

GLASILO SLOVENSkih TEKSTILCEV • SLOVENE JOURNAL FOR TEXTILE AND CLOTHING TECHNOLOGY, DESIGN AND MARKETING

# tekstilec

10-12/2008 • vol. 51 • 277-360

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  
Vili Bukošek  
Petra Forte  
Marija Jenko  
Momir Nikolić  
Almira Sadar  
Univerza v Ljubljani, Slovenija/  
University of Ljubljana, Slovenia  
Darinka Fakin  
Jelka Geršak  
Tanja Kreže  
Zoran Stjepanovič  
Univerza v Mariboru, Slovenija/  
University of Maribor, Slovenia  
Paul Kiekens  
Univerza v Gentu, Belgija/  
University of Ghent, Belgium  
Hartmut Rödel  
Tehniška univerza v Dresdnu, Nemčija/  
Technical University of Dresden, Germany  
Ivo Soljačić  
Univerza v Zagrebu, Hrvaška/  
University of Zagreb, Croatia

**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 51 • NUMBER 10-12 • 2008 • UDK 677 + 687 (05)

## IZVLEČKI/abstracts

**281** Izvlečki • *Abstracts*

## ČLANKI/papers

**283** Natezne lastnosti polipropilenskih filamentov • Izvirni znanstveni članek  
*Tensile Properties of Polypropylene Filaments • Original Scientific Paper*  
Diana Gregor Svetec

**300** Funkcionalizacija tekstilij z nano TiO<sub>2</sub> in SiO<sub>2</sub> prevlekami • Pregledni znanstveni članek  
*Functional Coatings of Textiles Based on TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> Nanoparticles • Review*  
Nika Veronovski, Silvo Hribernik, Majda Sfiligoj Smole

**319** Kapok v tehničnih tekstilijah • Pregledni znanstveni članek  
*Kapok in Technical Textiles • Review*  
Tatjana Rijavec

## STROKOVNI DEL/ technical notes

**332** Doktorska dela s področja tekstilne tehnologije in oblikovanja v letu 2008 • *Doktorska in magistrska dela v letu 2008*

**337** Magistrska dela s področja tekstilne tehnologije in oblikovanja oblačil in tekstilij v letu 2008 • *Doktorska in magistrska dela v letu 2008*

**344** Prešernove nagrade študentom Oddelka za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete v Ljubljani • *Šolstvo*

**347** 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

**349** Sejem igrač v Nürnbergu • *Aktualno v svetu*

**351** Do novih znanj, praktičnih izkušenj in poslovnih povezav tudi z majhnimi koraki • *Aktualno doma*

**354** Dan akreditacije 2008 • *Aktualno doma*

## 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 700  
izvodih/*Journal Tekstilec appears quarterly  
in 700 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 87 €  
za velika podjetja 185 €  
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

Oblikovanje/Design Tanja Medved

Prelom in priprava za tisk/DTP Barbara Blaznik

Fotografija na naslovnici/Cover Photo No. 10–12 <http://www.sxc.hu/photo/1096932>

Tisk/Printed by Littera Picta d.o.o.

Copyright © 2008 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*

Diana Gregor Svetec

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*

### Natezne lastnosti polipropilenskih filamentov *Tensile Properties of Polypropylene Filaments*

V prispevku so prikazane natezne lastnosti polipropilenskih filamentov, izdelanih po postopku talilnega oblikovanja in nadaljnega raztezanja, optimiziranega za doseganje visokega modula elastičnosti. Raziskan je bil vpliv molekulske mase in porazdelitve molekulske mase polimera na natezne lastnosti filamentov, izdelanih iz dveh polimerov z različno molekulsko maso in njihovih mešanic v različnem utežnem razmerju. Ugotovljeno je bilo, da imajo filamenti, oblikovani iz polimera z nižjo molekulsko maso in ozko porazdelitvijo molekulske mase, boljše mehanske lastnosti kot filamenti, oblikovani iz polimera z višjo molekulsko maso in široko porazdelitvijo molekulske mase. Lastnosti filamentov, oblikovanih iz mešanic, so predvsem odvisne od prevladujočega polimera, vendar ima dodatek drugega polimera določen vpliv na lastnosti. Majhen delež drugega polimera v obeh primerih izboljša natezne lastnosti filamentov.

**Ključne besede:** polipropilen, polimerna mešanica, trdnost, modul elastičnosti.

*In this work, the tensile properties of polypropylene filaments, made by a melt-spinning and drawing process optimized in order to increase the elastic modulus of the filaments, are presented. The influence of molecular weight and the molecular weight distribution of the polymer on the tensile properties of the filaments, spun from polymers of different molecular weights with various composition ranges, was investigated. It was found that polypropylene filaments spun from a fiber-grade CR-polymer have better mechanical properties, when compared with filaments spun from a plastic-grade polymer with a broader molecular weight distribution. The characteristics of the filaments produced from binary blends are mainly dependent on the prevailing polymer in the blend; however, the addition of the other polymer exerts some influence as well. In both cases, a small percentage of added polymer improves the tensile properties of the filaments.*

**Keywords:** polypropylene, polymer blend, tenacity, elastic modulus.

## Pregledni znanstveni članek *Review*

Nika Veronovski, Silvo Hribernik, Majda Sfligoj Smole

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Oddelek za materiale in oblikovanje, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija/*University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Department for textile materials and design, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenia*

### Funkcionalizacija tekstilij z nano TiO<sub>2</sub> in SiO<sub>2</sub> prevlekami

*Functional Coatings of Textiles Based on TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> Nanoparticles*

Funkcionalizacija različnih materialov z uporabo prevlek iz nanodelcev je v zadnjem času predmet mnogih raziskav, vendar pa to tehnologijo na tekstilnem področju uporabljajo le v omejenem obsegu, in to kljub njenemu velikemu potencialu. Članek zajema pregled raziskav s področja nanoprevlek vlaken z delci titanovega in silicijevega dioksida, treba pa je poudariti, da so prevleke iz drugih anorganskih nanodelcev na vlaknih prav tako pomembne, saj z njimi dosegamo nove funkcionalne lastnosti tekstilij.

