povpraševanje in povečati učinkovitost proizvodnje naravnih vlaken.

V predavanju z naslovom Antibiotiki in antiseptiki v protimikrobni obdelavi bombažnega pletiva so avtorji *Anita Tarbuk*, *Ana Marija Grancarić* in *Barka Lesić-Domšić* razpravljali tako o pozitivnem kot tudi o negativnih učinkih preiskovanih sredstev in postopkov ter o njihovem vplivu na uporabnike. Na prvi pogled se sicer zdi, da je to zelo preprosto doseči, če je na voljo dobro protimikrobno sredstvo, vendar pa je večji problem obstojnost teh sredstev. Po drugi strani pa z dermatološkega vidika tudi niso vsa sredstva sprejemljiva. Protimikrobna za-

ščita preiskovanih sredstev je bila določena po standardu EN ISO 20645:2004, zaščita pred gljivicam pa po standardu EN 14119:2003.

Naslednji prispevek avtorjev *Snježane Firšt Rogale*, *Dubravka Rogaleja*, *Darka Ujevića* in *Slavenke Petrak* je govoril o inventivnih metodah v sodobnem oblačilnem inženirstvu. Prikazane so bile nove znanstvene, tehnične in tehnološke rešitve, ki se uporabljajo v proizvodnji oblačil in konfekcioniranju tehničnih tekstilij. Posebna pozornost je bila namenjena tehnološkim novostim, prikazanim na lanskem sejmu IMB v Kölnu.

Avtorji *Slavenka Petrak*, *Dubravko Rogale*, *Darko Ujević* in *Snježana Firšt Rogale* pa so govorili o novostih na lanskem sejmu IMB. Predstavili so značilnosti in zmogljivosti programskih paketov najpomembnejših svetovnih izdelovalcev na tem področju. Prikazali so tudi nekaj programskih paketov 2D/3 za računalniško simulacijo in animacijo oblačil in interaktivne prilagoditve krojev. Poseben poudarek pa so namenili uporabi tovrstnih programskih paketov za poslovanje po svetovnem spletu. Prikazali so tudi dosežke na področju 3D-skeniranja in antropometričnega brezstičnega merjenja telesa.

Prispevek *Iva Soljačića*, *Tanje Pušić* in *Tihane Dekanić* je predstavil ekološki vidik topil, ki se uporabljajo pri negi tekstilij v čistilnicah, s posebnim poudarkom na organskih topilih. Poudarili so ekotoksikološke in uporabne lastnosti danes najpogosteje uporabljenih topil: perkloretilena in ogljikovodikovih topil. Predstavili so tudi učinkovitost čiščenja in ekološko sprejemljivost alternativnih topil: ciklosiloksana in tekočega ogljikovega dioksida (LCO<sub>2</sub>). Omenili so tudi postopek čiščenja tekstilij v vodi, ki ima po njihovem mnenju dobre možnosti v kombinaciji s čiščenjem z organskimi topili.

Zadnji prispevek v tem sklopu z naslovom Uporaba naravnih zeolitov za odstranjevanje kromovih ionov iz odpadnih tekstilnih tehnoloških voda, katerega avtorji so *Branka Vojnović*, *Karmen Margeta*, *Štefica Cerjan-Stefanović* in *Mario Šiljeg*, je predstavil rezultate iz raziskave, v kateri so na primeru modelnih odpadnih tehnoloških voda preskušali učinkovitost naravnih zeolitov pri odstranjevanju kromovih ionov. Proučili so uporabo naravnega in modificiranega naravnega zeolita kot selektivnega adsorbenta za odstranjevanje kovinskih ionov iz odpadnih voda.

**Anica Levin**

# Rezultati ankete o posledicah dviga minimalne plače za prihodnost tekstilne, oblačilne in usnjarskopredelovalne industrije

Kaj bi zvišanje minimalnih plač na 600 evrov (bruto 855 evrov), kot so predlagali sindikati, pomenilo za podjetja iz slovenske tekstilne, oblačilne in usnjarskopredelovalne industrije? Glede na anketo, ki so jo tem podjetjem poslali z združenja tekstilne in usnjarskopredelovalne industrije pri GZS, bi dvig plač sprožil odpuščanje zaposlenih; po oceni strokovne službe panožnega združenja bi se število zaposlenih zmanjšalo za 40 odstotkov. Za nekatera podjetja pa bi to pomenilo celo prenehanje poslovanja. Na anketo je odgovorilo 15 podjetij, ki zaposlujejo 30 odstotkov (ali 4500 delavcev) vseh zaposlenih v tej panogi.

Vodstva anketiranih podjetij se sicer strinjajo, da bi predlagana neto minimalna plača dejansko pripomogla k ohranjanju dostojanstva tiste populacije državljanov, ki dela. Problem je samo v tem, da ji ne sledi celoten sistem javnih financ in zagotavljanja socialne varnosti. Visoki davki in prispevki, s katerimi so obremenjene plače, nazadnje pripeljejo do nizkih plač tistih, ki delajo, na drugi strani pa sprožijo velike apetite po socialnih transferjih. V realnosti tako obstaja možnost, da je nekdo, ki ne dela in je sposoben izkoristiti vse socialne transferje, ki jih ponuja država, finančno na boljšem kot delavec, ki opravlja težko fizično delo. Sindikati so pri tem spregledali tudi drugo dejstvo – predlagani znesek minimalne plače 855 evrov bruto presega izhodiščno oziroma osnovno plačo 7. tarifnega razreda po panožni kolektivni pogodbi tekstilcev in usnjarjev, ki od 1. avgusta 2009 znaša 758,41 evra bruto. Sledi torej, da bi morali ali zvišati osnovno plačo vseh tarifnih razredov ali pa uvesti popolno uravnilovko, ki ne spodbuja niti produktivnosti niti zavzetosti zaposlenih za delo.

Tekstilci in usnjarji ponovno opozarjajo, da bi morala vlada najprej zmanjšati obremenitve plač, predvsem v delovno intenzivnih panogah: naj vlada zniža prispevke in dajatve, s tem se bodo zvišale neto plače. Te bi avtomatično s povečanjem porabe polnile proračun. Da so obremenitve pri nas večje kot v državah, iz katerih prihaja naša konkurenca, sicer vsi odgovorni vedo, toda očitno niso pripravljene kaj storiti glede tega, saj so plače najboljša podlaga za pobiranje davkov in prispevkov. Med ukrepi tekstilci predlagajo tudi zmanjšanje javne porabe, in sicer število javnih uslužbencev, ki jih je na številnih področjih preveč, ter znižanje njihovih plač. Javna poraba se namreč povečuje, saj je ob osamosvojitvi znašala okrog 37 odstotkov bruto družbenega proizvoda, zdaj pa je ta delež že 43,3-odstoten.

## *Za tekstilce in usnjarje so dosedanji ukrepi premalo*

Anketirana podjetja menijo, da so dosedanji ukrepi vlade za rešitev iz gospodarske krize nezadovoljivi in nezadostni. Le malo podjetij iz tekstilne in usnjarskopredelovalne panoge je zadovoljnih z vladnima ukrepoma za rešitev iz krize, in sicer skrajšanje delovnega časa in nadomestilo za čakanje na delo.

Največ podjetij je sicer vključenih v ukrep skrajšanja polnega delovnega časa, to je več kot 50 odstotkov anketiranih družb, za drugi ukrep za rešitev iz krize, to je nadomestilo za čakanje na delo, pa se je odločilo le eno anketirano podjetje. Po mnenju anketiranih podjetij sta bila oba ukrepa sprejeta prepozno, poleg tega pa imajo preostale države EU glede tega kar nekaj boljših rešitev. Anketirana podjetja tudi menijo, da sta oba ukrepa odraz nesistemskega pristopa in iskanja kompromisov med socialnimi partnerji v škodo strokovnosti. Poleg tega je v praksi izvajanje obremenjeno z neznansko veliko administriranjem in z nejasnostmi pri izvajanju. Pri obeh ukrepih je veliko rešitev, ki niso logične. Po natančnem preračunu ob izvajanju kateregakoli od obeh zakonov je jasno, da še zdaleč ne pomenijo toliko ugodnosti za delodajalce, kot se zdi na prvi pogled. Menijo, da so sindikati zavajali delavce, da gre 60 evrov za plače, vrh vsega pa je 60 evrov normalno obdavčenih. Ukrep skrajšanja delovnega časa ni fleksibilen za prilagajanje povečanim potrebam. Če bi namreč delodajalci določen segment zaposlenih prerazporedili spet nazaj na 40 ur/teden, jih potem ne morejo več vključiti nazaj v skrajšani delovni teden, ko bi se za to pokazala potreba.

Večina anketiranih podjetij tudi ni zadovoljna z dostopom do finančnih virov; med ovirami za pridobivanje finančnih virov podjetja navajajo tudi nezaupanje bank v to panogo, dolgotrajne postopke in predraga posojila, visoke stroške pri najemanju posojil, povečane in celo nerazumljive zahteve bank pri razkritju podatkov, visoko raven zadolženosti podjetij in negotovost na strani bank glede pričakovanih bodočih poslovnih rezultatov podjetij zaradi svetovne gospodarske krize.

### *In kaj anketirana podjetja predlagajo?*

Med predlogi so povečanje fleksibilnosti na trgu dela, olajšanje dostopa do posojil in dopolnitev jamstvene sheme, ker ni zadostna, omejitev konkurence iz vzhodnih držav, ukrepi za zadrževanje aktivnega števila zaposlenih, sistemski ukrepi za izboljšanje tehnološke opremljenosti in konkurenčne sposobnosti gospodarstva, stabilni (zamrznjeni) plačni nivoji vsaj za prihodnjih 12 mesecev in javna naročila prilagoditi slovenskim proizvajalcem, in sicer – merila za javna naročila morajo biti takšna, da bodo izbrani slovenski proizvodi, saj so tudi plačani iz denarja slovenskih davkoplačevalcev. Najnižja cena ne sme biti najpomembnejše merilo pri izbiri izvajalca, ker je treba upoštevati tudi kakovost. Najnižja cena ne pomeni najboljših izbire z vidika stroškov v daljšem časovnem obdobju.

Največ predlogov podjetij iz te panoge se nanaša na *povečanje fleksibilnosti na trgu dela*, in sicer med drugim: delitev obveznosti plačila odpravnin odvečnim delavcem: do tri plače naj bi plačali delodajalci, razliko država. Tako bi v podjetjih lahko ohranili vitalni del zaposlenih, ne le najstarejše; čakanje na delo doma naj se uredi kot drugod in naj ga 100-odstotno financira država; država naj prevzame bremena plače in prispevkov za delavce, za katere v podjetju ni dela, vsaj za eno leto; preložili naj bi tudi odpravnine za odpuščene delavce na čas po krizi (zdaj naj jih „založi“ država); takoj bi morali sprejeti spremembe zakona o zavarovanju za primer brezposelnosti, kajti zato, ker še niso bile sprejete, še vedno ni mogoče skrajšati odpovednih rokov po noveli ZDR; omogočiti sofinanciranje oziroma subvencije države za pre zaposlovanje že med izvajanjem programov presežnih delavcev oziroma v času, ko se delavcem še izteka odpovedni rok; pristopiti k spremembam zakona o delovnih razmerjih in razbremenitvi delodajalcev za obveznosti do delavcev, ki izhajajo iz pravic socialnega zavarovanja,

še vedno pa finančno in organizacijsko bremenijo delodajalce – prenos obveznosti na državo in medsebojna uskladitev zakonodaje s teh področij.

### *Želijo obdržati usposobljene zaposlene*

Podjetjem iz tekstilne, oblačilne in usnjarskopredelovalne panoge, ki z izvozom ustvarijo v povprečju več kot 60 odstotkov vseh prihodkov, so se letos naročila na tujih trgih bolj zmanjšala kot doma. Največ podjetij je imelo letos v povprečju od 20- do 30-odstotni padec tujih naročil in prodaje. Pričakovanja za leto 2010 glede obsega naročil in prodaje na tujih trgih so bolj optimistična kot pri domači prodaji. Anketirana podjetja predvidevajo od 5- do 30-odstotni padec naročil, tri podjetja pa predvidevajo postopno rast naročil, med dvema in desetimi odstotki.

V polovici podjetij se likvidnost poslabšuje (kupci podaljšujejo zamude pri plačilih), pri 43 odstotkih je likvidnost enaka in le eno podjetje je odgovorilo, da se likvidnost v njihovi družbi izboljšuje.

Anketirana podjetja ocenjujejo, da bodo v tem letu zaradi manjših naročil zmanjšala število zaposlenih za več kot 500 delavcev, prihodnje leto pa še za nadaljnjih 165 zaposlenih.

V tej panogi sicer ne načrtujejo zmanjševanja števila zaposlenih vsa podjetja, vendar pa je to odvisno tudi od dviga minimalne plače. Število zaposlenih bodo prilagajali potrebam proizvodnje. Ker pa že usposobljenih zaposlenih ne želijo odpustiti, bodo še naprej izbirali vse mogoče ukrepe države, da bodo imeli, ko se bo položaj umiril in normaliziral, dovolj zmogljivosti za povečanje proizvodnje.

**Jožica Weissbacher**

*samostojna svetovalka*

*Združenje tekstilne, oblačilne  
in usnjarskopredelovalne industrije*

## Dan akreditacije 2009

V kongresnem centru Brdo pri Kranju se je v začetku decembra odvijal 11. Dan akreditacije. Tematski delovni naslov je bil *Merilna negotovost*. Odmevnost dogodka narašča in presega vsa pričakovanja

organizatorja. Število udeležencev, ki jih je bilo letos več kot 400, govori o obsegu in vpletenosti akreditacije na Slovenskem. Udeleženci posveta prihajajo tako iz gospodarstva kot tudi iz negospodarstva, kot so npr. razne javne ustanove, tj. zavodi, fakultete, inštituti ipd. Ravno omenjena raznolikost strokovnih področij, ki jih vključuje akreditacija, je za organizatorja letnega posveta velik izziv. Medtem ko odzivnost koristnikov in iskalcev informacij daje organizatorju nove ideje, navdih in motivacijo, da z zastavljenim delom nadaljuje in prihodnje leto ponovno združi raznoliko družbo v en prostor. Predvsem bi pri organizaciji dogodka omenil mag. Jurta Čižmana, pomočnika direktorja SA (slovenske akreditacije), ki mu kljub številnim poslovnim obveznostim, uspe, da je na dogodku vedno prisoten, in ne le-to, je tudi glavni moderator, organizator in ne nazadnje motivator, saj s svojo pozitivnostjo zna usmerjati in spodbujati prisotne k aktivnejši udeležbi, bodisi z zastavljanjem vprašanj predavateljem bodisi s konstruktivnimi pripombami in napotki udeležencem.

Enajsti posvet o akreditaciji je bil razdeljen na dva sklopa. Dopoldanski del je bil namenjen izvršnim akreditacijskim organom, popoldanski pa predvsem posrednim uporabnikom akreditacije. Predavanja prvega dela so pripravili strokovnjaki s Slovenske akreditacije (mag. Jure Čižman in dr. Jure Zupančič), z Urada RS za meroslovje (dr. Nineta Majcen) in s Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru (dr. Bojan Ačko). V prvem delu bi ponovno (enako kot na Dnevu akreditacije 2008) poudaril dr. Nineta Majcen z MIRS in predsednico Odbora za akreditacijo. Predavanje z naslovom „Uglašnost merilnih instrumentov v postopkih preskušanja“ je bilo povsem uglašeno z našim čutom za zaznavanje zvoka, saj smo vsi pozorno prisluhnili predavanju in se obenem tudi zamislili, kako se da drugače predstaviti relativno težavno in zahtevno področje. Predvsem je to podkrepila s primerom neuglašene in uglašene igranja dveh instrumentov. Izhajajoč iz predstavljenega lahko povzamem, da je usklajevanje različnih merilnih instrumentov (tehtnice, pipe, spektrofotometri ipd.) ključnega pomena pri zagotavljanju primerljivosti, tj. sledljivosti do enake referenčne vrednosti, pri čemer ne smemo pozabiti na merilno negotovost.

V prvem delu je omembe vredno še zanimivo predavanje izr. prof. dr. Bojana Ačka z Univerze v Mariboru, Fakultete za strojništvo, z naslovom „Prak-

tični pristop k vrednotenju merilne negotovosti kot temeljnega parametra kakovosti merilnih rezultatov“. Vsebina predavanja je zajemala kakovost in primerljivost merilnega rezultata, pogoste napake pri merjenju, definicijo in pomen merilne negotovosti ter vrednotenje le-te. Merilna negotovost je po definiciji parameter, ki je v tesni povezavi z merilnim rezultatom in ki označuje raztros izmerjenih vrednosti, ki jih je upravičeno mogoče pripisati merjeni veličini. Ovrednoti se na dva načina, in sicer na znanstvenega in na podlagi poenostavljenega prijema, tj. na podlagi tehnološkega znanja, kjer se upošteva vpliv posamezne veličine, izražene kot interval mogoče spremembe merilnega rezultata. Vrednotenje na podlagi znanstvene ali tehnološke presoje v glavnem temelji na izkustvih iz preteklosti, kot so: merilni rezultati iz preteklosti, izkušnje ali splošno pridobljeno znanje o obnašanju in lastnostih ključnih materialov oz. merilnih instrumentov, podroben opis izdelovalca o izdelku ali storitvi, podatki o kalibraciji in drugih spremljajočih dokumentih ter merilna negotovost k referenčnim podatkom. Hkrati je bilo poudarjeno, da je ozko grlo industrije ravno razpoložljivost merilnega rezultata ob pravem času in na pravem mestu ter zakaj je primerljivost pomembna; komunikacija med strankami, potrjevanje znanstvenih dognanj in merilnih zmogljivosti, kot so to organi za ugotavljanje skladnosti. Sklepi predavanja dr. Ačka so bili:

- kakovostno podan merilni rezultat mora vsebovati podatek o merilni negotovosti,
- merilna negotovost je pomemben dejavnik pri odločanju o skladnosti z zahtevami,
- vrednotenje merilne negotovosti temelji na poznavanju vseh pomembnih vplivnih veličin in
- zahtevnost vrednotenja merilne negotovosti je odvisna od zahtevane točnosti merilnega rezultata.

#### *O kakovosti in varnosti naših izdelkov*

Drugi del 11. strokovnega posveta o akreditaciji je zajemal pet predavanj predstavnikov institucij, ki akreditacijo posredno uporabljajo. V tem sklopu so predstavile svoje videnje Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije (mag. Emilija Bratož), Zveza potrošnikov Slovenije (Boštjan Okorn), Ministrstvo za gospodarstvo, Direktorat za notranji trg (mag. Irena Možek Grgurevič) in Slovenska akreditacija (dr. Boštjan Godec). Iz tega dela bi omenil predavanji Boštjana Okorna z Zveze potrošnikov Slovenije in pre-

davanje dr. Boštjana Godca s Slovenske akreditacije. „Varstvo potrošnikov in varnost izdelkov“ je ena ključnih dejavnosti Zveze potrošnikov Slovenije. Z akcijami preverjanja izdelkov za široko porabo, dostopnih na trgu, želijo obveščati javnost o ustreznosti in skladnosti deklaracije, zapisane na izdelku. Njihova vpletenost v akreditirane organe je posredna. Sami nimajo akreditiranih laboratorijev za preskušanje s trga odvzetih vzorcev, zato uporabljajo storitve tistih laboratorijev, ki akreditacijo imajo. Njihovo področje informiranja je široko in zajema: avdio, video, foto; dom in vrt; hrano in pijače; osebno nego; nasvete in zakonodajo; okolje; otroka; potovanja in prevoze; trg in cene; zdravje; osebne finance; računalniško opremo in telefonijo. Osnovno vodilo proizvajalcev naj bi bilo, da mora biti vsak izdelek varen in da mora izpolnjevati zahteve varnostnih standardov. Nekaj ugotovitev o varnosti izdelkov na slovenskem trgu:

- kar 19 izdelkov iz skupine malih gospodinjskih aparatov, svetilk, svetlobnih nizov, delov za računalnike (napajalniki, zvočniki ipd.) je bilo varnostno spornih oz. so bili označeni z „nevarni za uporabo“;
- v skupini strojev tipa „naredi sam“ je bil od 15 preskušenih izdelkov en nevaren in sedem varnostno spornih;
- na področju osebne varovalne opreme (OVO) je predvsem zaznati varnostno pomanjkanje, ki pa dajejo potrošnikom lažen občutek varnosti.