**Ključne besede:** nanotehnologija, nanoprevleke, TiO<sub>2</sub> nanodelci, SiO<sub>2</sub> nanodelci

*Recently functionalisation of different materials by nanocoating is being the target idea of several research projects, however the technology is only limited applied for textiles although it promises a lot. Only functional coatings of textiles based on TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticles are reviewed in this article however, it should be emphasized that different other nano-coatings are of significance likewise. Key words: nanotechnology, nanocoatings, TiO<sub>2</sub> nanoparticles, SiO<sub>2</sub> nanoparticles*

## Pregledni znanstveni članek *Review*

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*

### Kapak v tehničnih tekstilijah

*Kapak in Technical Textiles*

Kapak (Ceiba pentandra) je visoko ligninizirano naravno semensko vlakno iz 22–45 % celuloze, 22–45 % hemiceluloz in 15–22 % lignina. Poleg voskov vsebuje v primarni celični steni visok delež anorganskih snovi, ki skupaj z acetilnimi skupinami, katerih delež je prav tako visok, dajejo kapoku tudi po odstranitvi voska odlične hidrofobne lastnosti. Nizka gostota vlaken, 0,348 gcm<sup>-3</sup>, je posledica širokega lumna, ki zajema okrog 74 % vlakna. Širok lumen omogoča izjemno sposobnost zadrževanja tekočin. Kapok ima protimikrobne lastnosti. Med celuloznimi vlakni izstopa tudi po odličnih toplotnih in zvočnoizolacijskih sposob-

nostih, plovnosti, odličnih sposobnostih absorpcije olj in drugih nepolarnih tekočin. Kapok uporabljajo predvsem v obliki polnila in vlaknovin, zelo malo v prejah, predvsem zaradi slabe kohezivnosti vlaken, togosti, krhkosti in nizke trdnosti. Raziskave kažejo nove potencialne možnosti uporabe kapoka za tehnične tekstilije, kot polnila za notranjo opremo jaht in čolnov, kot izolacijskega materiala v hladilnih sistemih, za zvočno izolacijo, za filtracijo odpadnih industrijskih vod, za zbiranje razlite nafte na vodnih površjih in za ojačitveno komponento v polimernih kompozitih. Kapok je fiziološko inerten. Uporabljajo ga tudi v prehrani za selektivno izločanje maščob.

**Ključne besede:** kapok, *Ceiba pentandra*, lignin, oljni absorberji, vlaknati kompoziti.

*Kapok (Ceiba pentandra) is a highly lignified organic seed fibre, containing 22–45% of cellulose, 22–45% of hemicelluloses, and 15–22% of lignin. In its primary cell wall kapok contains, in addition to waxes, a high percentage of inorganic substances, which, in combination with a high percentage of acetyl groups, imparts excellent hydrophobic properties to kapok even after removal of waxes. Low fibre density, i.e.  $0,348 \text{ gcm}^{-3}$ , is attributed to a wide lumen, which occupies approximately 74% of a kapok fibre. Due to such wide lumen, kapok has an exceptional capability of liquids retention. Kapok boasts with good anti-microbial properties. It is distinguished from other cellulosic fibres by its excellent thermal and acoustic insulating properties, high buoyancy, and good oil and other non-polar liquids absorbency. Kapok is mainly used in the form of stuffing and nonwovens; it is rarely used in yarns, mostly due to low cohesivity of its fibres and their resilience, brittleness, and low strength. New potentials of kapok have been opening in the field of technical textiles, yachts and boats furnishing, insulating materials in refrigeration systems, acoustic insulation, industrial wastewaters filtration, removal of spilled oil from water surfaces, and reinforcement components in polymer composites. Kapok is physiologically inert. It is also used in nutrition for selective elimination of fats.*

**Key words:** kapok, *Ceiba pentandra*, lignin, oil sorbents, fibre composites



## Tensile Properties of Polypropylene Filaments

Original Scientific Paper

Received May 2008 • Accepted November 2008

### Abstract

*In this work, the tensile properties of polypropylene filaments, made by a melt-spinning and drawing process optimized in order to increase the elastic modulus of the filaments, are presented. The influence of molecular weight and the molecular weight distribution of the polymer on the tensile properties of the filaments, spun from polymers of different molecular weights with various composition ranges, was investigated. It was found that polypropylene filaments spun from a fiber-grade CR-polymer have better mechanical properties, when compared with filaments spun from a plastic-grade polymer with a broader molecular weight distribution. The characteristics of the filaments produced from binary blends are mainly dependent on the prevailing polymer in the blend; however, the addition of the other polymer exerts some influence as well. In both cases, a small percentage of added polymer improves the tensile properties of the filaments.*

**Keywords:** polypropylene, polymer blend, tenacity, elastic modulus.

---

Vodilni avtor/corresponding author:  
dr. Diana Gregor Svetec  
tel.: +386 1 200 32 72  
e-mail: diana.gregor@ntf.uni-lj.si

---

Diana Gregor Svetec

Oddelek za tekstilstvo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

## Natezne lastnosti polipropilenskih filamentov

### Izvirni znanstveni članek

Poslano maj 2008 • Sprejeto november 2008

### Izvleček

V prispevku so prikazane natezne lastnosti polipropilenskih filamentov, izdelanih po postopku taliinega oblikovanja in nadaljnega raztezanja, optimiziranega za doseganje visokega modula elastičnosti. Raziskan je bil vpliv molekulske mase in porazdelitve molekulskih mas polimera na natezne lastnosti filamentov, izdelanih iz dveh polimerov z različno molekulsko maso in njihovih mešanic v različnem utežnem razmerju. Ugotovljeno je bilo, da imajo filament, oblikovani iz polimera z nižjo molekulsko maso in ozko porazdelitvijo molekulskih mas, boljše mehanske lastnosti kot filament, oblikovani iz polimera z višjo molekulsko maso in široko porazdelitvijo molekulskih mas. Lastnosti filamentov, oblikovanih iz mešanic, so predvsem odvisne od prevladujočega polimera, vendar ima dodatek drugega polimera v obeh primerih izboljša natezne lastnosti filamentov. Ključne besede: polipropilen, polimerna mešanica, trdnost, modul elastičnosti.

### 1 Uvod

Mehanske lastnosti filamentov so predvsem odvisne od njihove nadmolekulske strukture (orientacije, stopnje kristalnosti, velikosti kristalitov, števila veznih molekul, stabilnosti in pravilnosti kristaline strukture), to pa med drugim določata molekulska masa in porazdelitev molekulskih mas polimera. V preteklosti je že bilo narejenih mnogo študij o odvisnosti mehanskih lastnosti polipropilenskih (PP) filamentov od molekulske mase in porazdelitve molekulskih mas polimera [1–8]. Znano je, da z naraščā-

## 1 Introduction

*The mechanical properties of filaments are primarily dependent on their supermolecular structure (orientation, degree of crystallinity, crystallite size, the number of tie molecules, stability and perfection of crystalline structure), which is determined by the molecular weight and molecular weight distribution of the polymer. In the past, many studies have focused on the dependence of the mechanical properties of melt-spun polypropylene (PP) filaments upon the molecular weight and molecular weight distribution of the polymer [1–8]. It is well known that the tensile strength and elastic modulus of filaments increase as the molecular weight of the polymer increases. Lu and Spruiell [4] have found that, for PP polymers of different molecular weights, a critical take-up velocity exists, below which the orientation of the macromolecules grows rapidly, whereas above it, the orientation varies slowly. They concluded that this take-up velocity is largely determined by the molecular weight of the polymer, upon which the viscosity is dependent. The viscosity determines the spinline stress of the extruded polymer, which, in turn, influences the structure of the melt-spun filaments. Minoshima [9] investigated the impact of the molecular weight distribution on the orientation of macromolecules in melt-spun filaments and found that the degree of orientation is higher in polymers with narrower distributions. The apparent spinline viscosities of filaments spun at moderate and high inline draw-down values are higher, resulting in higher stress on the solidified filaments and, consequently, higher levels of orientation. Research [10–12] has shown that the degree of crystallinity and the speed of nuclei formation are increased by lowering the molecular weight of the polymer and that the crystallization speed increases for broader molecular weight distributions. Misra and colleagues [8] found that the degree of crystallinity increases with the take-up velocity, particularly in polymers with narrower molecular weight distributions, whilst polymers with broad distributions reached high levels of crystallinity, even at low speeds. On the basis of measurements of PP filaments spun at take-up velocities of up to 7000 m/min, Shimi-*

njem molekulske mase polimera trdnost in modul elastičnosti filamentov naraščata. Lu in Spruiell [4] sta ugotovila, da za vsak PP z določeno molekulsko maso obstaja kritična navijalna hitrost, pod katero orientacija makromolekul hitro narašča, nad njo pa se le počasi spreminja. Zaključila sta, da je ta hitrost določena predvsem z utežno molekulsko maso polimera, od katere sta odvisni viskoznost in napetost oblikovanja filamentov, le-ta pa določa nadmolekulsko strukturo talilno oblikovanih filamentov. Minoshima [9], ki je raziskal vpliv porazdelitve molekulskih mas PP-polimera na orientacijo makromolekul v talilno oblikovanih filamentih, je ugotovil, da je orientacija večja pri polimerih z ozko porazdelitvijo. Navidezna viskoznost pri zmernih in velikih hitrostih razvlečenja je pri teh polimerih višja, kar se kaže kot večja napetost strjujočih se filamentov in s tem višja stopnja orientacije. Raziskave [10–12] so pokazale, da stopnja kristalnosti in hitrost tvorbe kristalizacijskih jeder naraščata z nižanjem molekulske mase polimera ter da hitrost kristalizacije narašča s širitvijo porazdelitve molekulskih mas. Misra s sodelavci [8] je ugotovil, da stopnja kristalnosti narašča z navijalno hitrostjo, in to predvsem pri polimerih z ozko in srednje široko porazdelitvijo molekulskih mas, medtem ko polimeri s široko porazdelitvijo molekulskih mas dosežejo visoko stopnjo kristalnosti že pri nizkih hitrostih. Shimizu in sodelavci [13] so na podlagi meritev dvolomnosti in modula elastičnosti PP-filamentov, oblikovanih z navijalnimi hitrostmi do 7000 m/min, ugotovili, da pri navijalni hitrosti 3000 m/min dvolomnost in modul začneta strmeje naraščati. Na krivuljah napetost/raztezek je ta navijalna hitrost meja, pri kateri ni več razvidna točka polzišča.