In kako se dejansko izvaja neodvisno primerjalno testiranje izdelkov ali storitev? Najprej potrošniška organizacija kupi izdelek oz. storitev, ki je že na trgu. Pri tem je pomembno, da proizvajalci do konca testa ne vedo, da je njihov izdelek na preskusu. Preverjajo se lastnosti, ki jih proizvajalci obljublja v oglasih in na sami embalaži, kot so: tehnične lastnosti, skladnost s standardi, praktična uporabnost, funkcionalnost, trajnost, stroški uporabe, okoljska sprejemljivost, družbena odgovornost ponudnikov ipd. Preverjanje se izvaja v usposobljenih laboratorijih, po možnosti akreditiranih, ki imajo natančno opisane načine preskušanja, merila za presojo kakovosti in podeljevanje testnih ocen in način ocenjevanja. Pomen preskušanja v akreditiranih laboratorijih pa ni le v navedenem, ampak je tudi v tem, ker so edini, ki zagotavljajo neoporečne rezultate, omogočajo ponovljivost, v primeru spora pomenijo popolno pravno varstvo pred sodiščem in predvsem, ker imajo znanje in izkušnje za potrebe potrošniških organizacij. Pri dodelitvi končne ocene presku-

šanega izdelka ali storitve imajo največji vpliv: uporabnost izdelka za potrošnika, varnost in zdravje ljudi ter okolja. Organizacija se ne omejuje zgolj na ugotavljanje skladnosti izdelka ali storitve z veljavno zakonodajo in predpisi. Kadar gre za presojo varnosti, so njihova merila pogosto strožja od zakonsko predpisanih. Rezultate preskušanja je dovoljeno objaviti le v neodvisnih revijah, tj. v revijah, ki ne vsebujejo oglasnih sporočil ponudnikov storitev, sponzorjev, proizvajalcev, uvoznikov, distributerjev ipd. V Sloveniji je to revija VIP, ki je dosegljiva tudi na svetovnem spletu, in sicer na naslovu [www.zps.si](http://www.zps.si). Izbira ustreznih akreditiranih laboratorijev jim omogoča, da trdno stojijo za svojimi rezultati, na podlagi katerih so pripravili t. i. „test VIP“. Pojasniti pa je treba tudi, kaj pomeni znak „test VIP“. Na prvem mestu je objektivna informacija o kakovosti izdelkov, ki jih potrošnik najde na prodajnih mestih in na podlagi katerih naj bi odločitev o nakupu enakega izdelka, npr. pustnega kostuma, različnih izdelovalcev, bila izvedena. Izdelke z znakom „test VIP“ lahko opremijo izdelovalci, distributerji oz. prodajalci. Tako pa so lahko označeni le tisti izdelki, ki so bili testirani. Znak podeljujejo pri testih, izvedenih po najvišjih standardih potrošniških organizacij, ki v celoti zajemajo merila, ki bi jih potrošnik moral upoštevati pri nakupu. Potrošniki bi morali v večji meri upoštevati priporočila Zveze potrošnikov Slovenije, saj nam brezplačno in predvsem neodvisno dajejo pomoč pri izbiranju kakovostnih in trajno naravnanih, energijsko varčnih, ekološko prijaznih in zdravju neškodljivih izdelkov in storitev.

Sklepno predavanje na letošnjem Dnevu akreditacije je pripadlo direktorju SA dr. Boštjanu Godcu. Predavanje z naslovom „Rezultati analize planov uporabe akreditacije v obdobju do leta 2014“, je bilo naravnano na podrobnejšo predstavitev SA, njeno vpetost v mednarodno okolje, pomembnost obstoja tovrstnega organa na državni ravni in vpogled ter smernice širjenja dejavnosti. Rast akreditiranih organov (AO) se najbolj povečuje na področju preskušanja (81 AO) in kontrole (92 AO), medtem ko je število kalibracijskih (21 AO) nespremenjeno že vse od leta 2003 in certifikacijskih (13 AO), od 2007. Kljub povečevanju števila akreditiranih organov se število zaposlenih na SA ne zvišuje vzporedno s trendom rasti akreditiranih organov. Leta 1996 so bili zaposleni le štirje. Do konca leta 2009 se je število zaposlenih povečalo na 15. To veliko pove o pritisku na posameznega člana SA in o



povečanem obsegu dela, ki pogosto pripelje do podaljšanja odzivnega časa na vloge in presojo laboratorijev, ki želijo pridobiti akreditacijo. Pa vendar trg narekuje širitev dejavnosti, predvsem širjenje v javni sektor. V shemo akreditiranja so se vključila ministrstva za gospodarstvo, za okolje in prostor, za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, za zdravje, za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo, za promet in za notranje zadeve. V EU je v okviru EA MLA (European Accreditation Multilateral Agreement) akreditiranih 21.110 organov. Od tega je 11.022 preskuševalnih laboratorijev, 4877 kontrolnih organov, 2269 kalibracijskih laboratorijev, 826 proizvodnih certifikacijskih organov, 746 QMS (Quality Management System), 647 zdravstvenih laboratorijev, 360 EMS (Emergency Medical Services), 289 certifikacijskih organov za osebje in 74 GHG (General Healthcare Group). Področja, na katerih bo akreditacija v svetu imela čedalje pomembnejšo vlogo, so:

- splošna tehnična varnost izdelkov in storitev ter varstvo potrošnikov,
- zdravje ljudi in živali,
- sheme certificiranja prehrane,
- varnost v prometu in
- ekologija, predvsem učinkovitejša raba energentov in zmanjševanje emisij.
- Na širjenje zahtev po akreditaciji bodo po besedah dr. Boštjana Godca vplivali predvsem:
  - nova Uredba 765/2008, tj. paket za proizvode;
  - zahteve potrošnikov po varnih in kakovostnih proizvodih ter storitvah;
  - usmeritev države po urejenem okolju gospodarske in negospodarske panoge.

Predavanje se je končalo s projekcijo za prihodnja leta. Podana je bila napoved ne le do leta 2014, tako kot je bilo podano v naslovu predavanja, temveč vse do leta 2019, ko vodstvo SA predvideva precej linearno povečevanje števila akreditacij. Kot je bilo že omenjeno, je bilo v letu 2009 v Sloveniji 210 AO. V nadaljnjih petih letih naj bi se število AO povečalo na 260 in do leta 2019 na 350. Podane projekcije in napovedi so plod izjemno ambiciozno naravnane vodstva SA in temeljijo na zastavljenih in udejanjenih ciljih iz leta 1996, ko je bila SA ustanovljena.

Letošnji strokovni posvet o akreditaciji je minil z vidika nekoga, ki mu akreditacija ne pomeni primarne delovne obveznosti, opazno bolj zanimivo in uporabno. Raven posredovanja znanja se zvišuje, a žal v celoti še vedno ne dosega zastavljenega cilja, ki je držati se teme predavanja, jo podati na slikovitejši način, retorično in didaktično popolnejše ter predvsem, kar je za poslušalca navsezadnje najpomembnejše, držati se dodeljenega časa. Ravno pri tem smo Slovenci najbolj nedosledni. Organizator bo v prihodnje moral nastopiti bolj avtoritativno in kateremu od predavateljev morda celo izključiti mikrofona, da bo le-ta dojel, da je njegov čas potekel. Zgolj opozarjanje ne zadostuje. Predolga predavanja postanejo dolgočasna in kljub obetavni temi nezanimiva. Celostno gledano gredo z moje strani pohvale organizatorju dogodka, tj. delovni skupini na SA, pooblaščenim za izvedbo tradicionalnega posveta o akreditaciji.

**Klemen Možina**



Foto: Klemen Možina

## Sistem nadzora nad kemikalijami REACH je vzpostavljen, kaj pa izdelki za široko porabo?

Skladno z določili nove evropske kemijske zakonodaje REACH je Evropska agencija za kemikalije (ECHA) s sedežem v Helsinkih v predregistracijo prejela (rok za predregistracijo je bil do 1. decembra 2008) 143.000 snovi, ki jih je predložilo okrog 65.000 podjetij. V predregistracijski postopek je bilo vključenih tudi 234 slovenskih podjetij, ki so do tega roka predregistrirala 4853 snovi. Možnost za predregistracijo je bila dana za že obstoječe snovi na evropskem trgu. Od lanskega decembra pa teče rok za registracijo bodisi novih snovi ali pa za tiste, ki jih podjetjem ni uspelo predregistrirati v roku. Po podatkih Evropske agencije za kemikalije so do konca lanskega septembra podjetja (po zadnjih podatkih) predložila v registracijo 156 snovi, ki so še v postopku preverjanja, torej ni nujno, da bodo vse snovi potrjene za uporabo.

Cilj nove uredbe o kemikalijah REACH, ki je začela veljati 1. junija 2007, je izboljšanje varovanja zdravja ljudi in okolja pred tveganji, ki so povezana z uporabo najrazličnejših kemikalij. Evropa je to naredila zato, da bi zajela nenadzorovano trgovanje s kemijskimi snovmi in da bi lahko lažje nadzorovala številne kemikalije, ki so v prometu. Nova uredba zajema namreč vse kemikalije, nevarne in nenevarne, razen tistih, ki so izrecno izvzete iz obsega in so v uredbi posebej navedene. Sistem REACH torej posega v celotno dobavno verigo – od proizvodnje do trgovine oz. uvoza snovi in pripravkov. Zamisel o uveljavitvi sistema REACH je, da bi zagotovila sledljivost kemikalij, njihovih izdelovalcev in distributerjev.

Že ob predstavitvi nove uredbe je bilo iz industrije slišati kar nekaj pripomb tako glede samega operativnega izvajanja kot tudi s povsem ekonomsko-financijskih vidikov; omenimo samo evropsko tekstilno-oblečilno panogo, ki je v zadnjem desetletju

veliko izgubila zaradi poceni uvoza iz Kitajske in iz drugih vzhodnoazijskih držav: registracija vseh snovi po sistemu REACH bo še podražila proizvodnjo tekstilij, za katere se uporabljajo specifična plemenitilna sredstva. Zato je vprašanje, ali se bo še splačala proizvodnja tovrstnih tekstilij z visoko dodano vrednostjo, je bilo slišati v panogi. Nejasno je bilo tudi, kako bo mogoče izvesti pregleden seznam registriranih in predregistriranih snovi, da se ne bi prijave posameznih snovi podvajale, saj je veliko podjetij, ki uporabljajo eno in isto snov pod različnimi komercialnimi imeni in so določeno snov prijavljali tako proizvajalci kot njihovi distributerji oz. uporabniki.

Ta številnost se je pokazala že v predregistraciji, saj so na agenciji prejeli okoli dva milijona predregistracij za približno 140.000 snovi, ki so jih morali torej najprej urediti, primerjati, da so prišli do realnega števila.

Da bi registracijo snovi, ki zdaj poteka, naredili pregledno po posameznih panogah, je uredba REACH predvidela tudi ustanovitev forumov za izmenjavo informacij o snoveh (SIEF – *Substance Information Exchange Forum*), katerih namen je spodbujati izmenjavo podatkov med podjetji in tako preprečevati podvajanje študij (nepotrebno testiranje) ter doseči dogovor o razvrščanju in označevanju; forume SIEF oblikujejo podjetja, ki nameravajo registrirati isto snov, ureja pa jih panoga, ne agencija ECHA. Zato morajo podjetja navezati stik s svojim panožnim združenjem za informacije o razpoložljivih orodjih za upravljanje teh forumov, kar pomeni, da morajo člani določenega foruma sami organizirati strukturo in komunikacijo v forumu. Tista podjetja, ki nameravajo opraviti registracijo snovi do 1. decembra 2010, se morajo že zdaj pridružiti forumu. Vsi forumi pa morajo izbrati tudi glavnega registracijskega zavezanca, kar je po uredbi REACH opredeljeno kot obvezna vloga. Uredba sicer ni predvidela zasnov prehodnih forumov na podlagi predregistracije, temveč je bil predhodni forum uveden za združevanje predregistracijskih zavezancev in spodbujanje oblikovanja forumov. Tako se morajo podjetja v vsakem predhodnem forumu (glede na predregistracijo) na podlagi podrobne proučitve identitete snovi odločiti, ali je mogoče določeno snov dejansko šteti za isto.

Glede na vse to je pričakovati, da bo v nekaj letih vendarle na trgih EU vzpostavljen jasen pregled kemikalij in tistih, ki jih proizvajajo in distribuirajo.

### *Sistem RAPEX za hitro obveščanje o nevarnih končnih izdelkih*

Takšne sledljivosti in nadzora, kot naj bi jo v EU zagotovil sistem REACH za kemikalije, pa za zdaj še ni mogoče zagotoviti za končne izdelke. To priznavajo tudi v naših vladnih ustanovah. Načelo svobodne trgovine oz. prostega pretoka blaga, ki je formalno-pravno uzakonjeno v okviru Svetovne trgovinske organizacije, ustreza namreč vsem tistim proizvajalcem, uvoznikom in trgovcem, ki poceni končne izdelke za široko porabo lahko v velikanskih količinah uvažajo na trg EU iz držav, ki še zdaleč nimajo takega sistema za nadzor nad varnostjo izdelkov, kot ga opredeljuje evropska direktiva. Torej kljub veljavnim uredbam EU za nadzor nad varnostjo izdelkov se prav zaradi neetičnosti proizvajalcev, trgovcev in distributerjev na trgovskih policah znajdejo izdelki, ki so zdravju škodljivi in celo nevarni. To se lahko dogaja kljub veljavnemu zakonu o splošni varnosti proizvodov in zakonu o kemikalijah zato, ker za izdelke v prostem prometu ne velja tako sistematičen, strog in stalen nadzor, temveč lahko ustrezne inšpekcijske službe take sporne izdelke najdejo po naključju, ob rednih inšpekcijskih pregledih. Da bi EU vendarle vsaj do neke mere zajezila pretok takih zdravju škodljivih ali nevarnih izdelkov za široko porabo, je na ravni EU vzpostavila sistem hitre izmenjave informacij o nevarnih proizvodih RAPEX, ki je namenjen obveščanju med Komisijo EU in pristojnimi državnimi organi v državah članicah. Države članice so morale vzpostaviti interno strukturo na dveh ravneh: ena je kontaktna služba pri Komisiji oz. nacionalna kontaktna točka, ki Komisiji EU pošilja in od nje prejema vse informacije, ki se izmenjujejo po sistemu RAPEX; druga raven je nacionalna mreža določene države, ki vključuje vse organe, odgovorne za varnost izdelkov; to so pristojne inšpekcije, ki nacionalni kontaktni službi pošiljajo in od nje prejemajo uradna obvestila in odzive. Cilj sistema RAPEX je torej hitra izmenjava informacij o nevarnih proizvodih, ki so jih pristojne inšpekcije odkrile v neki državi članici EU, da tudi v preostalih državah članicah inšpekcije preverijo, ali so ti izdelki v prodaji tudi na njihovem trgu, in da se ti izdelki umaknejo iz prodaje.

Nacionalna kontaktna točka sistema RAPEX za Slovenijo je pri Tržnem inšpektoratu RS s sedežem na Parmovi ulici v Ljubljani.

Ko nacionalna kontaktna točka RAPEX posreduje obvestilo pristojni inšpekciji v reševanje, mora ta

v okviru svoje pristojnosti in odgovornosti proučiti prejeto informacijo, da bi ugotovila, ali je določeni izdelek (o katerem so prejeli informacijo, da je sporen) tudi, na primer, na slovenskem trgu. Zato opravijo določeno število pregledov po vsej Sloveniji, da ugotovijo morebitno prisotnost določenega izdelka. Seveda je poleg teh informacij, ki jih Slovenija dobi po sistemu RAPEX, pomemben tudi nadzor, ki ga pri nas izvajajo pristojni nadzorni organi, to sta Urad za kemikalije RS (kemijska varnost) in Tržni inšpektorat RS (mehanska varnost izdelkov) v okviru njihovih rednih pregledov ali pa na podlagi suma o spornosti izdelkov, ki ga izrazijo porabniki, potrošniške organizacije ali carinske službe. Kot so povedali na Uradu za kemikalije, njihova Inšpekcija za kemikalije izvaja inšpekcijske preglede na podlagi letnega načrta, kjer so določene tudi akcije nadzora z odvzemom vzorcev predmetov splošne rabe zaradi domnevne sporne kemijske varnosti izdelkov. Koliko takih pregledov so „na podlagi letnega načrta“ opravili njihovi inšpektorji glede kemijske varnosti izdelkov, nam niso povedali. So se pa sklicevali na to, da lahko vsak inšpektor tudi v okviru rednega nadzora odvzame vzorec in odredi analizo nevarnih oz. prepovedanih kemikalij v izdelkih za široko rabo, če posumi na nepravilnost. Poudarili so tudi, da je pri naključnih odvzemih vzorcev mogoče le naključno ugotavljati nepravilnosti. Če inšpektor pri nadzoru ugotovi nepravilnosti, ki jih zakon opredeljuje kot prekršek, ima pravico in dolžnost (saj je Inšpekcija za kemikalije skladno z Zakonom o prekrških tudi prekrškovni organ), da ukrepa po zakonu o prekrških in upošteva vsa znana dejstva za posamezen primer.

Na Tržnem inšpektoratu RS, pooblaščenem za preverjanje mehanske varnosti izdelkov, pa so v letu 2008 na podlagi javnih naročil z ustreznimi neodvisnimi laboratoriji izvedli več kot 200 vzorčenj različnih izdelkov.

Vsaka inšpekcija ima na svojih spletnih straneh drugače organizirano rubriko RAPEX oz. dostop do informacij o spornih in nevarnih proizvodih, ki so kupcem na voljo na slovenskem trgu, pravijo na Tržnem inšpektoratu RS. Da bi potrošniki lažje pridobili informacije o izdelkih, ki so nevarni in so v prometu na slovenskem trgu, bi bilo smotrno zagotoviti osrednje obveščanje, menijo na inšpektoratu, zato so glede tega že poslali pobudo na ministrstvo za gospodarstvo – na direktorat za notranji trg. Toda še vedno takega osrednjega obveščanja o teh

izdelkih na slovenskem trgu na enem mestu nismo zasledili, temveč so te informacije na različne načine razpršene na spletnih straneh pristojnih nadzornih institucij. Na uradni spletni strani evropskega Rapexa so sicer v angleščini objavljena poročila o najdenih spornih izdelkih iz vseh držav EU (kemijsko in mehansko nevarnih).