Molekulska masa in porazdelitev molekulskih mas polimernih molekul v talilno oblikovanih PP-filamentih vplivata tudi na razteznost teh filamentov pri nadaljnjem razteznem preoblikovanju. Razteznost filamentov narašča z molekulsko maso in doseže maksimum pri  $M_v$  je 67.000–78.000, nakar se zmanjša [11]. Z molekulsko maso polimera narašča tudi optimalna temperatura preoblikovanja filamentov, medtem ko ima porazdelitev molekulskih mas manjši vpliv na temperaturno odvisnost razteznosti. Razteznost filamentov s široko porazdelitvijo molekulskih mas je večja kot razteznost filamentov z ozko porazdelitvijo molekulskih mas pri temperaturah preoblikovanja, nižjih od 80 °C, pri višjih temperaturah pa je vpliv porazdelitve molekulskih mas minimalen. Andreassen in sodelavci [14] so raziskali vpliv, ki ga ima porazdelitev molekulskih mas izhodnega polimera na natezne lastnosti polipropilenskih filamentov. Ugotovili so, da polimeri z različno porazdelitvijo molekulskih mas dajejo filamente z različnimi mehanskimi lastnostmi, odvisno od velikosti uporabljenega razteznega razmerja v procesu razteznega preoblikovanja. Najvišji modul elastičnosti in najvišjo natezno trdnost so pri manjših razteznih razmerjih dosegli filamenti, oblikovani iz polimera s široko porazdelitvijo molekulskih mas. Z večanjem razteznega razmerja sta se modul elastičnosti in trdnost večala, pretržni raztezek pa manjšal za obe skupini



zu and colleagues [13] have found that the birefringence and elastic modulus began to rise more steeply at a take-up speed of 3000 m/min. As observed from the stress / extension data, this take-up velocity is the limit, after which yield points are no longer clearly visible.

The molecular weight and molecular weight distribution of polymer molecules in melt-spun PP filaments also affect their stretchability in the drawing process. The drawability of filaments increases with molecular weight, reaches a maximum at  $M_v$  67000–78000 and then reduces [11]. The optimum drawing temperature increases with the molecular weight of the polymer, while the molecular weight distribution has less impact on the temperature dependence of drawing. The drawability of filaments with broad molecular weight distributions is better than the drawability of filaments with narrow molecular weight distributions at temperatures lower than 80 °C, whereas at higher temperatures, the impact of the molecular weight distribution on the drawability is minimal. Andreasen and colleagues [14] have studied the impact of the molecular weight distribution of polymers on the tensile properties of drawn polypropylene filaments. It was found that polymers with different molecular weight distributions resulted in filaments with different mechanical properties, depending on the draw ratio applied during the drawing process. The maximum elastic modulus and tensile strength at smaller draw ratios were achieved in filaments made from a polymer with a broad molecular weight distribution. By increasing the draw ratio, the elastic modulus and tensile strength increased, whereas the breaking extension decreased for filaments formed from polymers of both narrow and broad molecular weight distributions. Since the elastic modulus grew more quickly in filaments formed from a polymer with a narrow distribution, at higher draw rates, these filaments exceeded the elastic modulus and tensile strength of filaments made from a polymer with a broad molecular weight distribution.

As part of a wider research attempt to produce high modulus polypropylene fibers, the impact of molecular weight and molecular weight distribution on the tensile properties of filaments was explored. PP filaments were made with a

vzorcev, to je za filamente, oblikovane iz polimera z ozko porazdelitvijo molekulskih mas, in za filamente, oblikovane iz polimera s široko porazdelitvijo molekulskih mas. Ker pa je modul elastičnosti hitreje naraščal pri filamentih, oblikovanih iz polimera z ozko porazdelitvijo, so pri visokih razteznih razmerjih ti filamentni presegli modul elastičnosti in trdnost filamentov, oblikovanih iz polimera s široko porazdelitvijo molekulskih mas.

Del širše raziskave, katere cilj je bil izdelati visokomodulna polipropilenska vlakna, je bilo raziskovanje vpliva molekulske mase in porazdelitve molekulskih mas izhodnega polimera na natezne lastnosti filamentov. PP-filamenti so bili izdelani po ločenem (diskontinuirnem) postopku, v katerem sta združeni fazi talilnega oblikovanja in tristopenjskega raztezanja potekali na laboratorijski predilno-raztezalni napravi, dodatno raztezanje v naslednji ločeni fazi pa na laboratorijski raztezalni napravi. Karakteristike obeh naprav in postopek izdelave filamentov so bili podrobneje opisani že drugje [15, 16]

## 2 Eksperimentalni del

### 2.1 Surovine in izdelava filamentov

Za oblikovanje filamentov sta bila uporabljena Ziegler-Natta polipropilenska polimera: polimer z nizkim indeksom tečenja taline (MFI = 2 g/10 min), to je polimer z razmeroma visoko povprečno molekulske maso in široko porazdelitvijo molekulskih mas ( $\overline{M}_w = 280.000$  g/mol,  $\overline{M}_w/\overline{M}_n = 5$ ), ter polimer z višjo vrednostjo MFI (18 g/10 min), to je polimer z nižjo povprečno molekulske maso in ozko porazdelitvijo molekulskih mas ( $\overline{M}_w = 210.000$  g/mol,  $\overline{M}_w/\overline{M}_n = 3,2$ ), tako imenovani CR-polimer. Iz obeh polimerov so bile pripravljene mešanice v naslednjih razmerjih: 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70, 20/80 in 10/90 utežnih odstotkov polimera z višjo molekulske maso/CR-polimera z nižjo molekulske maso.