*Ali načelo zdravja in varnih izdelkov za široko rabo v resnici prevladuje nad načelom svobodne trgovine?*

V Sloveniji imamo Zakon o splošni varnosti proizvodov (Ur. list RS, št. 101/03), ki je bil oblikovan na podlagi evropske *Direktive o splošni varnosti proizvodov 2001/95/ES*. Namen tega zakona je zagotoviti, da se na trg dajejo samo varni proizvodi, v njem pa so med drugim določena merila ugotavljanja varnosti proizvodov, obveznosti, ki jih morajo izpolnjevati proizvajalci in distributerji, vsebina in postopki za posredovanje informacij Evropski uniji ter vrste nadzora nad varnostjo proizvodov. Toda neuskajenost z operativnim izvajanjem našega zakona o varnosti izdelkov v drugih državah EU je v tem, da smo glede na razumevanje evropske direktive dosledneje vgradili tudi določilo, da mora vsak dobavitelj izdelka na deklaracijo zapisati ime proizvajalca, so nam med drugim povedali na ministrstvu za gospodarstvo. Po direktivi Evropske komisije je obveznost za izpolnjevanje določila o zagotavljanju varnosti izdelka porazdeljena med distributerji in proizvajalci. Zakon je treba razumeti kot krovni predpis, ki se uporablja tako za proizvode, za katere ni posebnih predpisov, kot tudi za proizvode, za katere ti predpisi obstajajo, vendar nimajo določb, ki bi zagotavljale izpolnjevanje vseh zahtev za zagotovitev varnega proizvoda na trgu. Za proizvode, za katere obstajajo predpisi, se ta zakon uporablja v celoti, za tiste, za katere obstajajo posebni predpisi, pa se zakon uporablja v zvezi z vidiki oziroma vrstami nevarnosti, ki niso urejene s temi predpisi. Po definiciji iz te direktive je proizvajalec tisti, ki prvi da izdelek na trg EU (četudi je le trgovec oz. uvoznik). Zelo veliko je uvoznikov in trgovcev, ki jim ni mar za izpolnjevanje zahtev tega zakona oz. direktive o splošni varnosti, čeprav jim grozi denarna kazen ali celo prepoved opravljanja dejavnosti, ker očitno kratkovidno mislijo le na to, da bi v čim krajšem času čim več zaslužili – po načelu dokler bo šlo, bo šlo. Sicer to bolj velja za manjše trgovce in uvoznike – muhe enodnevnice, večji trgovski sistemi pa

si seveda ne upajo tvegati in si privoščiti prepovedi opravljanja dejavnosti. Dejstvo je, da je 40 odstotkov odkritih nevarnih proizvodov takih, katerih poreklo ni znano.

Vsa zdajšnja evropska zakonodaja teži k temu, da bi bili izdelki varni in ekološko neoporečni, in kljub načelu svobodne trgovine oz. prostega pretoka blaga je načelo zdravja in varne proizvodnje nad tem ekonomskim načelom, poudarjajo na ministrstvu za gospodarstvo. Zato si Evropska komisija prizadeva, da bi ta zakonodaja, ki je za zdaj lokalna, delovala tudi globalno. Zato želi sodelovati z državami zunaj EU na področju varnosti proizvodov. Ena teh oblik mednarodnega sodelovanja je npr. Memorandum o sodelovanju med Evropsko komisijo in institucijo AQSIQ (Administration for Quality Supervision, Inspection and Quarantine) iz Kitajske, katerega cilj je na trgu EU zmanjšati število nevarnih kitajskih proizvodov. Glede na statistične podatke je namreč še vedno polovica vseh nevarnih proizvodov iz Kitajske. Evropska komisija organizira tudi izobraževanje in usposabljanje tamkajšnjih nadzornih organov glede splošne varnosti izdelkov in sistema RAPEX. Tako je direktivo za sistem RAPEX sprejela tudi Kitajska. Tovrstno obveščanje velja zdaj na svetovni ravni (sporazumi z ZDA in Latinsko Ameriko ...).

Težko je reči, kdaj bo evropska zakonodaja o proizvodnji in distribuiranju varnih končnih izdelkov udejanjena globalno, saj so zadaj interesi velikih korporacij in njihova pohlepnost ne pozna meja.

**Anica Levin**

## Poslovanje tekstilne in oblačilne panoge v prvih devetih mesecih letos

Letošnji podatki o poslovanju tekstilne in oblačilne panoge potrjujejo, da ta panoga preživlja najhujši pretres v zadnjih dveh desetletjih. Že letošnji polletni rezultati, ki so bili oktobra predstavljeni na seji

upravnega odbora združenja tekstilne, oblačilne in usnjarskopredelovalne industrije, so razkrili dražično zmanjšanje pri vseh ekonomskih kazalcih. Tudi glede na devetmesečne podatke o poslovanju ni videti, da bi se krivulja poslovanja kaj kmalu obrnila navzgor, kot so še pred pol leta optimistično upali in celo napovedovali nekateri ekonomski analitiki. Edina svetla točka je vsaj to, da zmanjšanje proizvodnje, prihodkov, zaposlenosti idr. v tej panogi ni bilo tolikšno kot v prvem polletju in da so bila v septembru nova naročila večja kot v letošnjem avgustu. Zelo tanek žarek upanja se tako kaže v tem, da čedalje več evropskih kupcev želi kupovati izdelke, narejene v EU. Očitno do tega preobrata v odločitvah potrošnikov prihaja prepozno in prepočasi za številna tekstilna in oblačilna podjetja ...

Primerjalni podatki s preostalo slovensko predelovalno industrijo kažejo tudi, da je tekstilna, oblačilna in usnjarskopredelovalna panoga v slabšem položaju kot preostala industrija.

V devetih mesecih je bilo namreč v tekstilni in usnjarski panogi *zaposlenih* 16.978 delavcev, kar je 8,7 odstotka vseh zaposlenih v slovenski predelovalni industriji; podatki kažejo, da število zaposlenih bolj upada v tekstilni, oblačilni in usnjarskopredelovalni industriji kot v preostali industriji, saj je bilo v letošnjem septembru v primerjavi z lanskim povprečno 20 odstotkov manj zaposlenih v tekstilni, oblačilni in usnjarskopredelovalni panogi, medtem ko se je v preostali slovenski predelovalni industriji število zaposlenih v tem času zmanjšalo za okoli 12 odstotkov. Najbolj se je število zaposlenih zmanjšalo v oblačilni industriji, namreč kar za dobrih 1800 ljudi, v proizvodnji tekstilij pa za dobrih 1400 zaposlenih.

Tudi *proizvodnja* tekstilij in oblačil je bila v letošnjih prvih devetih mesecih občutno manjša kot lani v tem času: proizvodnja tekstilij za dobrih 57 odstotkov manjša, proizvodnja oblačil pa dobrih 37 odstotkov manjša kot lani. Celotna panoga – tekstilci, konfekarji in usnjarji – je v letošnjih prvih osmih mesecih *izvozila* za 367 milijonov evrov izdelkov; vse tri skupine proizvajalcev so izvozile precej manj kot lani, in sicer tekstilci 41 odstotkov manj, izdelovalci oblačil 36 odstotkov manj, izdelovalci usnja in usnjenih izdelkov pa 23 odstotkov manj. V preostali slovenski predelovalni industriji pa je bil izvoz za dobrih 22 odstotkov manjši kot lani v prvih osmih mesecih. Glede na manjši izvoz in manjšo domačo prodajo so občutno upa-

dli tudi *prihodki od prodaje*, in sicer pri tekstilcih za okrog 52 odstotkov, v oblačilni industriji pa za okoli 35 odstotkov, kar je celo večji padec prihodkov kot v prvem polletju.

Kot smo navedli uvodoma, podatki za september kažejo rast *novih naročil* v primerjavi z avgustom letos, kar je vsaj zmanjšalo padec novih naročil glede na letošnje prvo polletje; v prvem polletju je bilo namreč dobrih 38 odstotkov manj naročil kot v enakem času lani, v letošnjih prvih devetih mesecih pa so nova naročila zaostajala „le še“ za 29 odstotkov glede na enako obdobje lani.

*Cene* so bile pri izdelovalcih tekstilij v prvih devetih mesecih za dober odstotek višje kot lani, pri izdelovalcih oblačil pa 0,3 odstotka višje. *Bruto plače* v panogi še vedno daleč zaostajajo za povprečjem v preostali slovenski predelovalni industriji: v proizvodnji tekstilij za blizu 20 odstotkov, v proizvodnji oblačil pa kar za 37 odstotkov.

Anica Levin

## Magistrska dela s področja tekstilne tehnologije in oblikovanja v letu 2009

*The Master Theses from the Field  
of the Textile Technology and Textile  
and Clothing Design in 2009*

Arijana Gadžijev

*Vizualizacija zgodbe o Urški in povodnem  
možu*

*Visualization of a Story about Urška and the Water  
Man*

Mesto Ljubljana je mesto kulture, zgodovinskih trenutkov in edinstvenih zgodb. Med najbolj znanimi je zgodba o Urški in povodnem možu, ki jo največji slovenski pesnik France Prešeren opeva v roman-

tični baladi Povodni mož. Zgodba o Urški in povodnem možu pripoveduje o vihravi ljubezni, katere usodnost se dogaja v srcu mestnega jedra, stari Ljubljani, pred očmi številnih meščanov. Za Ljubljančane je postala legenda, ki krepi specifiko glavnega mesta. Vizualna realizacija zgodbe v tekstilne izdelke je smiselna in dobrodošla, saj lahko z umetniško in komercialno uporabo zbudimo pozornost njenih obiskovalcev in omogočimo večjo prepoznavnost slovenske prestolnice.

Značaja Urške in povodnega moža sta v Prešernovi pesnitvi slikovito prikazana, zato je Arijana Gadžijev vizualizacijo njune zgodbe ustvarila z načinom oblikovanja ilustriranih junakov ali „Character Designom“. Tovrstno oblikovanje prikazuje karakterizacijo likov, vizualno oblikovanje značajev, ki kot močan, univerzalni jezik neposredno komunicira z opazovalcem. Njegov pomen je v vizualni predstavi čustev, v odkrivanju človeške podzavesti in prikazu sveta, kakršen resnično je.

V magistrskem delu je predstavljena vizualizacija tekstilnih izdelkov, kjer je odnos Urške in povodnega moža avtorica interpretirala in nadaljevala v kolekcijah ženskih oblačil in modnih dodatkov ter v kolekcijah majic, torbic in lutk, s potiskanimi ilustracijami obeh junakov. Izdelki so bili predstavljeni na samostojni razstavi, kjer je avtorica lahko neposredno opazovala učinek ilustriranih junakov na obiskovalce.

Vizualizacija zgodbe o Urški in povodnem možu je rezultat sožitja stare zgodbe in bogate kulturne zapuščine z novim, sodobnejšim oblikovalskim pristopom. Oživitev legende popestri značaj prestolnice, jo približa prebivalcem in obiskovalcem. Njena sporočilnost poziva k zavedanju drugačnosti, medsebojnemu spoštovanju ter zavračanju zakoreninjenih predsodkov družbe.

ARIJANA GADŽIJEV se je rodila leta 1981 v Ljubljani. Med študijem Oblikovanja tekstilij in oblačil na Naravoslovnotehniški fakulteti v Ljubljani je sodelovala pri številnih projektih, razstavah in modnih dogodkih doma in v tujini. Septembra 2004 je za kolekcijo multifunkcionalnih torbic na Bienalu industrijskega oblikovanja prejela skupinsko nagrado za dobro zasnovo. Od februarja do junija 2006 se je dodiplomsko izpopolnjevala na priznani šoli za oblikovanje Designskolen Kolding v Koldingu na Danskem. Avgusta 2007 je v Dalianu na Kitajskem na mednarodnem natečaju mladih oblikovalcev „2007 Dalian Cup China International Youth

Fashion Design Contest“ predstavila kolekcijo oblačil na temo olimpijskih iger, za katero je prejela spominsko nagrado. Med priznanimi slovenskimi modnimi oblikovalci je prvič nastopila junija 2008, v okviru prvega ljubljanskega Modnega tedna, kjer je predstavila svojo magistrsko kolekcijo oblačil. Svoje celovito magistrsko delo z naslovom „Vizualizacija zgodbe o Urški in povodnem možu“ je prikazala na prvi samostojni razstavi, v galeriji T5 Project Space v Ljubljani. Razstavo so pripravili v okviru Meseca oblikovanja 2008, predstavljala pa je kolekcijo oblačil, modnih dodatkov, majic in tekstilnih lutk. Po končanem podiplomskem študiju je svojo pot nadaljevala kot oblikovalka oblačil in tekstilij ter ilustratorka.

Njen način dela temelji na konceptualnem razmišljanju, ki ga realizira v funkcionalne in sodobne oblike, ki izražajo njen osebni pogled. Rada povezuje stare, včasih tradicionalne zgodbe s sodobnim načinom življenja in jih oblikuje v tako imenovane „urbane legende“. Velikokrat je del njenega ustvarjalnega procesa ilustracija, ki jo pogosto vkomponira v modno in tekstilno oblikovanje. Svoja dela izraža tudi v obliki „Character Designa“, v katerem povezuje ilustracijo, modno oblikovanje in oblikovanje tekstilnih lutk (oblikovalskih igračk).

V preteklem letu je sodelovala pri številnih projektih in dogodkih, med drugim na ljubljanskem Modnem dnevu, kjer je predstavila kolekcijo oblačil, imenovano „Oka's nest“. V oktobru je svojo zadnjo kolekcijo oblačil, imenovano „Nocturne“, predstavila v ljubljanskem Mestnem muzeju. V okviru Meseca oblikovanja 2009 pa je za svoje magistrsko delo prejela nagrado „perspektivni 2009“ za modno oblikovanje. Magistrsko delo je bilo narejeno pod mentorstvom doc. Almir Sadar.

Njena dela si je mogoče ogledati na: [www.arijana-gadzijev.com](http://www.arijana-gadzijev.com).

*The City of Ljubljana is a city of culture, historical moments and unique stories. One of the best known stories is about a young girl Urška and a mythological creature, the water man. The story is a romantic ballad titled Povodni mož (The Water Man), written by the Slovenian greatest poet, France Prešeren. The main subject is the turbulent love between Urška and the water man, which takes place in the old city centre in front of everybody's eyes. The story became a legend for the citizens of Ljubljana and invigorates the specificity of the capital. A visual realisation of the story through textile products seems reasonable*

and welcome. With an artistic and commercial use of such products, we could make the Slovenian capital more recognizable.

The characters of Urška and the water man are described very picturesquely in Prešeren's ballad; therefore, the authoress decided to visualize their story through a Character Design. Character Design is a characterisation, visual design of characters that communicate directly in the form of a profound universal language. Its intention is a visual representation of feelings, discovering human subconscious and presenting the world in its true existence.

In her Master Thesis, she presents visualizations of textile products, where she has interpreted and continued the relationship between Urška and the water man. She has created a collection of womenswear, fashion accessories, handbags, T-shirts and dolls, the last three being overprinted with illustrations of both characters. She presented all textile products on her first solo exhibition, where she has directly observed the impression the characters left on the visitors.

The visualization of the story about Urška and the water man is a result of the symbiosis between an old story originating from the rich cultural heritage and a new, contemporary design approach. Reviving the legend can enrich the character of Ljubljana and intensify its connection with the citizens and visitors. The message of the visualization lies in the importance of difference, mutual respect and discrediting deep-rooted prejudices of society.

ARIJANA GADŽIJEV was born in 1981 in Ljubljana, Slovenia. While studying Fashion and Textile Design at the Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, she participated at many art projects, exhibitions and fashion events, home and abroad. In September 2004, she received the Collective Good Design Project Award at Biennial of Industrial Design BIO-19<sup>th</sup> in Ljubljana for a collection of multifunctional bags. As a guest student from February to June 2006, she studied Fashion Design at Designskolen Kolding in Denmark. In August 2007, she was invited to take part in 2007 'Dalian Cup' China International Youth Fashion Design Contest with the theme 'Creative Olympic Beijing'. She presented a collection of clothes inspired by Lotus flower and gained a memorial prize. Her first debut among respected Slovenian fashion designers was at Ljubljana's Fashion Week in June 2008, where she presented her Master Thesis collection of clothes. Her first solo exhibition took place in T5 Project Space Gallery in

Ljubljana during the event 'Month of Design 2008', where she exhibited her Master Thesis project 'Visualization of a Story about Urška and the Water Man' that included a collection of clothes, accessories, T-shirts and designer toys. After finishing her Master's Degree of Art in Ljubljana in 2009, she started working as a fashion and textile designer and illustrator.

Her approach to work is based on conceptual thinking that tends to develop into functional and contemporary forms, expressing her personal attitude. She combines old, sometimes traditional stories with a contemporary lifestyle and forms them into the so-called 'urban myths'. Constantly flirting with illustration, she incorporates it into textile and fashion design. She also likes expressing her work through Character Design, combining illustration, fashion and designer-toy creation.

In the past year, she worked on many projects and attended events, such as Ljubljana's Fashion Day, a fashion show organized by Slovenian fashion designers, where she presented her collection 'Oka's nest'. In October 2009, she presented her most recent collection 'Nocturne' in the City Art Museum Ljubljana. At the event Month of Design 2009 in November 2009, she gained the fashion design award 'Perspektivni 2009' (Perspective 2009) for her Master Thesis project 'Urška and the Water Man'. She elaborated her Master Thesis work under the mentorship of assist. prof. Almira Sadar.

Her work can be seen at [www.arijanagadzijev.com](http://www.arijanagadzijev.com).

Maja Ratajc

### Dilema med posodabljanjem in zamenjavo blagovnem znamke

*The Dilemma between Modernization and Re-establishment of a Brand*

Več dejavnikov, predvsem pa oblikovalska zrelost, so Majo Ratajc prepričali, da se je v nadaljevanju svojega študija usmerila v industrijsko oblikovanje. Povabljena je bila v tekstilno tovarno Lisca, kjer je kmalu postala svetovalka v razvoju in oblikovalka znamke Cheek by Lisca. Kljub omejitvam je ohranila navdušenje nad igrivostjo v likovni umetnosti in oblikovanju, saj je z igrivim pristopom laže, bolj sproščeno in veselo gledati na probleme. Iskrenost in neposrednost svoje otroške narave odkriva v preprostih, nežnih in nazornih risbah ter barvitih vzorcih, polnih humorja in prispevob.

Pravi, da z vzorci ustvarimo razpoloženje in laže pripovedujemo zgodbe, ki jih ubesedimo z vizualnimi in taktilnimi znaki. Navdušujejo jo tiskani vzorci, ker delujejo sodobno in mladostno. Perilo in vrhnja oblačila, pa tudi druge tekstilije z vzorcem in barvo pridobijo osebni izraz, postanejo očarljivi, nekaj posebnega. Maja Ratajc serije svojih vzorcev pogosto poimenuje z naslovi, da bi jih tako laže umestila v različne kontekste.

Glede na današnjo modo za mlade je Maja Ratajc pri oblikovanju za Cheek by Lisca razmišljala, kako bi celovito predstavila vzdušja, nove načine nošnje ter možnosti sestavljanja. Hkrati s spodnjim perilom si je namreč zamislila tudi vrhnja oblačila – majice, tunike, pižame, srajčke, trenirke, nogavičke in modne dodatke – ali pa je perilo preprosto oblikovala kar kot samostojno oblačilo.

V svojih kreativnih razmišljanjih je izhajala iz linije Natural, ki so jo v Lisca namenili liniji dnevnega perila iz naravnih vlaken ekološke predelave, s koži prijaznimi materiali, skladnimi z zdravim načinom življenja. Za Majo Ratajc pa je bilo pomembno tudi, kako na prodajnem mestu zbuditi pozornost mladih. Stojalo, obešalnik in embalažo je združila v en predmet – obešalnik/vrečko. Bilo bi tudi manj odpadkov in dodatno zavijanje ne bi bilo potrebno. Vsak kos iz serije Bonsai, kot je Maja Ratajc poimenovala svojo zamisel Natural, bi imel priloženo transferno nalepko, ki bi jo lahko prilepili tudi na poljubno oblačilo iz garderobe. Po njenem mnenju bi prodajni katalog lahko bila domiselna zloženka, kjer bi bile predstavljene možnosti sestavljanja različnih delov oblačila, skupaj z vabilom na internetno stran z igrkami.

Pri oblikovanju za blagovno znamko Cheek by Lisca pa je Maja Ratajc združila vse svoje izkušnje. Celovitost zamisli je bolj kot na modne težnje navezala na umetnostnozgodovinske postavke. Vzporedno z vzdušji je nastajala tudi obširna knjiga vzorcev, le da je bilo zaradi tržnih omejitev dejansko izvedenih samo nekaj vzorcev.

Inventivnost njenih zamisli je vidna v različnih interpretacijah že uveljavljenih zmožnosti industrijske proizvodnje, le da Maja Ratajc razume spodnje perilo precej širše, kot del kulture oblačenja. Vedno ponudi različne možnosti uporabe, tudi v povezavi z vrhnjimi oblačili za spanje, rekreacijo in prosti čas ter modnimi dodatki.

Njeno magistrsko delo je nastalo pod mentorstvom izred. prof. Marije Jenko.

MAJA RATAJC se je rodila leta 1981. Po končani gimnaziji v Brežicah je študij nadaljevala na Oddelku za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete v Ljubljani, kjer je z odliko diplomirala leta 2005 in magistrirala leta 2009. Tik pred diplomom se je pol leta izpopolnjevala na področju tekstilne umetnosti na HDK v Goteborgu na Švedskem. Z različnimi kolekcijami oblačil se je zelo uspešno predstavila na več modnih revijah in drugih predstavitev Katedre za oblikovanje tekstilij in oblačil, za svoj prispevek v okviru projekta Dve dimenziji in pol pa je bila na 19. mednarodnem bienalu industrijskega oblikovanja (BIO) v Ljubljani tudi nagrajena. Je navdušena planinka in padalka.

*Many factors, esp. her maturity and awareness of design thinking, led Maja Ratajc to continue her studies towards industrial design. She was invited to work for the Slovenian textile factory Lisca, where she has become a research consultant and a fashion designer for the brand Cheek by Lisca. In spite of many restrictions, she managed to preserve her sense of humour and playfulness when composing visual art and design. She believes that problems can be solved more easily and quickly with a playful approach. Her creativity is based on innocent and straight behaviour of her unspoiled infant nature revealed in her delicate, clear and colourful drawings, completed with humour and comparisons.*

*She eagerly claims that textile patterns create an atmosphere revealing visual and tactile stories with their own characteristic signs. She is enraptured with printed patterns and thinks of them as modern and juvenile. Patterned, under- and outerwear, as well as other textiles become much more charming, something special. Maja Ratajc enthusiastically allocates titles to her series of patterns to place them into different contexts.*

*Regarding the up-to-date fashion for the young, Maja Ratajc is constantly thinking of how to present her creations for Cheek as a whole atmosphere, how to propose new ways of wearing and possibilities of combining different garment items. Together with women's underwear, she also creates outerwear – pyjamas, shirts, training suits, socks and accessories – or she simply designs underwear as an independent piece of clothing.*

*In her innovative thoughts, she proceeded from another brand of Lisca – Natural, which is dedicated to women's everyday underwear from natural fibres made through an ecological production, with mate-*



rials which are skin-friendly and in accordance with a healthy way of living. Maja Ratajc was also determined to attract the attention of the young in many other ways. Therefore, she decided to merge a stand, a hanger and a package together into one item, called a 'hanging bag'. Every item from the collection *Bonsai*, as Maja named her *Natural* idea, would also have some transferable labels enclosed which could be stuck on various wardrobe items. According to Maja, a selling catalogue could function as a display of different proposals for wearing combinations including the invitation to internet video games.

In the designing for *Cheek* by *Lisca*, Maja Ratajc gathered all her experiences and wisdom. She orientated the wholeness of her design execution more on artistic-historical background than on fashion predictions, although in the industry, the latter should not be neglected. Simultaneously, a large interesting book of textile patterns was created. So far, only a few of them have really been produced due to severe market restrictions.

The innovativeness of new products for *Lisca* from Maja Ratajc is displayed in various interpretations of the already introduced industrial production; however, the most valuable is her view on underwear as a part of the whole garment culture. She is always thinking of how to offer different wearing possibilities. It is amazing how many new solutions she has already found with her interdisciplinary approach, where she eagerly combines various fields of fashion – sportswear and accessories.

MAJA RATAJC was born in 1981. After finishing secondary school in Brežice, she continued her studies

at the Department of Textiles at the Faculty of Natural Sciences and Engineering in Ljubljana, where she graduated in 2005 and recently defended also her Master Thesis. Right before acquiring her Bachelor's Degree, she went to a very fruitful student's exchange to the Faculty of Art and Craft (HDK) in Gothenburg, Sweden. With various fashion collections, she was represented on several fashion shows of her domain faculty. Her contribution to the mutual project 'Two Dimensions and a Half' has been awarded on the 19<sup>th</sup> International Biannual of Industrial Design in Ljubljana. She is an enthusiastic mountain climber and a parachute jumper.

Renata Barbara Rudolf

### Moška moda in mediji

*Men's Fashion and Media*

Magisterij Renate Barbare Rudolf „Moška moda in mediji“ je sestavljen iz teoretičnega in eksperimentalnega dela. Magistrska naloga zajema teoretični del skozi najbolj vidne medije, prek katerih se je zapisala zgodovina moškega oblačenja in akta, in sicer skozi umetniško sliko in kipe, modno ilustracijo, fotografijo in interaktivne digitalne medije.

Moški kot umetniška figura nastopa v kipih in predvsem v slikah, odkar so ljudje začeli svoje dogodke, obrede upodabljati na stenah jam, papirusu itd. Na začetku so bili upodobljeni goli, potem v oblačilih tistega časa, pozneje, že v antični Grčiji, pa je bilo to odvisno od trenda, kako so umetniki upodabljali moške: kot akte ali v modno oblečenih oblačilih.

V 19. stoletju se je začela bolj uveljavljati modna ilustracija, nastala je predvsem v krojaške namene. Različni časopisi so objavljali modne ilustracije kot trende, ki se nosijo v mondeni družbi. S tem je bila obremenjena predvsem visoka družba, srednji sloj pa je slabše sledil trendom. Moškemu so bile namenjene cele knjige modnih idej: od oblačil za vsak dan, oblačil za lov in šport, do večernih smokingov in frakov. Detajli so bili tako nazorni, da sta se videla struktura in vzorec tkanine, celo barve oblačila. To so bile zelo dodelane slike, vendar ne umetniške. Izražale so zgolj tehnične podatke oblačila. Sredi 19. stoletja je nastala fotografija, pozneje tudi modna fotografija, vendar se fotografija v moški modi razvije šele v 60. letih 20. stoletja. S tem močno izpodrine modno ilustracijo. Nastanejo modni časopisi in revije, kot so *L'Uomo Vogue*, *Mondo Uomo*. V 70. letih je bil fo-



Foto: Maja Ratajc

tograf še dokaj neznan, pozneje je njegovo ime postalo skoraj pomembnejše kot ime modnega kreatorja. Pravzaprav je kar nekaj fotografov dvignilo samo blagovno znamko v svet pomembnih in iskanih.

Modni fotografiji pa otežujejo in obenem olajšujejo delo interaktivni digitalni mediji, ki so nepogrešljivi v civilizirani družbi. Brez računalnikov, interneta, digitalnih fotoaparatorov in drugih tovrstnih pripomočkov skorajda ne bi mogli slediti trgu in zahtevam potrošnika.

Eksperimentalni del zajema moško modno ilustracijo in sliko ter njuno analizo z vidika umetniško-tehnične razčlembे nastanka in končnega izdelka. Modna ilustracija kot umetniška slika je bila avtorici izziv za proučevanje modnega moškega skozi umetnost. Moški akt je tudi svojevrsten izziv za umetnika, vendar se je kandidatka hotela držati teme, ki jo spremlja že večji del njenega življenja, in to je moška moda.

Izdelava spletne strani kot novodobni tehnološki pripomoček pa je bila pri tem še dodaten izziv z modnega in oblikovalskega vidika.

Magistrsko delo je nastalo pod mentorstvom prof. Darka Slavca.

Magistrica umetnosti s področja oblikovanja tekstilij in oblačil RENATA BARBARA RUDOLF se je rodila 9. oktobra 1973 v Ljubljani. Prvi naziv univ. dipl. inž. obl. tekst. in oblačil je pridobila z zagovorom diplomskega dela na Naravoslovnotehniški fakulteti Oddelka za tekstilstvo v Ljubljani 29. januarja 1999, naziv mag. umetnosti s področja oblikovanja tekstilij in oblačil pa 19. marca 2009 s potrditvijo senata NTF Univerze v Ljubljani.

*Renata Barbara Rudolf's Master Thesis 'Men's Fashion and Media' consists of two parts, i.e. theoretical and experimental. The theoretical part leads through the most visible media where the history of men's clothing and nude art has been mentioned, especially through paintings and sculptures, fashion illustrations, photography and interactive digital media.*

*Men as art objects have been mainly appearing in small sculptures and paintings ever since people began drawing their rituals, special moments on walls of caves, papyruses etc. At the beginning, they were formed nude, later in the clothes of their time. However, already in the antique Greece, it depended on the trend how the artists shaped and formed men – nude or fashionably dressed up.*

*In the 19<sup>th</sup> century, fashion illustration began to appear more intensely, most of all for tailor's trade pur-*

*poses. Many newspapers started publishing fashion illustrations as trends wearable in the cosmopolitan society, which concerned mostly high society, since the middle class could only follow them superficially. Men had a vast range of trend books at their disposal they could follow fashion-wise – casual clothing, hunter suits and sportswear, and especially evening suits and tailcoats. The illustration details were so clear that a detailed structure and pattern of the fabric could be seen. The illustrations were of high quality, but not artistic. They only showed technical details of the garment. In the middle of the 19<sup>th</sup> century, photography appeared and was later followed also by fashion photography; however, men's fashion photography did not develop before the 1960s. Fashion photography almost completely replaced fashion illustrations. Some new fashion newspapers and magazines were founded, e.g. L'Uomo Vogue, Mondo Uomo etc. In the 1970s, being a photographer was almost an unknown occupation, while later on, fashion photographers were sometimes even more respected than fashion designers. Furthermore, quite a few fashion photographers helped a fashion trade mark to enter a world of importance and fame.*

*Nevertheless, interactive digital media do cause some problems, and at the same time help fashion photography. IDM are infallible in the civilized society. It is almost impossible to follow the market and consumer needs without computers, World Wide Web services, digital photo cameras etc.*

*The experimental part of the Master Thesis completes the fashion illustration and painting with their analysis from the artistic-technical point of view and the analysis of the formation and final work of art. Fashion illustration as artistic painting was a great challenge in studying men in fashion through art. Men nude art is also a special challenge for an artist, however, Renata Barbara Rudolf wanted to keep the primal motif accompanying her for almost the biggest part of her life, and that is men's fashion.*

*Putting up an internet website – a modern technical contribution – was a special challenge from the fashionable and designing point of view.*

*Renata Barbara Rudolf, MA in Textile and Fashion Design, was born on 9 October 1973 in Ljubljana. She completed her undergraduate studies and acquired the title BA in Textile and Fashion Design by defending her thesis at the Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles in Ljubljana on 29 January 1999. Moreover, she acquired the title*

*Master of Arts in Textile and Fashion Design on 19 March 2009, with the confirmation from the Senate of the Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana.*

Barbara Jeznik

### Izbor naravnih materialov v sistemih s pritrjeno biomaso za čiščenje odpadnih vod

*Application of Different Natural Materials as Biomass Support in Wastewater Treatment Systems with Fixed Biomass*

Magistrska naloga temelji na raziskavi problematike tekstilnih odpadnih voda iz barvarn. Raziskovalno delo je potekalo na treh laboratorijsko pripravljenih odpadnih kopelih, ki so poleg barvil (ena je vsebovala 1:2 kovinsko kompleksno barvilo, dve pa reaktivno barvilo) vsebovale še tekstilna pomožna sredstva in kemikalije. Odpadne kopeli so realne kopeli iz barvarn, za katere je bil v raziskovalnem delu uporabljen postopek biološkega čiščenja s pritrjeno biomaso. Kot nosilci biomase, ki so pri čiščenju tudi aktivno sodelovali, so bili uporabljeni: lesne gobe, apnenec, zeolit in šotni granulati.

V nalogi so opisane metode dela, ki so bile uporabljene z namenom, da se razišče vpliv različnih sestav odpadnih kopeli in različnih nosilcev na učinek čiščenja tekstilnih odpadnih kopeli iz barvarn. S spektroskopsko analizo je bila na podlagi izmerjenih absorbanc določena stopnja razbarvanja barvila in spektralni absorpcijski koeficienti za odpadne vode pred čiščenjem in po njem. Z merjenjem parametrov onesnaženosti se je ugotavljala učinkovitost različnih nosilcev biomase. Z določanjem pH, oksidacijsko redukcijskega potenciala in električne prevodnosti so se ugotavljale spremembe v odpadni kopeli po čiščenju. Določili so se tudi osnovni parametri sistema, kot so poroznost nosilca in zadrževalni časi v sistemu. Določile so se lastnosti in vpliv vseh barvil, kemikalij in tekstilno pomožnih sredstev v odpadnih kopelih ter lastnosti izlužkov nosilcev biomase in njihov vpliv na učinek čiščenja.

Sklepi na podlagi rezultatov so pokazali, da so določeni nosilci biomase primernejši za čiščenje določenih odpadnih kopeli. Lesne gobe in šotni granulati so primerni za čiščenje močno alkalnih odpadnih kopeli. Apnenec je lahko primeren za čiščenje odpadne kopeli, ki vsebuje barvilo C.I. Acid Blue 158,

medtem ko je zeolit primeren za čiščenje odpadne kopeli, ki vsebuje barvilo C.I. Reactive Yellow 15.

BARBARA JEZNIK se je rodila 29. novembra 1971 v Slovenj Gradcu. Po končani Srednji šoli tehniško-naravoslovne in pedagoške usmeritve na Ravnah na Koroškem se je leta 1990 vpisala na univerzitetni študij Tekstilne tehnologije na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Med študijem se je skoraj dva meseca strokovno izpopolnjevala v podjetju Manofakturas Antonio Gassol S.A v Saltu v Španiji. Diplomirala je 24. junija 1997 in s tem pridobila naziv univerzitetno diplomirane inženirke tekstilne tehnologije. Leta 1998 se je zaposlila v podjetju R.T.S., d.o.o. v Radljah ob Dravi. Po enem letu pa se je zaposlila v podjetju Grammer Automotive Slovenija, d.o.o., v Slovenj Gradcu, kjer je bila zaposlena skoraj deset let. Od 1. januarja 2010 bo svoje znanje delila s sodelavci iz Palfinger Systema, d.o.o., v Mariboru. Magistrsko delo z naslovom „Izbor naravnih materialov v sistemih s pritrjeno biomaso za čiščenje odpadnih vod“ je izdelala pod mentorstvom doc. dr. Darinke Fakin in somentorstvom red. prof. dr. Aleksandre Lobnik. Zagovor magistrskega dela je bil 23. decembra 2009.

*The Master Thesis sheds light onto the problem of textile wastewater from colouring plants. It describes the content of three baths prepared in a laboratory and used in the research process, which consisted of textile auxiliaries and chemicals as well as dye (one bath contained 1:2 complex metal dye, two contained reactive dye). Waste baths are as real baths from the dye works where we applied the process of biological treatment with fixed biomass in our research. The following biomass supports were actively involved in the treatment process: polypore mushrooms, limestone, zeolite and granulated peat.*

*The thesis describes the work methods used to explore the influence of different content of waste baths and various carriers on the treatment effect. UV/VIS spectroscopic analysis based on the measured absorbance was used to determine the level of dye discoloration and spectral absorption coefficients for waste water before and after the treatment process. By measuring pollution parameters, we determined the effectiveness of various biomass supports. By determining the pH level, oxidation reduction potential and electrical conductivity, we determined the changes in the characteristics of the waste bath after the treatment process. We also determined the basic system parameters, e.g. biomass support porosity and retainment period*

of the system. We determined the characteristics and the influence of used dyes, chemicals and textile auxiliaries in the waste baths, as well as the characteristics of biomass support eluates and their influence on the treatment effect.

The conclusions based on the collected data showed that certain biomass supports are more effective in the treatment process of certain waste baths. Polypore mushrooms and granulated peat are best suited for the treatment of highly alkaline waste baths. Limestone can be used for waste baths containing C.I. Acid Blue 158 dye, whereas the effectiveness of zeolite is clearly seen in the treatment of the waste baths containing the C.I. Reactive Yellow 15 dye.

Barbara Jeznik was born on November 29, 1971 in Slovenj Gradec. After finishing the Secondary School of Technical Science and Pedagogical Orientations in Ravne na Koroškem, she started studying Textile Technology at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor. During her study, she worked for 2 months at the company Manofakturas Antonio Gassol in Salt in Spain. She graduated on June 26, 1997. In 1998, she started working at the company R.T.S. Ltd in Radlje ob Dravi. After a year, she took up a job at the company GRAMMER Automotive Slovenija Plc in Slovenj Gradec. She has been working there for almost ten years now. From January 1, 2010 on, she is going to share her experience and knowledge with her co-workers at Palfinger System Ltd in Maribor. She elaborated her Master Thesis titled 'Application of Different Natural Materials as Biomass Support in Wastewater Treatment Systems with Fixed Biomass' under the mentorship of Assist. Prof. Dr. Darinka Fakin and comentorship Prof. Dr. Aleksandra Lobnik. She defended her Master Thesis on December 23, 2009.

Vera Vivod

### Zamreženje celuloznih tekstilnih substratov z nenasičenimi karboksilnimi kislinami

*Crosslinking of Cellulose Textile Substrates Using Unsaturated Carboxylic Acids*

Magistrsko nalogo z naslovom „Zamreženje celuloznih tekstilnih substratov z nenasičenimi karboksilnimi kislinami“ smo izdelali v angleščini pod mentorstvom izr. prof. dr. Bojane Vončina in somentorstvom red. prof. dr. Charles Q Yanga z Univerze v Georgiji (Athens) v ZDA in je pomemben

znanstveni prispevek na področju obdelave celuloznih tekstilnih substratov za doseganje polifunkcionalnih lastnosti in varovanja okolja.

V magistrski nalogi smo proučili uporabo mešanice nasičene bifunkcionalne karboksilne kisline (maleinska kislina) in natrijevega hidrogen fosfata I kot reagenta za doseganje polifunkcionalnosti bombažnega substrata. Preiskovali smo kemijske reakcije med maleinsko kislino (MA) in natrijevim hidrogen fosfatom I (SHP) v trdnem stanju pri povišani temperaturi ter proces zamreženja MA in adicije SHP na dvojno C=C vez MA, vezane na bombaž. Potek kemijskih reakcij mešanic MA in SHP v trdnem stanju smo proučili s FT-Raman in ATR FT-IR spektroskopijo. Pri tem smo raziskali vpliv temperature, časa segrevanja in molarnih razmerij med obema komponentama mešanice na mehanizem reakcije.

Bombažni substrat smo obdelali z obdelovalnimi kopelmi, ki so vsebovale MA/SHP. Proučili smo tudi vpliv molarnih razmerij med obema komponentama v obdelovalni kopeli na učinkovitost aperture. S sistemom MA/SHP obdelan celulozni tekstilni material je lahko potencialno ognjevaren in ima hkrati vrhunske lastnosti (nemečkljivost, dimenzijska stabilnost). Mehanizem estrenja MA na hidroksilne skupine celuloze in adicijo SHP na C=C dvojno vez maleinske kisline smo proučili z ATR-FT IR in ramansko spektroskopijo. Vsebnost fosforja na obdelanem tekstilnem substratu smo določili z atomsko emisijsko spektroskopijo ICP. Končni rezultat zamreženja hidroksilnih skupin celuloze s sistemom MA/SHP smo ovrednotili z merjenjem kotov razgubanja.

Ugotovitve so naslednje: sistem MA/SHP lahko uporabimo kot potencialni ognjevarni reagent, saj vsebuje fosfor in hkrati lahko tako obdelanemu materialu izboljšamo nemečkljivost.