Oblikovanje filamentov je potekalo na predilno-raztezalni napravi podjetja Extrusion Systems Ltd., in sicer s predilno hitrostjo 30,1 m/min pri vzorcih, oblikovanih pri višjem masnem pretoku, in 21,7 m/min pri vzorcih, oblikovanih pri nižjem masnem pretoku, in to skozi predilno šobo z desetimi luknjicami premera 0,35 mm. Po hitri ohladitvi ekstrudiranih filamentov z bočnim vpihovanjem zraka, ohlajenega na 3 °C, so bili filamentni neprekinjeno (kontinuirno) raztezani do optimalnega razteznega razmerja pri temperaturi 50 °C. Neprekinjenemu tristopenjskemu raztezanju na predilno-raztezalni napravi je sledilo še dodatno, ločeno (diskontinuirno) vroče raztežno preoblikovanje na laboratorijski raztezalni napravi podjetja Zimmer. Ločeno raztezanje filamentov pri dveh različnih temperaturah, 130 °C in 145 °C, je potekalo do mejnih razteznih razmerij z uporabo grelne plošče v razteznem polju. Pogoji, pri katerih je potekala izdelava PP-filamentov, so bili podrobneje opisani drugje [15, 17].

discontinuous drawing process, where the combination of melt spinning and three-stage drawing was performed on a laboratory spin-draw device, with further additional drawing in a separate phase on a laboratory draw device. The characteristics of both devices and the manufacturing process conditions of the filaments have been described in detail previously [15, 16].

## 2 Experimental

### 2.1 Materials and the manufacturing of filaments

Ziegler-Natta polypropylene polymer: polymer with a low melt flow index ( $MFI = 2 \text{ g}/10 \text{ min}$ ), this is a polymer with a relatively high average molecular weight and a broad molecular weight distribution ( $\overline{M}_w = 280,000 \text{ g/mol}$ ,  $\overline{M}_w/\overline{M}_n = 5$ ); and polymer with a high MFI value ( $18 \text{ g}/10 \text{ min}$ ), this is a polymer with a lower average molecular weight and a narrow molecular

PP-filamenti so glede na prevladujoči delež izhodnega polimera obravnavani v dveh skupinah. V skupini N so tako zajeti filament, oblikovani iz polimera z višjo molekularsko maso in širšo porazdelitvijo molekularskih mas (Hostalen PPN 1060F) ter iz mešanic, v katerih prevladuje delež tega polimera: 100N, 90N, 80N, 70N, 60N, ko gre za neprekinjeno, delno raztezane filamente (prva serija vzorcev), ter 100N/130, 90N/130, 80N/130, 70N/130, 60N/130 in 100N/145, 90N/145, 80N/145, 70N/145, 60N/145, ko gre za dodatno, ločeno raztezane filamente pri dveh temperaturah, tj. 130 °C in 145 °C (druga serija vzorcev). Pri tem številka v oznaki vzorca pomeni odstotni delež tega polimera v mešanici. Skupino U sestavljajo filament, oblikovani iz polimera z nižjo molekularsko maso in z ozko porazdelitvijo molekularskih mas (Hostalen PPU 1780F2) ter iz mešanic polimerov s prevladujočim deležem tega polimera. Neprekinjeno, delno raztezani vzorci iz te skupine imajo oznake 100U, 90U, 80U, 70U, 60U, 50U (prva serija vzorcev), dodatno, ločeno raztezani pri temperaturi 130 °C 100U/130, 90U/130, 80U/130, 70U/130, 60U/130, 50U/130 in pri temperaturi 145 °C 100U/145, 90U/145, 80U/145, 70U/145, 60U/145 in 50U/145 (druga serija vzorcev). Oznake vzorcev glede na izhodni polimer in postopek izdelave filamentov so podane v preglednici 1.

Table 1: Samples grouped by polymer and filament manufacturing process

Samples and (percent of prevailing part of polymer in polymer blend)		
Polymer	PPN 1060F	PPU 1780F2
Group 1:		
Continuously partly drawn filaments on spin-draw device, melt spun from both pure polymers and their blends	100N (100% PPN)	100U (100% PPU)
	90N (90% PPN)	90U (90% PPU)
	80N (80% PPN)	80U (80% PPU)
	70N (70% PPN)	70U (70% PPU)
	60N (60% PPN)	60U (60% PPU)
	50N (50% PPN)	50U (50% PPU)
Group 2:		
Additionally discontinuously drawn filaments (group 1) on drawing device at the temperature of 130°C	100N/130	100U/130
	90N/130	90U/130
	80N/130	80U/130
	70N/130	70U/130
	60N/130	60U/130
	50N/130	50U/130
Additionally discontinuously drawn filaments (group 1) on drawing device at the temperature of 145°C	100N/145	100U/145
	90N/145	90U/145
	80N/145	80U/145
	70N/145	70U/145
	60N/145	60U/145
	50N/145	50U/145

weight distribution ( $\overline{M}_w = 210,000$  g/mol,  $\overline{M}_w/\overline{M}_n = 3.2$ ), the so-called CR-polymer. These were used for the manufacturing of filaments. From both polymers, mixtures in the following proportions were prepared: 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70, 20/80 and 10/90 weight percent higher molecular weight polymer / CR-polymer of lower molecular weight.

The manufacturing of filaments was performed on a spin-draw device (Extrusion Systems Ltd.) with a spinning speed of 30.1 m/min for samples made with the higher mass flow and 21.7 m/min for samples made with the lower mass flow, through a spinneret with ten holes, each with a diameter of 0.35 mm. After rapidly cooling the extruded filaments via crossflow air quenching at a temperature of 6°C, a continuous drawing of filaments at the optimum drawing rate at a temperature of 50°C was performed. The three-stage drawn filaments, drawn continuously at a moderate rate on the spin-draw device, were additionally hot drawn on a laboratory draw device (Zimmer). Separate drawing of filaments at two different temperatures, 130°C and 145°C, was performed with a hot plate to the limiting draw ratio. The conditions of the manufacturing process have been detailed elsewhere [15, 17].