VERA VIVOD se je rodila 25. decembra 1977 v Mariboru. Po končani Srednji tekstilni šoli v Mariboru se je leta 1996 vpisala na univerzitetni študij tekstilstva, smer Oblačilno inženirstvo na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru, kjer je leta 2003 tudi diplomirala. Kot študentka se je tri mesece strokovno izpopolnjevala pod mentorstvom prof. Davida Lewisa in dr. Matthewa Clarka na Univerzi v Leedsu, na Oddelku za barvno kemijo v okviru mednarodne izmenjave študentov Erasmus Socrates. Leta 2004 se je vpisala na podiplomski študij tehničnega varstva okolja za pridobitev magisterija znanosti na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ma-

riboru. Enaintridesetega marca 2009 je uspešno zagovarjala magistrsko nalogo. Med podiplomskim študijem je bila dvakrat po eno leto zaposlena v Laboratoriju za kemijo, barvila in polimere Oddelka za tekstilne materiale in oblikovanje na Fakulteti za strojništvo kot raziskovalka. Osebna bibliografija v obdobju 2001–2009 zajema 16 enot, od katerih so najpomembnejše: trije izvirni znanstveni članki v revijah s faktorjem vpliva, šest objavljenih znanstvenih prispevkov na konferencah in pet objavljenih povzetkov znanstvenih prispevkov.

Trenutno je kot raziskovalka zaposlena v Laboratoriju za kemijo, barvila in polimere Oddelka za tekstilne materiale in oblikovanje na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru.

*The Master Thesis 'Crosslinking of Cellulose Textile Substrates Using Unsaturated Carboxylic Acids', which was written in English and performed under the mentorship of Assoc. Prof. Bojana Vončina and comentorship of Prof. Charles Q Yang from the University of Georgia, Athens, USA presents an important scientific contribution for the technological applications in the textile treatments to achieve a multifunctional properties of cellulose substrates and in the field of environmental protection.*

*In this research, the use of an unsaturated bifunctional acid (maleic acid) and a phosphorus-containing inorganic compound (sodium hydroxyphosphinite) to obtain additional functionality of cotton fabric was studied. The first reaction mechanism of maleic acid (MA) and sodium hydroxyphosphinite (SHP) was investigated in solid state at elevated temperature. Further on, the crosslinking of MA and additional reaction of SHP on double bond of MA linked to cotton was studied.*

*The chemical reactions between MA and SHP were investigated by using FT-Raman and ATR FT-IR spectroscopy. The influence of time, temperature and molar ratio of MA and SHP of prepared mixtures in solid state on the reaction mechanism was investigated.*

*MA/SHP system has potential flame retardant and durable press functions when applied to cotton cellulose. The esterification mechanism of MA to hydroxyl groups of cellulose and addition of SHP to C=C was investigated by ATR FT-IR and FT-Raman spectroscopy. The phosphorus content on the treated cotton fabrics was measured with ICP atomic emission spectroscopy. The final results of MA/SHP system crosslinked to hydroxyl groups of cellulose were evaluated with WRA.*

*It was shown that MA/SHP system could be used as potential flame retardant system, since it contains phosphor. Furthermore, the textile material treated in such a way has durable press finishing properties.*

*Vera Vivod was born on December 25, 1977 in Maribor. After finishing Secondary School of Textile in 1996, she matriculated into the undergraduate programme of clothing engineering at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor. During her undergraduate study, she spent three months as a visiting student of Erasmus Socrates Programme for exchange students in England at the University of Leeds, Colour Chemistry Department under the supervision of Prof. David LEWIS and Dr. Matthew CLARK. She graduated in clothing engineering in 2003 and continued her studies in the postgraduate programme in autumn 2004. On March 31, 2009, she successfully defended her Master Thesis at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor.*

## Doktorska dela s področja tekstilne tehnologije ter oblikovanja tekstilij in oblačil v letu 2009

*Doctoral Theses from the Field  
of the Textile Technology and Textile  
and Clothing Design in 2009*

Brigita Tomšič

**Vpliv apreture na biorazgradnjo naravnih  
celuloznih vlaken**

*Influence of Finishing on Biodegradation of Natural  
Cellulose Fibres*

V doktorski disertaciji so bili predstavljeni novi postopki kemijske modifikacije za zaščito tekstilnih vlaken pred biorazgradnjo z namenom oblikovati funkcionalne tekstilne izdelke z visoko dodano vrednostjo. Kompleksnost procesa biorazgradnje

tekstilnih vlaken in njegove negativne posledice na uporabne lastnosti tekstilnih izdelkov so bile obravnavane s tehnološkega, higienskega in estetskega vidika. Podrobno so bili proučevani dejavniki, ki vplivajo na biorazgradnjo, pri čemer je bil poudarjen pomen kemijske apreture za zmanjšanje njene hitrosti in stopnje. Pripravljene so bile večfunkcionalne protimikrobne apreture po postopku sol-gel, ki je omogočil oblikovati nanokompozitni organsko-anorganski hibridni apreturini film z visoko pralno obstojnostjo. Pri teh raziskavah je bilo izjemno dragoceno sodelovanje z raziskovalci Laboratorija za spektroskopijo materialov Kemijskega inštituta v Ljubljani.

Učinkovita protimikrobna zaščita celuloznih vlaken je bila dosežena s kombinacijo srebrovega klorida, organsko-anorganskega zamreževala in perfluoriranega alkoksasilana. Lastnosti apreture so bile določene z različnimi mikroskopskimi (SEM, TEM) in spektroskopskimi (FT-IR, XPS, EDXS) metodami, masno spektrometrijo (ICP-MS), mikrobiološkimi testi in meritvami stičnih kotov tekočin. Nanokompozitna apretura se je odlikovala po visoki vodo- in oljeodbojnosti ter aktivni in "pasivni" protimikrobni aktivnosti. Medtem ko je perfluoriran alkoksilan oblikoval pralno obstojen polimerni film, pa sta bili učinkovitost in pralna obstojnost srebra, ki se je postopoma sproščal v okolico, odvisni od njegove koncentracije na vlaknih. Pri tem je bilo baktericidno delovanje srebra učinkovitejše od fungicidnega. Raziskava je tudi pokazala, da je biocidna aktivnost srebrovega klorida pri enakih koncentracijah veliko večja kot pri elementarnem srebru nanodimenzij. Protimikrobna apretura s hkratno zaščito pred ultravijoličnimi žarki je bila oblikovana z uporabo titanovega dioksida v kombinaciji z aminopropiltrioksasilanom po novem nizkotemperaturnem postopku. Prisotnost aminopropiltrioksasilana je pomembno povečala protimikrobno aktivnost apreturinega filma, nastanek kovalentne vezi Si-O-Ti, ki je preprečil izluženje aminopropiltrioksasilana pri pranju, pa je vplival na visoko pralno obstojnost apreture.

Raziskava v okviru doktorske disertacije je izvirna, sodobna in aktualna ter je pomemben znanstveno-raziskovalni dosežek na področju tekstilne kemije. Nova znanja s področja raziskave bodo pomembno pripomogla k nadaljnjemu razvoju kemijske modifikacije tekstilnih vlaken za doseg njihove večfunkcionalnosti, uvedbi nanotehnoloških postopkov pri

plemenitenju tekstilij ter prenosu laboratorijskih rezultatov v nove industrijske postopke.

BRIGITA TOMŠIČ se je rodila 29. junija 1980 v Postojni. Po končanem šolanju na gimnaziji v Postojni je leta 1999 nadaljevala študij na Oddelku za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, program Tekstilna tehnologija. Študij je uspešno končala leta 2004 z zagovorom diplomskega dela z naslovom „Učinkovitost in pralna obstojnost protimikrobnega sredstva na bombažni tkanini“ pod mentorstvom izr. prof. dr. Barbare Simončič. Na Oddelku za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete je še istega leta kot mlada raziskovalka vpisala enovit doktorski študij Tekstilstva, grafike in tekstilnega oblikovanja – tehnološka smer (odobren neposreden prehod in okvirna tema) pod mentorstvom izr. prof. dr. Barbare Simončič. Med podiplomskim študijem je aktivno sodelovala v programski skupini Tekstilije in ekologija ter pri različnih domačih in mednarodnih raziskovalnih projektih. V okviru njenega raziskovalnega dela je leta 2008 kot raziskovalka gostovala na Univerzi v Leedsu, School of Design v Angliji. Rezultate raziskav je objavila v znanstveni monografiji *Handbook of Carbohydrate Polymers: Development, Properties & Applications* ter v dvanajstih izvirnih znanstvenih člankih, od tega jih je bilo sedem v revijah, ki jih indeksira SCI. Njena dela so bila citirana 16-krat. Z devetimi znanstvenimi prispevki se je udeležila mednarodnih konferenc v Sloveniji, na Češkem, Finskem, Hrvaškem, v Španiji in Turčiji, s petimi znanstvenimi prispevki pa sodelovala tudi na domačih konferencah. Doktorsko disertacijo z naslovom „Vpliv apreture na biorazgradnjo naravnih celuloznih vlaken“ je izdelala pod mentorstvom izr. prof. dr. Barbare Simončič in somentorstvom red. prof. dr. Borisa Orla in jo uspešno zagovarjala 7. aprila 2009. Kot raziskovalka je zaposlena na Oddelku za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

*In the Doctoral Thesis, new processes of the chemical modification for the textile fibre protection against biodegradation were presented with the aim of producing textile products with high added value. The complexity of the biodegradation process of textile fibres as well as its negative consequences to the functional properties of the textile products were discussed from the technological, hygienic and aesthetic points of view. The factors influencing biodegradation were studied in detail, where the importance of the chemi-*

cal finishing on the decrease of the velocity and ratio was exposed. The multifunctional antimicrobial finishes were prepared with the use of the sol-gel process, which enabled the preparation of the nanocomposite organic-inorganic hybrid polymer film with an excellent washing fastness. In this research, the collaboration with the researchers from the Laboratory of Spectroscopy of Materials at the National Institute of Chemistry in Ljubljana was indispensable.

An efficient antimicrobial protection of the cellulose fibres was accomplished by using a combination of silver chloride, an organic-inorganic binder and a perfluoro alcoxysilane precursor. The finishing properties were determined with different microscopic (SEM, TEM) and spectroscopic (FT-IR, XPS, EDXS) methods, mass spectrometry (ICP-MS), microbiological tests and measurements of static contact angles of different liquids. The nanocomposite finishing was distinguished with high water- and oil repellency, as well as with active and 'passive' antimicrobial activity. While perfluoro alcoxysilane formed a wash-resistant polymer film, the concentration of silver on textile fibres influenced its activity as well as the washing fastness due to the controlled release of silver into the surroundings. In this case, its bactericidal activity was more effective than its fungicidal activity. The results also showed that the biocidal activity of silver chloride was higher in comparison to the elementary silver of nano dimensions at the same concentrations. Antimicrobial finishing with the simultaneous protection against UV radiation was obtained with the use of titanium dioxide with the combination of aminopropyltriethoxysilane where a new low-temperature process was established. The addition of aminopropyltriethoxysilane highly increased the antimicrobial properties of the fabric. The formation of Si-O-Ti covalent bond, which prevented leaching of aminopropyltriethoxysilane during washing, reflected in high wash fastness of the finishing.

The research within the doctoral thesis is contemporary and current and represents an original scientific achievement in the field of textile chemistry. New knowledge in this research field will importantly contribute to the additional development of chemical modification of textile fibres to obtain their multifunctionality, to the introduction of nanotechnological processes in the textile finishing and to the transfer of laboratory results into new industrial procedures. Brigita Tomšič was born on 29 June 1980 in Postojna. After finishing gymnasium in Postojna in 1999,

she continued her studies in the undergraduate programme of Textile Technology at the Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana. In 2004, she successfully finished her studies by defending her Diploma Thesis titled 'Efficiency and Washing Durability of Antimicrobial Agent on Cotton Fabric' under the mentorship of Assoc. Prof. Dr. Barbara Simončič. In 2004, she enrolled into the PhD study of Textile, Graphics and Textile Design at the Faculty of Natural Sciences and Engineering as a young researcher under the mentorship of Assoc. Prof. Dr. Barbara Simončič. During the time of her PhD study, she took an active part in the Programme Group Textile and Ecology as well as in various national and international research projects. Within the frame of her research work, she also went to the School of Design, University of Leeds in England as a research guest in 2008. Her research results were published in the scientific monograph Handbook of Carbohydrate Polymers: Development, Properties & Applications. Furthermore, she published twelve original scientific papers, seven of them in journals indexed SCI. Her papers were cited 16 times. With nine scientific contributions, she took part at different international conferences throughout Europe. She was also active at national conferences with five scientific contributions. She elaborated the Doctoral Thesis titled 'Influence of Finishing on Biodegradation of Natural Cellulose Fibres' under the mentorship of Assoc. Prof. Dr. Barbara Simončič and co-mentorship of Prof. Dr. Boris Orel, and successfully defended it on 7 April 2009. As a researcher, she is currently employed at the Department of Textiles, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana.

Živa Zupin

### Vpliv konstrukcijskih parametrov na mehanske lastnosti tkanin

*Influence of Constructional Parameters on Mechanical Properties of Woven Fabrics*

Proučevanje in poznavanje fizikalnih lastnosti tkanin je pomembno predvsem za dobro načrtovanje in napovedovanje zelenih lastnosti tkanin. Zavedati se je treba, da na lastnosti surove tkanine poleg konstrukcijskih parametrov (preja, gostota osnove in votka ter vezava) vplivajo še tehnološki dejavniki. V preteklosti se je veliko raziskovalcev ukvarjalo z napovedovanjem nateznih lastnosti tkanin. Nji-

hovi raziskovalni pristopi so obsegali geometrijske, mehanske, energijske, numerične in statistične modele. V preteklih raziskavah je bilo ugotovljeno, da ni enotnega modela za natančno napovedovanje fizikalnih in mehanskih lastnosti za vse vrste in konstrukcije tkanin.

Za namene raziskave so bile stkanje tri skupine tkanin:

- skupina kvadratičnih tkanin v štirih različnih gostotah, z enako prejo v osnovi in votku ter v petih različnih vezavah;
- skupina surovih tkanin z enako prejo v osnovi in votku, le osnova je škrobljena, in dvema različnima gostotama v osnovi in votku ter šestih različnih vezavah;
- skupina tkanin z enako gostoto, razlikuje se v štirih različnih vezavah in spreminjanju preje v votku. Uporabljene so bile preje iz novih biorazgradljivih materialov: preja iz regeneriranih bambusovih vlaken, preja iz polimlečne kisline (PLA) in preja iz sojino proteinskih vlaken (SPF) in bombažna preja za primerjavo.

Izmerjene so bile fizikalne (stkanje in skrčenje, ploščinska masa, debelina) in mehanske (pretržna sila in pretržni raztezek prej in tkanin) lastnosti prej in tkanin. Namen raziskave je bil oceniti in ugotoviti, ali je mogoče napovedati natezne lastnosti tkanin s pomočjo preprostih izračunov pretržne sile in pretržnega raztezka ter oceniti napako pri različni konstrukciji tkanin. Ugotovljeno je bilo, kakšne so poškodbe niti pri tkanju in kako različni konstrukcijsko/tehnološki parametri vplivajo na poškodbe. Poškodbe prej so bile upoštevane v preprostih izračunih, da bi bilo napovedovanje natančnejše.

Z multifaktorsko ANOVO je bilo ugotovljeno, kateri izmed konstrukcijskih parametrov – dejavnikov (gostota osnove in votka, preja in vezava) vplivajo na fizikalne in mehanske lastnosti tkanin oziroma ali so ti konstrukcijski parametri statistično pomembni, v kolikšni meri vplivajo oziroma za koliko je določen dejavnik vplivnejši od drugega, ter ali med njimi obstajajo medsebojne interakcije. S pomočjo metode glavnih komponent (PCA) so bile ugotovljene linearne pozitivne in negativne povezave med fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi tkanin. S tem je bila potrjena tudi linearna povezanost med določenimi preiskovanimi parametri. S pomočjo multiple linearne regresije so bile izdelane enačbe za napovedovanje nateznih lastnosti tkanin (pretržna sila in pretržni raztezek) za vsako skupino posebej.

Z raziskovalnim delom je bilo potrjeno, da se tkanine z različnimi konstrukcijskimi parametri med seboj zelo razlikujejo, zato ni mogoče na splošno sklepati o njihovih fizikalnih in mehanskih lastnostih. Vsako skupino tkanin je treba obravnavati samostojno glede na njene lastne zakonitosti. Ugotovili smo, da je preprosto napovedovanje končnih nateznih lastnosti dokaj natančno, če obravnavamo vsako skupino tkanin posebej, kar pokažejo dokaj dobre korelacije med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi. Velikost vpliva konstrukcijskih parametrov na fizikalne in mehanske lastnosti tkanin sta odvisna od konstrukcije tkanin. Potrjene so tudi pozitivne linearne korelacije med posameznimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi, kot so stkanje, skrčenje in pretržni raztezek tkanine.

Z raziskavo smo potrdili, da je mogoče dokaj natančno napovedati končne natezne lastnosti že s preprostim modelom napovedovanja. Za že poznano konstrukcijo tkanin je možnost napovedovanja še večja z uporabo multivariatnih statističnih metod.

ŽIVA ZUPIN se je rodila 18. decembra 1980 v Ljubljani. Po končani gimnaziji Rudolfa Maistra v Kamniku se je leta 1999 vpisala na univerzitetni študij tekstilne tehnologije na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Leta 2000 je vzporedno vpisala tudi študij oblikovanja tekstilij in oblačil. Iz tekstilne tehnologije je diplomirala 10. septembra 2004 in si s tem pridobila naslov univerzitetne diplomirane inženirke tekstilne tehnologije. Istega leta je dobila tudi fakultetno Prešernovo nagrado za delo z naslovom Uporaba barvne metrike pri tkanju barvno pestrih tkanin pod mentorstvom red. prof. dr. Krsteta Dimitrovskega. Leta 2004 je kot mlada raziskovalka vpisala enovit doktorski študij tekstilstva, grafike in oblikovanja na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Doktorsko disertacijo z naslovom Vpliv konstrukcijskih parametrov na mehanske lastnosti tkanin je izdelala pod mentorstvom red. prof. dr. Krsteta Dimitrovskega in jo uspešno zagovarjala 2. oktobra 2009. Je avtorica enega izvirnega znanstvenega članka in soavtorica osmih znanstvenih prispevkov na konferenci in petih povzetkov znanstvenega prispevka na konferenci. Opravila je tudi štirimesečno usposabljanje v tujini, na University of Minho v Guimaraesu na Portugalskem pod mentorstvom dr. Manuele Neves. Zaposlena je na Naravoslovnotehniški fakulteti, na Oddelku za tekstilstvo.



Researching and understanding the physical and mechanical properties of fabrics is especially important for the design and prediction of desired fabrics properties. We need to be aware that apart from the construction parameters (i.e. yarn, warp and weft density, and weave), technological factors influence the properties of raw fabrics as well. The tensile behaviour prediction of woven fabrics received great attention in the past, some of the approaches to this problem including geometric, mechanical, energy and statistical models. In the past researches, it was found out that a uniform model for an accurate prediction of physical and mechanical properties for different types and construction of fabrics does not exist.

For the purpose of the research, three groups of fabrics were woven:

- a group of squared fabrics were made in four different densities, with the same yarn in warp and weft direction and five different weaves;
- a group of fabrics with the same yarns in warp and weft, only the warp being sized, were made with two different warp and two different weft densities and six different weaves;
- a group of fabrics with the same fabrics density and four different weaves, while the material in weft differed. In weft, new biodegradable materials were used, i.e. yarns from regenerate bamboo fibres, yarn from polylactic acid fibres (PLA) and yarn from soybean protein fibres (SPF), while cotton yarn was used for comparison.

In the research, physical (i.e. warp and weft crimp, mass per square meter, thickness) and mechanical (i.e. breaking force and breaking elongation of yarn extracted from fabrics and breaking force and breaking elongation of fabrics) properties of yarn and fabrics were measured. The purpose of the research was to evaluate and establish whether it was possible to predict tensile properties of fabrics with the help of simple theoretically calculated breaking force and breaking elongation and also to estimate the error at different fabric constructions. The findings pointed out how the threads get damaged in the process of weaving and how different constructional-technological parameters influence yarn damages. The damages of threads were taken into consideration in the theoretical calculation for a more accurate prediction.

With the aid of the multifactor ANOVA, it was established which of the factors, i.e. constructional parameters (warp and weft density, yarn and weave), are statistically important, and to what extent they influ-

ence the physical and mechanical properties of fabrics and whether an interaction between the factors exists.

The multivariate statistical method PCA facilitated in identifying and visualizing the main positive and negative linear correlations among the examined physical and mechanical properties of fabrics. The equations for predicting tensile properties of fabrics (i.e. breaking force and breaking elongation) were elaborated with multiple linear regressions for each fabric group.

With the research work, it was confirmed that fabrics with different constructional parameters differ, due to which it is impossible to generally infer about their physical and mechanical properties. Each group of fabrics has to be treated independently according to their own properties. It was found out that simple theoretically calculated breaking properties of fabrics are relatively precise if each group of fabrics is treated separately, which demonstrates quite good correlations between the calculated and measured values. The influence of constructional parameters on physical and mechanical properties of fabrics depends on the fabric construction.

Positive linear correlations between individual physical and mechanical properties of fabrics are confirmed, e.g. warp and weft crimp, tensile elongation of fabrics.

With the research, it was confirmed that predicting of tensile properties is quite precise with a simple theoretically calculated model. For the already known fabric construction, the prediction is even more complex with the use of multifactor statistical methods.

Živa Zupin was born on 18 December 1980 in Ljubljana. After finishing the Gymnasium Rudolf Maister in Kamnik in 1999, she enrolled into the undergraduate programme of Textile Technology at the University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering. In 2000, she enrolled into a parallel study of Textile and Fashion Design. From the programme Textile Technology, she graduated on 10 September 2004. The same year, she won the Prešeren Prize for Students for the research work titled 'The Use of Colorimetry in Weaving of Fabrics with Different Colour of Warp and Weft' under the mentorship of Prof. Dr. Krste Dimitrovski. Simultaneously in 2004, she enrolled into the postgraduate programme of Textile, Graphics and Design at the University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, as a PhD student researcher. Under the supervi-

sion of Prof. Dr. Krste Dimitrovski, she elaborated her PhD thesis with the title 'Influence of Constructional Parameters on Mechanical Properties of Fabrics', and defended it successfully on 2 October 2009. She is the author of one original scientific article and co-author of eight published scientific conference contributions and five published scientific conference contribution abstracts. She spent four months abroad, as a post-graduate Erasmus student at the University of Minho, Guimaraes, Portugal, under the mentorship of Dr. Manuela Neves.

She is currently employed at the University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles.

Nika Veronovski

### Študij TiO<sub>2</sub> nanoprevlek regeneriranih celuloznih vlaken za doseganje samočistilnega učinka

*Study of TiO<sub>2</sub> Nanocoatings on Regenerated Cellulose Fibres with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles for Obtaining Self-Cleaning Effect*

Cilj doktorske disertacije je bil razvoj postopka namodifikacije površine regeneriranih celuloznih vlaken za pridobivanje vlaken s trajnimi samočistilnimi lastnostmi, hkrati pa zaščititi vlakno pred negativnimi vplivi postopka obdelave in fotokatalitičnega delovanja delcev na lastnosti vlaken. Za raziskavo smo uporabili regenerirana celulozna vlakna liocel, ki spadajo med obnovljiva vlakna, izdelana po ekološko nespornem postopku direktnega raztapljanja celuloze. Za modifikacijo smo uporabili fotokatalizator TiO<sub>2</sub>, ki smo ga na vlakno nanašali po različnih postopkih.

Raziskava je zajemala dva temeljna postopka plaste-nja; to sta postopek neposrednega oblikovanja nanoprevlek na vlaknih in vezava predhodno oblikovanih delcev na vlakna. Proučili smo vpliv pogojev plaste-nja na morfologijo nanoprevlek in na njihovo učinkovitost. V prvi fazi smo pripravili prevleke na vlaknih s pomočjo tehnologije sol-gel. Proučili smo vpliv pogojev postopka sol-gel na velikost in učinkovitost delcev ter nekatere lastnosti obdelane tekstilije (mehanske lastnosti, trajnost obdelave, elektrokinetične lastnosti) ter ocenili poškodbe vlaken. V drugem delu raziskave smo za pripravo prevlek uporabili že pripravljene nanodelce TiO<sub>2</sub>, ki imajo ustrezno fotokatalitično aktivnost za dosega-

nje samočistilnosti modificiranih površin. Določili smo uporabnost nanodelcev TiO<sub>2</sub> P25 za oblikovanje prevlek na vlaknih na podlagi stabilnosti njihovih koloidnih raztopin. Za doseganje stabilizacije delcev v vodnih disperzijah smo spreminjali površinski naboj delcev in/ali uporabili površinsko aktivna sredstva. Poleg tega smo proučili postopek vezave kompozitnih nanodelcev TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>, kjer SiO<sub>2</sub> deluje hkrati kot vezivno sredstvo, poleg tega pa varuje nosilno vlakno pred fotokatalitičnimi vplivi katalizatorja. Kot vezivno sredstvo za vezanje nanodelcev smo uporabili še raztopino celuloze. Čeprav so raziskave pokazale, da imajo vsi vzorci s prevlekami TiO<sub>2</sub> samočistilno sposobnost, pa je le-ta najvišja pri vzorcih, obdelanih v stabilni disperziji nanodelcev TiO<sub>2</sub> P25. Največ organske snovi v madežu se razgradi v osmih dneh izpostavljenosti direktni dnevni svetlobi. Po funkcionalni učinkovitosti in vplivu na tehnološko-uporabne lastnosti je postopek izdelave kompozitnih nanoprevlek TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> najprimernejši.

NIKA VERONOVSKI, rojena 22. septembra 1979 v Celju, je leta 2004 diplomirala na Fakulteti za strojništvo, študijski program Tekstilstvo, smer Eko-tekstilno inženirstvo in aprila 2009 uspešno končala podiplomski študij na smeri Tehniško varstvo okolja na Fakulteti za strojništvo. Med podiplomskim študijem se je s prispevki aktivno udeleževala številnih domačih in mednarodnih delavnic za študente, simpozijev, kongresov in konferenc s področja znanosti in tehnologije nanomaterialov, funkcionalnih materialov in nanokompozitov na osnovi polimernih materialov, polisaharidov. V okviru Laboratorija za obdelavo in preskušanje polimernih materialov je bila vključena v znanstveno raziskovalno delo ter aktivno sodelovala pri številnih projektih. Med podiplomskim študijem se je redno znanstveno in strokovno izpopolnjevala v Gradcu na Karl-Franzens University Graz, na oddelku za kemijo pod mentorstvom profesorja dr. Volkerja Ribitscha in v Rimu na Univerzi La Sapienza pod mentorstvom profesorja dr. Camilla La Mese.

Disertacijo z naslovom „Študij TiO<sub>2</sub> nanoprevlek regeneriranih celuloznih vlaken za doseganje samočistilnega učinka“ je izdelala pod mentorstvom red. prof. dr. Majde Sfiligoj-Smole in jo 15. aprila 2009 uspešno zagovarjala. Nika Veronovski je soavtorica dveh izvirnih znanstvenih člankov ter preglednega znanstvenega članka v slovenski reviji Tekstilec in soavtorica petih člankov v mednarodno prizna-

nih znanstvenih revijah, ki jih zajema baza podatkov JCR, Colloid and Polymer Science, Surface and Coatings Technology, Textile Research Journal in Fibers and Polymers.

*The aim of the Doctoral Dissertation was to develop the nanomodification process for regenerated cellulose surfaces to obtain self-cleaning fibres with long-lasting self-cleaning properties and at the same time to protect fibres from the negative influences of the process and the strong photocatalytic action of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on fibre properties. For the modification, sustainable, biodegradable regenerated cellulose Lyocell fibres were used. The latter were created with an ecological direct dissolving process of cellulose. TiO<sub>2</sub> photocatalyst was used for the modification and was attached using different deposition techniques.*

*The research comprised of two basic coating processes, i.e. the process of direct (in situ) formation of nanocoatings on fibres surfaces and the process of nanocoatings preparation starting from the TiO<sub>2</sub> P25 powder. We studied the influence of conditions under which the processes for nanocoating can give rise to self-cleaning cellulose materials on nanocoatings efficiency. In the first phase, nanocoatings on fibres surfaces were prepared using sol-gel technology. We studied the influence of sol-gel process conditions on the particle size and effectiveness. The influence of nanocoating conditions on the applicable properties of treated material (i.e. mechanical properties, treatment durability, electrokinetical properties) and fibre damages were determined. In the second part of the research, we used the already formed TiO<sub>2</sub> P25 nanoparticles, with appropriate photocatalytic ability for obtaining self-cleaning modified surfaces. We determined the practical application of TiO<sub>2</sub> P25 nanoparticles based on the stability of colloid solutions. TiO<sub>2</sub> P25 aqueous dispersions were stabilized by changing the particle surface charge density and/or adding selected surfactants. In addition, we studied the process for attaching composite TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> nanoparticles, where SiO<sub>2</sub> acts as a binding agent and protects fibre against photocatalytic influence of catalyst. As a binding agent, viscose solution was used as well.*

*Despite the fact that investigations indicated self-cleaning effectiveness of all TiO<sub>2</sub> coated samples, the self-cleaning effectiveness was the highest for samples treated using stable dispersions of TiO<sub>2</sub> P25 nanoparticles. The most of the organic material in the stain decomposed during 8 days under the exposure to direct daylight. According to the functional effectiveness*

*and the influence on the technologically-applicable properties, the process of preparing composite TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> nanocoatings was the most appropriate.*

Mojca Poberžnik

Raziskava karbonatnega ravnotežja vode s stabilnim izotopom ogljika (<sup>13</sup>C)

Carbon Stable Isotope (<sup>13</sup>C) Investigation of a Carbonate Equilibria in Water

Voda optimalne kakovosti za potrebe ljudi v vodovodnih inštalacijah ne sme povzročati korozije in ne odlagati mineralnih oblog. Vsebnost optimalne količine ogljikovega dioksida, ki je naravna komponenta podzemne vode ob uporabi le-te v različne namene, hkrati daje zaščito pred odlaganjem mineralnih oblog in preprečuje korozijo.

Doktorska disertacija obravnava razvoj sodobne metode za optimizacijo kakovosti vode z uporabo ogljikovega dioksida, izdelavo hidro-kemijskega modela za simulacijo procesa pri višjih temperaturah in študij distribucije frakcij karbonatnega ravnotežja pri uvajanju posebnega izotopsko lažjega plina \*CO<sub>2</sub>. Na podlagi tega so bili z uporabo sodobnih izotopskih analiznih tehnik (GC IRMS) določeni molski deleži prevladujoče frakcije karbonatnega ravnotežja (hidrogenkarbonatni ion) pri pogojih eksperimenta. Izračunane vrednosti so bile podlaga za oceno učinkovitosti razvite metode uvajanja plina. Iz rezultatov eksperimentalnega dela ob uporabi „označenega“ plina \*CO<sub>2</sub> izhaja, da dodani plin v karbonatnem ravnotežju pripomore k nastanku skoraj polovice hidrogenkarbonatnih ionov, kar kaže, da je metoda primerna in učinkovita.

MOJCA POBERŽNIK, rojena 19. februarja 1974 v Mariboru, je leta 1998 diplomirala na Fakulteti za strojništvo, Oddelku za tekstilstvo. Magistrski študij s področja tekstilstva je uspešno končala leta 2001. Za seboj ima več kot enajst let delovnih izkušenj, od tega sedem na različnih oddelkih podjetja Svila Maribor, kjer je bila zaposlena tudi med magistrskim študijem kot mlada raziskovalka iz gospodarstva. Nato se je za dobra štiri leta, ponovno kot mlada raziskovalka iz gospodarstva, zaposlila v podjetju Messer Slovenija, d.o.o., in v sodelovanju z njegovimi strokovnjaki opravila raziskave, vezane na doktorsko nalogo s področja tehničnega varstva okolja. Med doktorskim študijem je zelo tesno strokovno sodelovala z Inštitutom za gospodarje-

nje z vodami, ki deluje v okviru Joanneum Research Institute v Gradcu v Avstriji, za kar je pridobila polletno štipendijo Ad Futura. Doktorsko disertacijo z naslovom Raziskava karbonatnega ravnotežja vode s stabilnim izotopom ogljika ( $^{13}\text{C}$ ) je izdelala pod mentorstvom red. prof. dr. Aleksandre Lobnik in somentorstvom red. prof. dr. Milenka Roša in jo uspešno zagovarjala 12. novembra 2009.

V njeni bibliografiji najdemo štiri izvirne znanstvene članke, vabljen predavanje na mednarodnem simpoziju iz teme doktorata, več znanstvenih prispevkov na mednarodnih in domačih konferencah in številna poročila o rezultatih raziskav, študije in elaborate, kar kaže na njeno obširno in raznoliko raziskovalno dejavnost s področja varstva okolja, s poudarkom na varstvu voda.

*Water of optimal quality for human consumption should neither be corrosive in waterworks nor should it form limestone deposits. The optimal carbon dioxide content, which is the usual component of healthy drinking water, simultaneously prevents from precipitated mineral deposits and corrosion.*

*The Doctoral Dissertation focuses on the development of an advanced method for water quality optimization using carbon dioxide gas, the construction of hydrochemical model for process simulation in higher temperature range and the study of carbonate species distribution by  $^{13}\text{C}$  special isotopic gas application. Based on the latter,  $\delta$  values of prevalent carbonate species (bicarbonate ion) were determined along with GC IRMS (gas chromatography coupled with mass spectroscopy for determining isotopic ra-*

*tios) and corresponding mole fractions were calculated. The obtained results served for the evaluation of method efficiency. On the basis of experimental work, using the stable carbon isotope gas  $^{13}\text{C}$  as marker, it can be concluded that the added gas is present in the composition of almost half of all bicarbonate ions, which proves the efficiency of investigated method.*

*Mojca Poberžnik was born on 19 of February 1974 in Maribor. She graduated from the University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering at the Department of Textile Materials and Design in 1998 and was awarded master's degree in 2001. She has over 11 years of work experience, seven at the textile factory Svila Maribor, where she was also working as a young researcher during her master's degree postgraduate study. From 2005 to 2009, she was employed at the company Messer Slovenija as a young researcher – technologist. In cooperation with their experts, she performed an extensive research work in the field of technical environmental care, which is related to her dissertation. During her doctoral study, she intensively cooperated with the Joanneum Research Institute, Institute of Water Research Management from Graz, Austria and her work abroad was supported by the Ad Futura grant. Mojca Poberžnik's bibliography comprises four original scientific papers, an invited lecture on her doctoral topic at a symposium with international participation, several published scientific conference contributions, research reports, preliminary studies and studies related to her various and extensive research work in the field of environmental engineering, especially in the water protection area.*



Foto: Daniel Ferenčak

## Fakultetne Prešernove nagrade študentom Oddelka za tekstilstvo

V tednu rojstva našega pesnika Prešerna in sočasno ob Tednu univerze Ljubljana vsako leto podelijo Prešernove nagrade študentom za najboljša dela s področja znanstvenoraziskovalne in umetniške dejavnosti. Letos so fakultetno Prešernovo nagrado Naravoslovnotehniške fakultete prejele štiri študentke z Oddelka za tekstilstvo. Ob tem slavnostnem dogodku, ki je bil v prostorih oddelka, so podelili tudi priznanja najboljšim študentom ter zahvale študentom, ki so sodelovali pri pripravi raziskovalnih in umetniških projektov, sicer tudi pripravljenih za natečaj za Prešernove nagrade, vendar dela niso bila izbrana.

Nagrade in priznanja je študentom izročil dekan Naravoslovnotehniške fakultete izr. prof. dr. Jakob Likar, ki je v svojem nagovoru med drugim dejal, da mladi skrivajo v sebi veliko ustvarjalnosti, zato je treba imeti več posluha za motivacijo mladih. „Vsakdo ima v sebi dar ustvarjanja, vprašanje je le, koliko to nekdo izkoristi v svojem življenju, koliko truda vложи, da se pokažejo rezultati,“ je poudaril. Tudi Naravoslovnotehniška fakulteta ima ustvarjalne študente, da pa se njihova ustvarjalnost lahko dobro izrazi, gre zahvala tudi njihovim mentorjem, je dejal dekan.

### *Fakultetne Prešernove nagrade na Oddelku za tekstilstvo*

Aleksandra Šepec

#### Kostumografija za predstavo Grdi Raček

Aleksandra Šepec se je rodila 23. januarja 1983 v Novem mestu. Po Srednji šoli za oblikovanje in fotografijo je študij nadaljevala na Naravoslovnotehniški fakulteti – smer oblikovanje tekstilij in oblačil, kjer se je že med študijem izkazala z odlično risbo in sodelovanjem na delavnicah.

Avtorica naloge je decembra 2007 sodelovala v Šentjakobskem gledališču v Ljubljani kot kostumografinja in oblikovalka maske za predstavo Grdi Raček. Grdi Raček je sodobna pravljica, ki je namenjena

mlajšim otrokom, zato je avtorica proučila principe in elemente oblikovanja kostumov za otroško predstavo. Oblikovala in izdelala je šestnajst različnih kostumskih likov, ki, čeravno primarno živalski, nosijo človeške kostumske podobe. Kostumi so domišljjski, konceptualno pa jih ločujejo različne živalske vrste in s tem različna oblikovalska izhodišča.

Avtorica je izbirala med tremi oblikovalskimi izhodišči, ki črpajo v zgodovini art decoja, sodobnih glasbenih scenah – rocku in punku ter v lutkah, ki so otrokom še najbliže.

Veliko poudarka je namenila tudi kostumski ilustraciji in oblikovanju gledališke maske, ki se oblikovno opira na kostumske like in jim sledi v oblikovalskih izhodiščih, barvah, oblikah, potezah ...

Septembra 2008 je bil Grdi Raček v Šentjakobskem gledališču nominiran za najboljšo kostumografijo in je v dveh gledaliških sezonah doživel kar 44 ponovitev.

Delo je nastalo pod mentorstvom doc. Karin Košak.

Polona Kraner

#### Sodobna tehnologija v pilotskih oblačilih

Polona Kraner se je rodila leta 1985 v Mariboru, kjer je z odličnim uspehom končala osnovno šolo in gimnazijo. Po uspešno opravljenih sprejemnih izpitih se je vpisala v prvi letnik oblikovanja tekstilij in oblačil Oddelka za tekstilstvo na NTF ter se preselila v Ljubljano. Študijska leta so zaznamovale razstave, različni interdisciplinarni projekti, še posebej se rada spominja projekta dSchool in sklepne modne revije.

Po diplomu se je Polona vpisala na podiplomski študij tretje bolonjske stopnje in kandidirala za mesto mlade raziskovalke iz gospodarstva v raziskovalni skupini Alpine Žiri.

Namen njene raziskovalne naloge, za katero je prejela fakultetno Prešernovo nagrado, je bil razviti celotno oblačilo za pilote z vstavljenimi aerogelnimi laminati. Zamisel se je porodila v sodelovanju s podjetjem Aerogel CARD, ki se ukvarja z uvedbo aerogelnih odev na različna področja, in podjetjem Pipistrel, ki razvija in izdeluje ultralahka letala. V tem interdisciplinarnem raziskovalnem delu sta združeni področji mode in sodobne tehnologije. Pri oblikovanju oblačil z vgrajeno tehnologijo je treba upoštevati številne dejavnike, od ergonomije do ekologije. Piloti ultralahkih letal se med letenjem

srečujejo z nizkimi temperaturami, ki so jim izpostavljeni tudi več ur. Razvita je bila kolekcija oblačil z vstavljenimi aerogelnimi laminati, ki pilotom zagotavljajo toplotno udobje, pri čemer je bilo treba rešiti tri osnovne zahteve: pralnost, togost in prašenje. Rešitev so trije različni načini laminiranja aerogelnih odev in dva načina vstavljanja aerogelnih laminatov v oblačilo. Vizualno izhodišče kolekcije izhaja iz človeškega telesa, predvsem zato, ker je bila ergonomija ključno izhodišče pri razvoju preostalih funkcionalnih delov oblačila.