The PP filaments, according to the dominant percentage of the polymer present, are divided into two groups. Group N is composed of the filaments made from a polymer with a higher molecular weight and broader molecular weight distribution (Hostalen PPN 1060F) and from polymer blends with a prevailing share of this polymer (100N, 90N, 80N, 70N, 60N, for continuously, moderately drawn filaments (first set of samples) and 100N/130, 90N/130, 80N/130, 70N/130, 60N/130 and 100N/145, 90N/145, 80N/145, 70N/145, 60N/145 for additionally, discontinuously drawn filaments at two temperatures, 130°C and 145°C (second set of samples)). In these samples, the number designates the percentage of this polymer in the mixture. The second group (group U) consists of filaments made from the lower molecular weight polymer with a narrow molecular weight distribution (Hostalen PPU 1780F2) and from polymer blends with a prevailing share of this polymer. Continuously, moderately drawn filaments from this group have the following names: 100U,

## 2.2 Metode preiskav

Natezne lastnosti PP filamentov so bile določene v nateznem poskusu z merjenjem pretržne sile in pretržnega raztezka ter beleženjem naraščajoče obremenitve v odvisnosti od naraščajočega podaljška. Meritve so se izvajale na dinamometru Instron 6022, in sicer pri vpeti dolžini 25 cm, s hitrostjo raztezanja 5,5 mm/s za neprekinjeno, delno raztezane filamente (prva serija vzorcev) in 1,6 mm/s za dodatno, ločeno raztezane filamente (druga serija vzorcev), tako da je do pretrga prišlo v približno 20 sekundah. Določene so bile viskoelastične in pretržne lastnosti: polžišče, modul elastičnosti, pretržni raztezek, specifična pretržna napetost, specifično pretržno delo.

## 3 Rezultati in razprava

### 3.1 Pretržne natezne lastnosti

Mehanske lastnosti filamentov so najpomembnejše tehnične lastnosti, saj vplivajo na obnašanje filamentov pri predelavi in uporabi. Med mehanskimi lastnostmi so zelo pomembne natezne lastnosti, ki so posledica odziva na zunanje sile in deformacije vzdolž vlakenske osi. Pri delovanju natezne sile se v filamentih pojavi napetost – kot upor, s katerim se filamenti upirajo delovanju zunanje sile. Zaradi primerljivosti se kot merilo za trdnost filamentov uporablja specifična pretržna napetost, ki je podana z razmerjem med pretržno silo in dolžinsko maso. Če se pri izračunu specifične pretržne napetosti upošteva znižanje dolžinske mase filamentov zaradi raztezanja, se dobi korigirana, to je dejanska specifična pretržna napetost ( $\sigma_{br,ac}$ ), ki je definirana kot razmerje med pretržno silo ( $F_{br}$ ) in dolžinsko maso filamentov v trenutku pretrga ( $T_{t,br}$ ) (en. 1).

$$\sigma_{br,ac} = \frac{F_{br}}{T_{t,br}} ; \quad T_{t,br} = \frac{T_i \cdot 100}{100 + \varepsilon_{br}} \quad (\text{en. 1})$$

Vrednosti obeh pretržnih napetosti, skupaj s pretržnim raztezkom in pretržnim delom, so zbrane v preglednici 2.

Iz preglednice 2 je razvidno, da je razlika med pretržno napetostjo in dejansko pretržno napetostjo velika le pri manj raztezanih filamentih. Pri teh filamentih je dolžinska masa v trenutku pretrga bistveno manjša od izmerjene, zato deluje sila na manjši presek, kar poveča njeno napetost. Pri dodatno, do mejnih razteznih razmerij ločeno raztezanih filamentih se dolžinska masa pri nadaljnem obremenjevanju z natezno silo le malo zmanjša, kar povzroči le majhno dejansko povečanje napetosti v filamentih.

Pretržni raztezek filamentov se z večanjem razteznega razmerja znižuje in je pri neprekinjeno, delno raztezanih filamentih med 50 in 110 %, pri dodatno, ločeno raztezanih filamentih pa med 9 in 20 %. Pretržno delo je določeno z velikostjo površine pod krivuljo

Table 2: Breaking load ( $F_{br}$ ), specific stress at break ( $\sigma_{br}$ ), real specific stress at break ( $\sigma_{br,ac}$ ), breaking extension ( $\epsilon_{br}$ ), specific work at break ( $A_{sp,br}$ ), yield stress ( $\sigma_y$ ) and elastic modulus ( $E_0$ ) of continuously, moderately drawn and additionally, discontinuously drawn filaments.