Mentorica dela je bila izr. prof. Almira Sadar, somentorica pa doc. dr. Tatjana Rijavec.

Eva Žganjar

### Fotografska emulzija na naravnih materialih

Eva Žganjar se je rodila 27. februarja 1981 v Novem mestu. Osnovno šolo je obiskovala v Trebnjem, Srednjo šolo za oblikovanje in fotografijo – smer fotografija – pa v Ljubljani in jo končala leta 2001. Leta 2002 se je vpisala na NTF, Oddelek za tekstilstvo, leta 2004 pa se je na istem oddelku preusmerila na univerzitetni študij grafične tehnologije, ki ga je z diplomom končala leta 2009.

Eva Žganjar, univ. dipl. inž. grafične tehnologije, je v svoji raziskovalni nalogi z naslovom „Fotografska emulzija na naravnih materialih“ raziskala in predstavila delovne postopke in ključne materiale, potrebne za izdelavo klasične črno-bele fotografije na akvarelnem papirju, jedkanem steklu, glazirani keramiki in peskanem kamnu. Teoretični del naloge je osredinjen na lastnosti uporabljenih materialov, ki so bili ključnega pomena za izvedbo eksperimentalnega dela ter na zgodovinski razvoj fotografskih emulzij, s poudarkom na Janezu Puharju, slovenskem izumitelju fotografije na steklo. S pomočjo pridobljenih informacij v obliki intervjuja, knjig, spleta ter še posebej številnih poskusov je Eva Žganjar predvidela medsebojno obnašanje materialov in emulzije, na podlagi katerih je izbrala primeren nosilec, emulzijo in obdelavo.

Eksperimentalni del raziskovalne naloge zajema več posameznih sklopov, s pomočjo katerih je kandidatka prišla do končnih črno-belih fotografij na naravnih materialih. Rezultati so pokazali možnosti združljivosti posameznih materialov in fotografskih emulzij, ki se zrcalijo v izjemno unikatnih in globoko izraznih črno-belih fotografijah in njihovi

vi dovršeni likovni analizi. Namen diplomskega dela je bil torej proučiti lastnosti in združljivost fotografskih emulzij z naravnimi materiali in hkrati predstaviti dobljene rezultate ter nastale fotografije z umetniško izpovednim izrazom, kar je kandidatki tudi v celoti uspelo. Zato Evi Žganjar, univ. dipl. inž. grafične tehnologije, velja iskrena čestitka za visoko raziskovalno in ustvarjalno raven te raziskovalne naloge in za pridobitev fakultetne Prešernove nagrade, je v utemeljitvi napisal njen mentor, prof. Darko Slavec.

Ališa Trobec

### Možnosti uporabe grafičnih preiskovalnih metod za potrebe konserviranja in restavriranja dediščine na papirju

Ališa Trobec je letos diplomirala na Oddelku za tekstilstvo na univerzitetnem študiju grafične tehnologije.

Namen raziskovalnega dela je bil predstaviti nekatere preskuševalne metode, ki se uporabljajo za določanje lastnosti papirjev v papirni in grafični industriji, ter možnost njihove uporabe za potrebe restavriranja in konserviranja. S pomočjo teh metod se lahko oceni stanje gradiva in izberejo primerne metode konserviranja/restavriranja oz. prouči, kakšne spremembe so nastale na papirju zaradi konservatorskega/restavratorskega posega. Izbira ustrezne preskuševalne metode je odvisna od informacij, ki bi jih radi pridobili, pri tem pa je treba upoštevati, da se na arhivskem gradivu lahko izvajajo le metode, ki gradiva ne poškodujejo. Izbrane preskuševalne metode so bile uporabljene za analizo treh skupin papirjev, s katerimi se vsak dan srečujejo restavratorji. V prvi skupini so bili papirji, ki se uporabljajo za restavriranje arhivskih gradiv in za njihovo hranjenje, drugi dve skupini vzorcev pa sta zajemali arhivska gradiva, pri čemer je ena skupina zajemala le majhne koščke gradiv, ki so ostali pri restavriranju. Glede na namembnost in velikost papirjev so bile na posameznih skupinah izvedene različne metode: porušne (destruktivne), neporušne (nedestruktivne), znotraj le-teh pa na invazivne in neinvazivne. V delu so metode opisane, podana je njihova primernost za uporabo v konservatorske/restavratorske namene. Predstavljene so tudi informacije o lastnostih gradiv, ki so bile dobljene z izvedbo meritev in analizo rezultatov.

Mentorica dela je bila prof. dr. Diana Gregor Svetec, somentorja pa izr. prof. dr. Jedert Vodopivec in doc. dr. Andrej Demšar.

### *Nagrade in priznanja*

Za sodelovanje pri raziskovalnem delu v okviru tem za Prešernove nagrade pa so *zahvale* prejeli naslednji študenti našega Oddelka za tekstilstvo:

*Nina Umek Lovrić*, univ. dipl. inž. graf. tehnol., za delo *Celostna grafična podoba lončarske obrti*, mentor red. prof. Darko Slavec;

*Andrej Gale*, dipl. inž. graf. tehn., za delo *Sodobna obdelava fotografij za objavo v tiskanih medijih*, mentor red. prof. Darko Slavec; in

*Martina Lipovšek*, dipl. inž. graf. tehn., za delo *Tekoča bogastva*, mentor red. prof. Darko Slavec.

*Priznanje najboljši študent za leto 2009* pa sta z našega oddelka prejela:

*Matjaž Uršič*, diplomant univerzitetnega programa Grafične in interaktivne komunikacije, in na umetniški smeri *Klementina Kranvogel*, diplomantka univerzitetnega programa Oblikovanje tekstilij in oblačil.



Foto: Daniel Ferencak



Foto: Daniel Ferencak

*Fakultetne Prešernove nagrajenke: Aleksandra Šepec, Eva Žganjar, Polona Kraner in Ališa Trobec, na sliki od leve proti desni*

*Utrinki s podelitve Prešernovih nagrad študentom Naravoslovnotehniške fakultete*

# Diplomska, magistrska in doktorska dela

Univerza v Ljubljani  
Naravoslovnotehniška fakulteta  
Oddelek za tekstilstvo

## Visokošolski strokovni študij grafične tehnike

LOVŠIN, Janez. *Vpliv tiskarske barve na prednastavljanje tiskarskih strojev*. Ljubljana, oktober 2009. Mentor v. pred. Gorazd Golob.

MAŠERA, Matej. *Športna fotografija*. Ljubljana, oktober 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

SEVER, Barbara-Mirjana. *Fotografija z mobilnim telefonom*. Ljubljana, november 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

KAKER, Marija. *Organizacijska struktura podjetja A.M. Miklavc*. Ljubljana, november 2009. Mentor doc. dr. Andrej Demšar.

MIHEV, Nina. *Idejna zasnova in implementacije večpredstavnega 3D kratkega animiranega filma „Okrog sveta“*. Ljubljana, november 2009. Mentor doc. dr. Bojan Petek.

FRICELJ, Tadej. *Pomen motivacije in organizacijske klime v programu grafika podjetja Gorenje I.P.C.* Ljubljana, november 2009. Mentor doc. dr. Andrej Demšar.

ČREMOŠNIK, Nikolina. *Logotip podjetja Integritas*. Ljubljana, november 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

MÜLLER, Nataša. *Oblikovanje grafičnega uporabniškega vmesnika za delo s spletno poslovno aplikacijo A-portal*. Ljubljana, november 2009. Mentor doc. dr. Aleš Hladnik.

PODOBNIK, Peter. *Popotna fotografija – Kanarski otoki skozi objektiv*. Ljubljana, november 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

POTREBUJEŠ, Urška. *Škofja Loka skozi zgodovino v fotografiji*. Ljubljana, november 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

KOMADINA, Nina. *Fotografija v časopisni industriji*. Ljubljana, november 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

ROZMAN, Jana. *Sitotisk tiskarskih barv, ki vsebujejo luske*. Ljubljana, december 2009. Mentorica doc. dr. Marta Klanjšek-Gunde.

ČUKA, Gordan. *Papirni denar/bankovci-zgodovina,*

*ponarejanje in zaščita*. Ljubljana, december 2009. Mentor v. pred. Gorazd Golob.

RENUŠA, Janez. *Poizkus uporabe ofsetne reprodukcije v fleksotisku*. Ljubljana, december 2009. Mentor v. pred. Gorazd Golob.

JUREŠ, Barbara. *Portretna fotografija*. Ljubljana, december 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

KOBAL, Mateja. *Kriminalistična fotografija*. Ljubljana, december 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

## Visokošolski strokovni študij bolonjski program – grafična in medijska tehnika

VERDNIK PAL, Ingrid. *Oblikovanje tiskovin za knjižnico*. Ljubljana, oktober 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

## Visokošolski strokovni študij tekstilne tehnike

ANŽIČ, Tina. *Pregled in analiza raziskovalnih projektov na področju inteligentnih tekstilij v Evropski uniji*. Ljubljana, december 2009. Mentorica doc. dr. Tatjana Rijavec.

## Visokošolski strokovni študij konfekcijske tehnike

PLIBERŠEK, Polona. *Laminirane tekstilije*. Ljubljana, november 2009. Mentorica izr. prof. dr. Diana Gregor Svetec.

## Univerzitetni študij oblikovanja tekstilij in oblačil

ŽIVČIČ, Barbara. *Tretja dimenzija čipke*. Ljubljana, oktober 2009. Mentorica izr. prof. Vera Sešlar-Zaloznik.

BERNJAK, Mojca. *Ulična moda*. Ljubljana, november 2009. Mentorica doc. Nataša Peršuh.

ŠUŠTARŠIČ, Marjeta. *Moj mikrokozmos v krpanki*. Ljubljana, november 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

ZUKANOVIČ, Tina. *Bouquet*. Ljubljana, november 2009. Mentorica red. prof. Marija Jenko.

ZOR, Lučka. *Kolekcija ženskih oblačil za aerobiko in prosti čas*. Ljubljana, december 2009. Mentorica izr. prof. Almira Sadar.

GROZDANIČ, Daša. *Estetika preoblikovanja obraza-make-up v modni fotografiji*. Ljubljana, december 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

## Univerzitetni študij tekstilne tehnologije

PIŠEK, Borut. *Vpliv N/P spojin na ognjevarnost tekstilnih vlaken*. Ljubljana, december 2009. Mentorica izr. prof. dr. Barbara Simončič.



### Univerzitetni študij tekstilstva in grafične tehnologije – smer grafika

CUDERMAN, Andreja. *Fotografija in fraktali*. Ljubljana, oktober 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

HRIBAR, Mojca. *Proučevanje tiskarske in tiskovne kakovosti pri UV flekso tehnologiji tiska*. Ljubljana, oktober 2009. Mentorica izr. prof.dr. Tadeja Muck.

KORITNIK, Majda. *Analiza lastnosti barvnih odtisov v časopisih Večer in Žurnal24*. Ljubljana, november 2009. Mentorica doc. dr. Sabina Bračko.

MUŽIČ, Nina. *Likovna analiza grafičnega izdelka – brošure*. Ljubljana, december 2009. Mentor red. prof. Darko Slavec.

### Doktorsko delo s področja tekstilstva

ZUPIN, Živa. *Vpliv konstrukcijskih parametrov na mehanske lastnosti tkanin*. Ljubljana, oktober 2009. Mentor izr. prof. dr. Krste Dimitrovski.

Univerza v Mariboru  
Fakulteta za strojništvo  
Oddelek za tekstilne materiale in oblikovanje

### Visokošolski strokovni študij tekstilstva

BELCL, Valerija. *Izbira medvlog in določitev parametrov fiksiranja*. Maribor, november 2009. Mentorica red. prof. dr. Jelka Geršak.

BRINJEVEC, Renata. *Analiza videza otroške obleke*. Maribor, december 2009. Mentorica doc. dr. Simona Jevšnik.

KRANJEC, Nataša. *Parametri razreza z avtomatskim krojilnim strojem*. Maribor, december 2009. Mentorica doc. dr. Simona Jevšnik.

LEPOŠA, Renata. *Tehnološke zahteve pri izdelavi ženskih oblačil*. Maribor, december 2009. Mentorica doc. dr. Simona Jevšnik.

LEŠNIK, Darja. *Prevleka za vakuumsko oblačenje avtomobilskih vzglavnikov*. Maribor, november 2009. Mentorica red. prof. dr. Jelka Geršak.

ZEL, Tatjana. *Modeliranje krojev za kolekcijo oblikovalke Irene Rojs*. Maribor, oktober 2009. Mentorica viš. pred. mag. Marta Abram Zver.

### Univerzitetni študij tekstilstva

FRAS, Helena. *Oblačenje – izražanje skozi modo in barvo*. Maribor, oktober 2009. Mentorica doc. dr. Gabrijela Fužir Bauer.

### Univerzitetni študij 1. bolonjske stopnje Oblikovanje in tekstilni materiali

BALAŽIČ, Valerija. *Oblikovanje in konstruiranje modnih dodatkov iz ostankov materialov*. Maribor, oktober 2009. Mentorica doc. dr. Gabrijela Fužir Bauer.

BLAGOVIČ, Mateja. *Oblikovanje in razvoj kolekcije oblačil za prosti čas*. Maribor, oktober 2009. Mentorica doc. dr. Andreja Rudolf.

BRAČIČ, Eva. *Oblikovanje kolekcij svetil*. Maribor, oktober 2009. Mentorica doc. dr. Gabrijela Fužir Bauer.

DAMIJAN, Renata. *Oblikovanje kolekcije tekstilij za interier na temo dunajske secesije s posebnim ozirom na dunajski opus Jožeta Plečnika*. Maribor, oktober 2009. Mentorica doc. dr. Gabrijela Fužir Bauer.

MAJER, Nataša. *Mala črna obleka*. Maribor, oktober 2009. Mentorica doc. dr. Andreja Rudolf.

ŠVAGELJ, Maja. *Oblikovanje in razvoj multifunkcionalne tekstilne forme*. Maribor, oktober 2009. Mentorica doc. dr. Gabrijela Fužir Bauer.

ŽNIDER, Tina. *Vizualizacija in digitalni tisk dekorativnih izdelkov za dom*. Maribor, oktober 2009. Mentor doc. dr. Branko Neral.



Foto: Boris Beja

## Tekstilni nagovori

Prostor in čas dopolnjujemo ljudje. Drug brez drugega ne moreta, povezujeta se in nadgrajujeta. Čas je danes verjetno čedalje večja vrednota slehernega prebivalca tega prostora. Tega se zavedajo tudi študentje Katedre za oblikovanje tekstilij in oblačil, NTF – Oddelka za tekstilstvo, Univerze v Ljubljani, ki so 20. oktobra v KUD France Prešeren odprli razstavo izbranih študentskih del z naslovom Tekstilni nagovori.

Razstava *Tekstilni nagovori*, ki je bila na ogled do 10. novembra in je nastala v sodelovanju s ŠOU Ljubljana, je predstavljala izbrana študentska dela v okviru dodiplomskega študija. Študentje so se predstavili s kolekcijami oblačil, posameznimi oblačilnimi kosi, tekstilijami in videoprojekcijami. Dela so med šolskim letom nastala v okviru različnih tematskih sklopov pod mentorstvom profesorjev na katedri. Razstavljeni tekstilni izdelki so se tematsko navezovali na naloge Naprej/Nazaj, Rokav, Žakar, Rdeča, Polstenje, Bela tekstilija – Barvita Kompozicija, Kocke, Prti, Vizualne projekcije ipd. Razstava je bila povezana v osrednjo temo Naprej/Nazaj. Del razstave je bil namenjen prodaji unikatnih tekstilnih izdelkov. Razstavljene tekstilne izdelke pa je dopolnjevala še videoprojekcija sklepne modne revije „Naprej/Nazaj“, ki je bila na letošnjo muzejsko noč. V Kudu so bile na ogled tudi študentske rešitve, ki so nastale v sklopu mednarodnega natečaja na temo Kulturna identiteta, na tem so tri študentke prejele tudi nagrado. Poleg razmišljanja o kulturni identiteti kot večplastnem pojavu, ki se skozi čas vseskozi spreminja in pridobiva vedno nove razsežnosti in oblike, študentje podajajo tudi odgovore na vprašanja, kako in v kakšni obliki se vzpostavlja kulturna identiteta na področju mode v našem prostoru. V modnih kolekcijah so tako interpretirana različna vsebinska področja: zgodovinsko in etnološko izročilo, kulturno dediščino, na vplive globalizacije, multikulturalnosti, novih komunikacij in drugih sodobnih pojavov, jezik in njegove posebnosti, subkulture oz. sedanje identitete nasproti tradicionalnim, dojemanja različnih tipičnih simbolov ...

Razstavo je odprl profesor Darko Slavec, ki je med drugim ocenil, da je kakovost študijskega programa na visoki ravni in da je z bolonjsko reformo katedra dobila dodano vrednost in svežino. Vrednost pa se ne odslikava samo v močnih in kreativnih ide-



Foto: Boris Beja

jah. Študentje so odlični tudi pri sami tehnični izvedbi. Uspešnost mladih potrjujejo priznanja, ki so jih osvojili s predstavitvami v tujini.

S svojimi tekstilnimi izdelki so nas v Kudu nagovorili: Nuša Anžel, Martina Sušec, Nena Florjančič, Veronika Maruško, Mateja Orožim, Anže Kavčič, Mateja Premrl, Alja Butinar, Saša Nemeč, Urša Grahovec, Nina Oven, Kaja Markovič, Petja Zorec, Jerica Premože, Karmen Sedeljšak, David Hočevar, Petra Gajzar, Barbara Bobnar, Tina Vrhovec, Gaja Hanzel, Ina Ferlan, Eva Jančar Kalan, Mateja Lisjak, Špela Lilija, Tina Berčič, Tine Kozjak, Kristina Lovko, Neja Marčič, Janja Videc, Sanja Reja, Sanda Baretič, Katja Adamlje, Leja Hočevar, Martina Narobe, Lea Pajk, Nastaja Sagadin, Anja Dragan. Mladi so posredno s svojimi izdelki mladostniško senzibilno, iskreno in družbeno odgovorno ter kritično tekstilno nagovorili obiskovalce. Razstava je nagovarjala s silhuetami oblačil, linijami, detajli, teksturami, vzorci in potiski. Vsak izmed njih je ustvaril svoj jezik, ki se je ujel v čas razstavnega prostora.

Namen študentov oblikovanja tekstilij in oblačil ni bil le prikazati del učnega programa. Dela so obiskovalca nagovarjala k razmišljanju o sodobnem modnem oblikovanju, o sobivanju tradicije v sožitju novih kreativnih pristopov in novih tehnologij. Dela dajejo senzibilne nagovore o družbeni zavesti in individualnih senzibilnostih, o spominih na preteklost in vizijah prihodnosti ... Mladi bodoči oblikovalci se dobro zavedajo dejstva, da na trg posredno postavljajo poleg svojih del tudi sebe. Letna razstava mreži človeška življenja, z željo po komunikaciji, ne izolaciji, temveč povezanosti modne enkratnosti z odprto doumljivostjo posameznika in uporabnika uporabnega oblikovanja. Tako oblikovalec z uporabnikom njegovih idej in rešitev spreminja svoj svet, ki je svet vseh nas.

### Boris Beja



Foto: Boris Beja

## Fashion break

Osrednji dogodek letošnjega drugega tedna ŠOU Festa je bila modna revija slovenskih, hrvaških in bosanskih študentov oblikovanja tekstilij in oblačil. Študentje so se predstavili z revijo, ki je nosila naslov *Fashion Break*.