SAMPLE	$F_{br}$ (N)	$\sigma_{br}$ (cN/dtex)	$\sigma_{br,ac}$ (cN/dtex)	$\epsilon_{br}$ (%)	$A_{sp,br}$ (J/g)	$\sigma_y$ (cN/dtex)	$E_0$ (GPa)
100N	12.51	2.24	4.19	87.23	135.36	1.28	1.77
90N	14.98	3.65	6.40	75.21	191.24	1.79	2.40
80N	12.45	3.03	4.66	53.69	121.30	0.90	2.90
70N	14.69	3.55	5.83	64.30	163.70	1.93	2.59
60N	14.58	2.76	5.03	82.13	173.27	1.58	1.93
50U	16.06	3.24	4.99	53.90	131.00	0.93	3.12
60U	15.44	3.09	5.99	93.96	211.00	1.63	2.14
70U	19.77	3.95	6.81	72.39	194.70	1.92	2.93
80U	19.05	3.75	6.75	80.40	215.15	2.02	2.62
90U	18.26	3.51	6.30	79.53	209.78	1.98	2.68
100U	15.46	3.00	6.32	110.67	206.49	1.23	1.93
100N/130	17.53	5.81	6.95	19.68	75.42	0.95	7.15
90N/130	16.82	7.98	9.23	15.65	76.70	0.88	10.46
80N/130	17.20	7.18	8.42	17.25	75.34	0.82	9.43
70N/130	26.01	8.08	9.47	17.24	78.54	0.80	10.83
60N/130	19.86	7.48	8.77	17.20	75.34	0.80	9.46
50U/130	19.69	7.42	8.53	14.92	62.43	1.40	9.96
60U/130	18.38	7.76	9.05	16.62	68.12	0.90	10.60
70U/130	20.06	8.20	9.33	13.23	65.15	0.71	11.53
80U/130	18.52	7.71	8.64	12.06	55.74	0.59	11.56
90U/130	17.97	7.83	8.70	11.15	47.35	0.61	12.00
100U/130	15.76	7.77	8.78	12.95	51.16	0.65	12.29
100N/145	17.55	6.91	8.04	16.40	64.14	0.96	9.65
90N/145	15.61	8.01	9.16	14.41	63.29	0.75	11.82
80N/145	17.30	7.67	9.04	17.99	82.24	0.78	10.25
70N/145	16.32	8.13	9.35	14.95	66.36	0.71	11.26
60N/145	18.50	7.43	8.57	15.40	67.12	1.19	9.62
50U/145	17.75	7.38	8.29	12.38	51.05	0.80	12.51
60U/145	14.92	7.30	8.20	12.36	52.42	0.94	11.36
70U/145	17.33	7.82	8.68	10.94	50.97	0.76	13.12
80U/145	16.83	7.92	8.78	10.86	44.92	0.67	13.33
90U/145	15.47	7.86	8.57	9.00	44.70	0.74	14.80
100U/145	14.01	8.22	9.01	9.65	52.35	0.70	13.60

90U, 80U, 70U, 60U, 50U (first set of samples), additionally, discontinuously drawn filaments at a temperature of 130°C: 100U/130, 90U/130, 80U/130, 70U/130, 60U/130, 50U/130 and at a temperature of 145°C: 100U/145, 90U/145, 80U/145, 70U/145, 60U/145 and 50U/145 (second set of samples).

## 2.2 Testing methods

The tensile properties of the PP filaments were established by a tensile test, by measuring the breaking load and breaking extension and recording the increasing load as a function of the increasing extension. Measurements were carried out on an Instron 6022 dynamometer, with an initial gauge length of 25 cm at a crosshead speed of 5.5 mm/s for the continuously, moderately drawn filaments (first set of samples) and at 1.6 mm/s for the additionally, discontinuously drawn filaments (second set of samples), so that the break occurred in about 20 seconds. The viscoelastic and breaking properties, i.e., the yield point, elastic modulus, stress at break, extension at break and specific work at break, were determined.

## 3 Results and discussion

### 3.1 Tensile properties at break

The mechanical properties of filaments are the most important technical features, influencing the behavior of filaments in both processing and use. Among the mechanical properties, the tensile properties, resulting from the response to external forces and deformation along the fiber axis, are very important. Under the action of tensile forces, stress occurs in the filaments as the filaments resist the external force. As a measure of the filament's tenacity, the specific stress, given by the ratio between the breaking load and linear density, is used. If the thinning of the filament during stretching is taken into account in calculating the specific stress at break, the corrected or real specific stress at break ( $\sigma_{br,ac}$ ), defined as the ratio between the breaking load ( $F_{br}$ ) and the linear density of the filaments, determined at the moment of break ( $T_t$ ), can be obtained (Eq. 1).

The values of both stresses at break, together with the breaking extension and work at break, are presented in Table 2.

sila/podaljšek. Zaradi vpliva dolžinske mase in dolžine preskušanca na delo, potrebno za pretrg filamentov, je za primerjavo med vzorci primernejša uporaba specifičnega pretržnega dela ( $A_{sp,br}$ ), ki se izračuna po enačbi 2:

$$A_{sp,br} = \frac{A_{br}}{T_t \cdot l_0} \quad (\text{en. 2})$$

kjer je  $A_{br}$  pretržno delo,  $T_t$  dolžinska masa in  $l_0$  vpeta dolžina. Iz preglednice 2 je razvidno, da je specifično pretržno delo višje pri neprekinjeno, delno raztezanih filamentih in znaša med 130 in 215 J/g, pri dodatno, ločeno raztezanih filamentih pa je med 45 in 80 J/g.

#### 3.1.1 Neprekinjeno, delno raztezan filament

Specifična pretržna napetost filamentov doseže po neprekinjenem, delnem raztezanju vrednosti od 2,24 cN/dtex do 3,95 cN/dtex. Izračunane vrednosti dejanske specifične pretržne napetosti filamentov, pri kateri je upoštevano stanjšanje filamentov v času preskušanja, so precej višje in se gibljejo od 4,2 do 6,8 cN/dtex. Filamenti, oblikovani iz mešanic s prevladujočim deležem polimera z višjo molekularno maso, imajo kljub enakemu razteznemu razmerju ( $\lambda = 20,2$ ) različno pretržno napetost, nižjo pri večjem dodatku CR-polimera. Dodatek polimera z višjo molekularno maso k CR-polimeru z nižjo molekularno maso pa poveča specifično pretržno napetost filamentov (vzorci 90U, 80U in 70U) na 3,95 cN/dtex – skladno z večanjem dodatka – v primerjavi s filamenti, oblikovanimi iz 100 % CR-polimera (vzorec 100U), čeprav so bili filamenti, oblikovani iz mešanic, raztežani pri nekoliko nižjem razteznem razmerju ( $\lambda = 15,3$ ) kot vzorec 100U ( $\lambda = 15,6$ ).