Šou Fest je največji evropski študentski festival kulture, športa in zabave, ki se je to leto odvijal s tretjo ponovitvijo v Ljubljani in ki ga organizira Študentska organizacija Univerze v Ljubljani. Letos so k sodelovanju Festa povabili tudi študente oblikovanja in dogodek še mednarodno nadgradili. Na reviji, ki je bila 12. oktobra, se je predstavilo devet študentov, med njimi tudi študentje Univerze v Ljubljani, Naravoslovnotehniške fakultete, Katedre za oblikovanje tekstilij in oblačil.

Na modni reviji *Fashion Break* je svoje kolekcije predstavilo devet študentov in študentk modnega oblikovanja, in sicer Ana Jelinič iz Slovenije, Morana Krklec iz Hrvaške, Ivan Rocco iz Slovenije, Estetika Nene Stojanović in Nine Štajner, Nena Florjančič, Urša Grahovec, Jana Zornik iz Slovenije in Alma Delalić iz Bosne in Hercegovine.

Absolvent oblikovanja tekstilij in oblačil Ivan Rocco je rdečo nit pripovedi našel v Grace Jones, androgenosti in ženstvenosti. Njegova kolekcija je poudarila ramena v kontrastu togih oblik z mehкими draperijami. V kolekciji sta prevladovali črna in rjava barva. Pod imenom Estetika sta se predstavili študentki arhitekture Nana Stojanović in Nina Štajer. Njuna kolekcija je temeljila na prosojnosti, oprijetosti, bleščicah in cvetličnih vzorcih. S svojo kolekcijo sta želeli predstaviti izzivalnost in nedolžnost. Nena Florjančič, absolventka Naravoslovnotehniške fakultete, je svojo kolekcijo poimenovala Gabrielle. Ta je združevala teksturirane sodobne tekstilije s klasičnimi linijami. Njeni kosi kljub elegantnosti ohranjajo svojo funkcionalnost. Urška Grahovec je navdih za svojo kolekcijo našla pri otroški igri zgibanja papirja. Absolventka oblikovanja tekstilij in oblačil je v kolekciji uporabila sivo paleto barv, s katero lahko različno izražamo svoje počutje. Jana Zornik se je pri oblikovanju ukvarjala s tem, kaj človeka dela človeškega in angele angelske. Kaj skriva neka popolna prikazen? Kakšni so sestavni deli, ko jih ločiš med seboj in ponudiš posamezno, enega po enega, ter jih povežeš z bolečim spoznanjem novega razodetja? Študentka podiplomskega študija Ana Jelinič je predstavila

svojo kolekcijo dežnih plaščev, potiskanih z motivi regratovih lučk, drugih oblačil in modnih dodatkov. Široka oblačila se med seboj prepletajo in sestavljajo v odlično celoto, ki jih avtorica podkrepi še s svetlo-temnim kontrastom.

**Boris Beja**

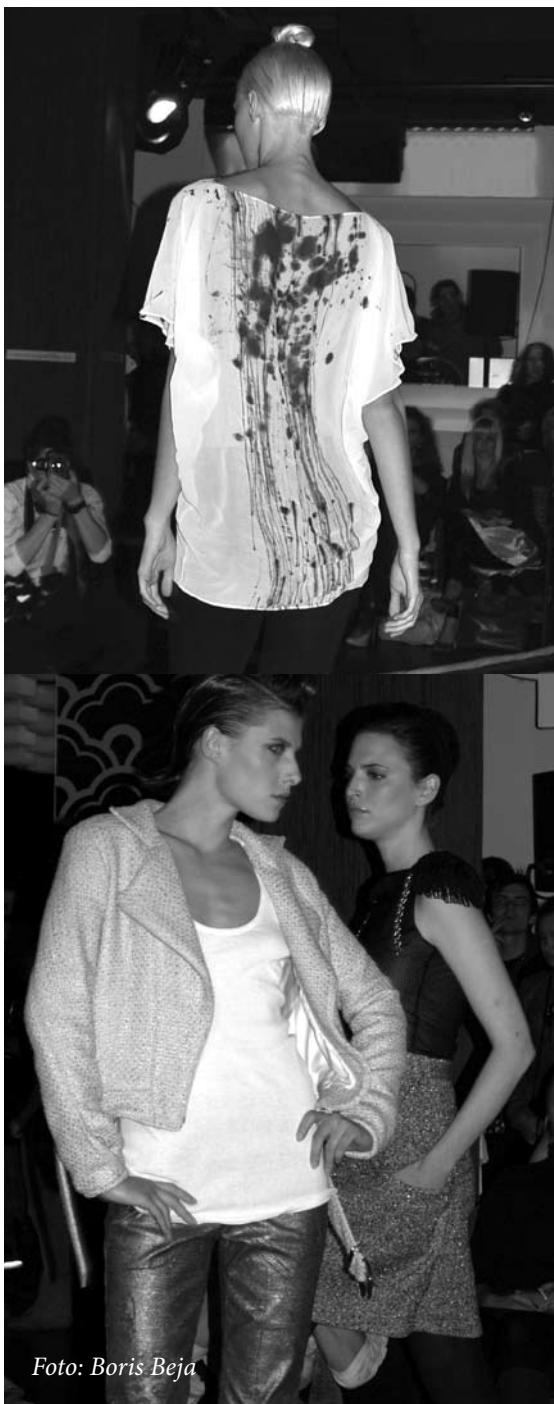


Foto: Boris Beja

## Navodila avtorjem

Objava članka v Tekstilcu pomeni, da se vsi avtorji strinjajo z objavo in vsebino prispevka. Za seznanjenje ostalih avtorjev z objavo je odgovoren prvi avtor članka. Avtor prevzema vso odgovornost za svoj članek. Članek ne sme biti v postopku za objavo v kaki drugi publikaciji. Avtor ne sme kršiti pravic kopiranja. Ko je članek sprejet, preidejo avtorske pravice na izdajatelja, saj ta prenos zagotavlja najširše reproduciranje.

Članek naj bo napisan v slovenskem ali angleškem jeziku in se odda glavnemu uredniku v elektronski kot tudi v izpisani obliki. Besedilo naj bo napisano v enem izmed bolj razširjenih urejevalnikov besedil (Word ali Word Perfect) na formatu A4 s presledkom 1,5 in 3 cm širokim robom na oštevilčenih straneh. Digitalni zapis naj bo povsem enostaven, brez zapletenega oblikovanja, deljenja besed, podčrtavanja, avtor naj označi le krepko in kurzivno poudarjanje. Besedilo naj bo napisano z malimi črkami in naj ne vsebuje nepotrebnih okrajšav in kratic. Celotno slikovno gradivo, vključno s tabelami, kemijskimi formulami in pripadajočimi opisi, naj se v izpisani obliki nahaja med besedilom, v digitalnem zapisu pa na koncu celotnega besedila, vendar mora v besedilu biti natančno določeno mesto slikovnega gradiva/tabele ali kemijske formule.

Uredništvo Tekstilca odloča o sprejemu člankov za objavo, poskrbi za strokovno oceno članka in jezikovne popravke v slovenskem in angleškem jeziku. Če je članek sprejet v objavo, se avtorju vrne recenzirani in lektoriran članek. Avtor vnese lektorske popravke in vrne članek prilagojen spodaj napisanim navodilom za pripravo prispevka v Uredništvo. Avtor odda popravljen članek izpisan v enem izvodu na papirju format A4 in v digitalni obliki (Word ...).

### Priprava prispevka

Besedilo naj obsega:

- podatke o avtorjih
- naslov članka
- izvleček (do 200 besed)
- ključne besede (do 8 besed)
- besedilo članka (priporočamo naslednji vrstni red: Uvod, Eksperimentalni del, Rezultati z razpravo, Zaključki, Zahvala, Literatura)
- slikovno gradivo s pripadajočimi podpisi

- preglednice, tabele s pripadajočim tekstom
- matematične in kemijske formule
- merske enote in enačbe (SIST ISO 2955, serija SIST ISO 31 in SIST ISO 1000)
- opombe (avtorji naj se izognjejo pisanju opomb pod črto)

### Podatki o avtorjih

Podatki o avtorjih vsebujejo imena in priimke avtorjev, naslov institucije ter elektronsko pošto. Akademski naslov ni potreben in se ga tudi ne objavi. Naveden naj bo korespondenčni avtor, njegova telefonska številka in elektronski naslov.

### Naslov članka

Naslov članka naj bo natančen in informativen hkrati in naj ne bi presegal 80 znakov. Avtor naj navede tudi skrajšani naslov članka.

### Izvleček in ključne besede

Izvleček naj vsebuje do 200 besed, s katerim kratko predstavimo bistveno vsebino članka in pritegnemo bralčevo pozornost. Izvleček naj bo napisan v preteklem času, sklicevanje na formule, enačbe, literaturo v izvlečku ni dovoljeno, poleg tega pa se je potrebno izogibati kraticam in okrajšavam.

Ključne besede lahko vsebujejo od 4 do maksimalno 8 besed, s katerimi avtor določi vsebino članka in so primerne za indeksiranje in iskanje.

### Besedilo članka

Besedilo članka naj bo napisano jasno in jedrnat. Četudi gre za lastno raziskovanje oz. preizkušanje, je članek potrebno napisati v prvi osebi množine ali tretji osebi. V primeru ponavljanja, navajanja splošno znanih dejstev in odvečnih besed si uredništvo pridržuje pravico do skrajšanja besedila. Članki naj imajo priporočeno strukturo: Uvod, Eksperimentalni del, Rezultati z razpravo, Zaključki, Zahvala, Literatura. Celotno besedilo članka je potrebno napisati s predpostavko, da bralci že poznajo osnove področja, o katerem je govor. Eksperimentalna tehnika in naprave se podrobno opišejo v primeru, če bistveno odstopajo od že objavljenih opisov v literaturi; za znane tehnike in naprave naj se navede vir, kjer je mogoče najti potrebna pojasnila.

### Oblikovanje članka v urejevalniku besedila

Besedilo naj bo napisano v enem izmed bolj razširjenih urejevalnikov besedil (Word ali Word Perfect)

na formatu A4 s presledkom 1,5 in 3 cm širokim robom na oštevilčenih straneh. Digitalni zapis naj bo povsem enostaven, brez zapletenega oblikovanja, deljenja besed, podčrtavanja, avtor naj označi le krepko in kurzivno poudarjanje. Besedilo naj bo zapisano z malimi črkami in naj ne vsebuje nepotrebnih okrajšav in kratic. Celotno slikovno gradivo, vključno s tabelami, kemijskimi formulami in pripadajočimi opisi naj se nahaja na koncu celotnega besedila, vendar mora biti v besedilu določeno mesto slikovnega gradiva/tabele ali kemijske formule v besedilu.

### Slikovno gradivo

Celotno slikovno gradivo, ki se bo objavilo, je potrebno k besedilu dodati kot samostojno datotetko ločeno od besedila članka, v eni izmed naslednjih oblik TIFF (.tiff; .tif), JPEG (.jpg; .jpeg) ali BMP (.bmp), kot excelov (.xls) dokument. Slikovno gradivo naj ima najmanjšo ločljivost 300 dpi, oz. velikost, ki je 1,5 do 3-krat večja od velikosti tiskanega grafa. Datoteke je potrebno imenovati tako kot so imenovane v besedilu (npr.: slika1.tif). Za slikovno gradivo, za katere avtorji nimajo avtorskih pravic, morajo avtorji od lastnika avtorskih pravic pridobiti dovoljenje za objavo. V tem primeru je potrebno k opisu slike dodati tudi avtorja slike.

### Preglednice, tabele

Ravno tako kot za slikovno gradivo, tudi za preglednice in tabele velja, da se jih doda k besedilu članka kot ločeno datoteko (imenovanje tabele npr: tabela1.xls), razen v primeru, če je preglednica narejena z urejevalnikom besedila. Preglednice in tabele, v to vključujemo tudi sheme, diagrame in grafikone, se naj sestavijo tako, da bodo razumljive tudi brez branja besedila članka. Naslovi v tabelah/preglednicah naj bodo kratki. Pri urejevanju tabel, v urejevalniku besedila, se za ločevanje stolpcev uporabijo tabulatorji in ne presledki.

### Matematične in kemijske formule

Vsaka formula naj ima zaporedno številko napisano v okroglem oklepaju na desni strani. V besedilu se navajajo npr.: „Formula 1“ in ne „... na naslednji način: ... kot je spodaj prikazano:“, ker zaradi tehničnih razlogov ni mogoče formule postaviti na točno določena mesta v članku. Vse posebne znake (grške črke itn.) je potrebno posebej pojasniti pod enačbo ali v besedilu. Formule naj bodo pripravljene v Wordu napisane s pisavo arial.

### Merske enote in enačbe

Obvezna je uporaba merskih enot, ki jih določa Odredba o merskih enotah (Ur. L. RS št. 26/01), tj. Enote mednarodnega sistema SI. Uporaba in pisava morata biti po tej odredbi skladni s standardi SIST ISO 2955, serije SIST ISO 31 in SIST ISO 1000.

### Opombe

Avtorji naj se izognejo pisanju opomb pod črto.

### Navajanje literature

Vse literaturne vire, ki se nahajajo v besedilu je potrebno vključiti v seznam. Literaturni viri so zbrani na koncu članka in so oštevilčeni po vrstnem redu, kakor se pojavijo v članku. Označimo jih s števiki v oglatem oklepaju. Primeri navajanja posameznih virov informacij:

#### Monografije

- 1 PREVORŠEK, D. C. *Visokozmogljiva vlakna iz gibkih polimerov : teorija in tehnologija*. Uredila Tatjana Rijavec in Franci Sluga. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 1998.
- 2 *Wool dyeing*. Ed.: D. M. Lewis. Bradford : Society of Dyers and Colourists, 1992.

#### Prispevki v monografijah in zbornikih

- 3 CERKVENIK, J., NIKOLIĆ, M. Prestrukturiranje slovenske tekstilne industrije s stališča tehnološke opremljenosti, porabe energetskih virov in ekologije. V 28. mednarodni simpozij o novostih v tekstilni tehnologiji in oblikovanju : zbornik predavanj in posterjev. Uredila Barbara Simončič. Ljubljana : Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za tekstilno tehnologijo, 1994, str. 24–38.

#### Članki

- 4 JAKLIČ, A., BRESKVAR, B., ULE, B. Računalniško podprt merilni sistem pri preizkusih lezenja. *Kovine zlitine tehnologije*, 1997, vol. 31 (1–2), p. 143–145.

### Standardi

- 5 *Tekstilije – Označevanje vzdrževanja s pomočjo simbolov na etiketah* SIST ISO 3758:1996.

### Patenti

- 6 CAROTHERS, W. H. *Linear condensation polymers*. United States Patent Office, US 2,071,250. 1937-02-16.

### Poročila o raziskovalnih nalogah

- 7 CERKVENIK, J., KOTLOVŠEK, J. *Optimiranje tehnoloških procesov predenja in plemenitjenja v IBI – Kranj : zaključno poročilo o rezultatih opravljenega dela RR faze projekta*. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 1998.

### Članki v elektronskih revijah

- 9 ATKINS, H. The ISI Web of Science – links and electronic journals : how links work today in the Web of Science, and the challenges posed by electronic journals. *D-Lib Magazine* [online], vol. 5, no. 9 [citirano 3. 2. 2000]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.dlib.org/dlib/september99/atkins/09atkins.html>>.

### Spletne strani

- 10 ASREACT – *Chemical reactions database* [online]. Chemical Abstracts Service, 2000, obnovljeno 2. 2. 2000 <<http://www.cas.org/CASFILES/casreact.html>> [accessed: 3. 2. 2000].

### Naslov uredništva:

Uredništvo Tekstilec  
Snežniška 5, p.p. 312  
SI-1000 Ljubljana  
E-pošta: [diana.gregor@ntf.uni-lj.si](mailto:diana.gregor@ntf.uni-lj.si)  
Spletni naslov: <http://www.ntf.uni-lj.si/ot/>

# Irspin

Kidričeva 1, 1270 LITIJA

*Industrijski razvojni center slovenske predilne industrije – IRSPIN je leta 2000 ustanovilo šest slovenskih tekstilnih podjetij s ciljem njihovega povezovanja na področjih razvoja izdelkov in tehnologij, izobraževanja, izmenjave in prenosa znanja iz izobraževalnih in razvojnih institucij v podjetja in med podjetji.*

*IRSPIN upravlja svet zavoda IRSPIN, katerega člani so direktorji ustanoviteljev in članov. Strokovne podlage za delo tehnološkega centra oblikuje strokovni svet, katerega člani so vodje razvojnih oddelkov ustanoviteljev in članov.*

## Ustanovitelji in člani IRSPINA

Beti pletiva, Metlika  
Gorenjska predilnica, Škofja Loka  
Ibi, Kranj  
Inplet pletiva, Sevnica  
Odeja, Škofja Loka  
Predilnica Litija, Litija  
Svilanit, Kamnik  
Tekstina, Ajdovščina  
Tosama, Domžale  
Velana, Ljubljana  
Zvezda, Tekstilna tovarna, Kranj  
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo,  
Inštitut za inženirske materiale in oblikovanje

## POMEMBNEJŠI ZAKLJUČENI PROJEKTI


- ☞ *Koordinator programa: Razvoj infrastrukture za prenos inovacij v tekstilno industrijo Slovenije. Program sta sofinancirala Ministrstvo za gospodarstvo in Evropski sklad za regionalni razvoj. V programu je sodelovalo 10 članov Irs pina, izvedba treh razvojno raziskovalnih in enega investicijskega projekta v letih 2004–2006.*
- ☞ *Koordinator razvojno tehnološkega projekta: Razvoj tridimenzionalnih tekstilnih izdelkov. Projekt sta sofinancirala Ministrstvo za gospodarstvo in Evropski sklad za regionalni razvoj. V projektu je sodelovalo pet članov Irs pina, izvajal se je v letih 2006–2007.*
- ☞ *Koordinator Eureka projekta: Rainbow. Projekt se je izvajal v letih 2004–2006 v sodelovanju partnerjev iz Avstrije, Poljske in Slovenije.*

## PROJEKTI V TEKU

- ☞ *Od trga do posameznikove usmerjenosti: Zemljevid masovne kustomizacije in personifikacije za tekstilne integrirane izdelke in usluge; projekt, katerega naročniki so tehnološki centri Slovenije, Nemčije, Avstrije in Belgije in ga sofinancira Evropska komisija v sklopu ERA NET raziskav. Poteka raziskava možnosti implementacije MCP koncepta v evropsko tekstilno industrijo na področju dekorative, preprogarstva, tekstilij za mobilne sisteme in zaščitnih tekstilij. Sodeluje osem članov Irs pina.*
- ☞ *Funkcionalno oblačilo slovenskega bojevnika: IRSPIN je partner v raziskovalnem projektu, ki ga financirata Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo in Ministrstvo za obrambo. V sodelovanju z MORS-om se po programu razvijajo izdelki za izdelavo funkcionalnih delov oblačil za slovenskega vojaka.*
- ☞ *Sekretariat Slovenske tekstilne tehnološke platforme.*
- ☞ *Partner v dveh projektih 7. okvirnega evropskega programa za raziskave in razvoj, ki se bodo začeli izvajati v naslednjem letu: Novel Temperature Regulating Fibres and Garments Water in Industry, Fit-for-Use.*
- ☞ *Seminarji in delavnice za člane tehnološkega centra.*

Kontakt • tel.: 01 899 02 10 • faks: 01 898 42 13 • e-pošta: vera.zlabravec@litija.com



The background of the entire page is a grayscale microscopic image of textile fibers, showing a dense, interwoven structure with varying thicknesses and orientations. The fibers are most prominent in the upper and lower sections of the image.

**Ljubljana, Slovenia**

**27–29 May 2010**

**41<sup>st</sup> International Symposium on Novelties in Textiles**

**45<sup>th</sup> International Congress IFKT**

**5<sup>th</sup> International Symposium on Novelties in Graphics**

**[www.ISNT.si](http://www.ISNT.si) • [www.IFKT.si](http://www.IFKT.si) • [www.ISNG.si](http://www.ISNG.si)**

**University of Ljubljana, NTF, Department of Textiles**