Tristopenjsko neprekinjeno raztežani filamenti so še močno raztežni. Največji pretržni raztezek ima vzorec 100U, in sicer 111 %. Dodatek polimera z višjo molekularno maso CR-polimeru z nižjo molekularno maso zniža razteznost, tako pretržni raztezek vzorcev 90U in 80U znaša 80 %, vzorec 70U ima 72 % raztezek in vzorec 50U 54 %. Pri tem so bili vsi filamenti raztežani pri enakem strojnem ( $\lambda = 15,3$ ) in zelo podobnem dejanskem razteznem razmerju ( $\lambda_d = 14,2-14,5$ ) kot vzorec 100U ( $\lambda_d = 13,9$ ). Tudi pri filamentih, oblikovanih iz surovine s prevladujočim deležem polimera z višjo molekularno maso, je razviden vpliv izhodnega polimera: vzorec 100N ima kljub nižjemu razteznemu razmerju ( $\lambda = 13$ ) v primerjavi z vzorcem 100U ( $\lambda = 15,6$ ) nižji pretržni raztezek, filamenti, oblikovani iz mešanic (vzorci 90N, 80N in 70N), pa imajo kljub enakemu razteznemu razmerju ( $\lambda = 20,2$ ) zelo različne pretržne raztezke; vzorec 90N 75 %, vzorec 80N 54 % in vzorec 70N 64 % raztezek. Najnižji pretržni raztezek 54 % imata vzorca 50U in 80N. Filamenti imajo enak pretržni raztezek, čeprav je bil vzorec 50U raztežan z razteznim razmerjem 15,3, vzorec 80N pa z 20,2, kar samo potrjuje, da ima izhodna surovina vpliv na nastanek razlik v nadmolekulski strukturi, le-ta pa pogojuje pretržne lastnosti filamentov.



From Table 2, it can be seen that a difference between the specific stress at break and the actual specific stress at break occurs only in the moderately drawn filaments. In these filaments, the linear density at the moment of break is significantly lower than the measured linear density; the load is acting on a smaller cross section, which increases the tension in the filament. In the additionally, discontinuously drawn filaments, drawn to the limiting draw ratio, the linear density during stretching under a tensile load is only slightly reduced, resulting in only a small actual increase in tension in the filaments.

The breaking extension of the filaments decreases with increasing drawing ratio and was measured for continuously, moderately drawn filaments to be between 50 and 110% and, for additionally, discontinuously drawn filaments, between 9 and 20%. The work at break is determined by the size of the area under the load / extension curve. Due to the influence of the length and linear density of the sample on the work necessary to break the filaments, it is more appropriate to use the specific work at break, ( $A_{sp,br}$ ), for comparison between the samples, which is calculated by Eq. 2, where  $A_{br}$  is the work at break,  $T_l$  is the linear density, and  $l_0$  is the initial length of the filament.

From Table 2, it can be seen that the specific work at break is higher in the continuously, moderately drawn filaments and is between 130 and 215 J/g; whereas, in the additionally, discontinuously drawn filaments, the specific work at break is between 45 and 80 J/g.

### 3.1.1 Continuously, moderately drawn filaments

The specific breaking stress of filaments after continuous moderate drawing reaches values between 2.24 cN/dtex and 3.95 cN/dtex. The calculated values of the actual specific stress at break, which take into account the thinning of the filaments during tensile testing, are much higher and range from 4.2 to 6.8 cN/dtex. The filaments made from the polymer blends with a prevailing share of the higher molecular weight polymer have different values of specific stress at break, despite having the same draw ratio ( $\lambda = 20.2$ ); the values are lower for higher additions

Pretržno delo in specifično pretržno delo sta pri neprekinjeno, delno raztezanih filamentih visoki, kar pomeni, da so filamenti precej žilavi. Višje vrednosti imajo filamenti, oblikovani iz surovine s prevladujočim deležem CR-polimera z nižjo molekulsko maso.

### 3.1.2 Dodatno, ločeno raztežani filamenti

Dodatno, ločeno raztežno preoblikovanje pri visokih temperaturah specifično pretržno napetost filamentov še močno poveča. Pri določenem razteznem razmerju ( $\lambda$  nad 32) dosežejo filamenti trdnosti nad 7 cN/dtex, ki se z nadaljnjim večanjem razteznega razmerja le zmerno povečujejo – do 8,2 cN/dtex (sl. 1). Vrednosti dejanske specifične pretržne napetosti dodatno raztežanih filamentov so še za 9 do 14 % višje in se gibljejo med 8 in 9,5 cN/dtex. Najvišjo specifično pretržno napetost ( $\sigma_{br} = 8,22$  cN/dtex) imajo filamenti, oblikovani iz CR-polimera z nižjo molekulsko maso, dodatno raztežani pri 145 °C (vzorec 100U/145). Najvišjo dejansko specifično pretržno napetost ( $\sigma_{br,ac}$  nad 9,4 cN/dtex) pa imajo dodatno, ločeno raztežani filamenti, oblikovani iz mešanice 70/30 utežnih odstotkov polimera z višjo molekulsko maso/CR-polimera z nižjo molekulsko maso (vzorca 70N/130 in 70N/145).

Pretržni raztežki dodatno raztežanih filamentov so nizki, pri filamentih, raztežanih pri temperaturi 130 °C, so v območju od 11 do 20 % in pri filamentih, raztežanih pri temperaturi 145 °C, od 9 do 18 %. Filamenti, oblikovani iz CR-polimera z nižjo molekulsko maso in iz mešanic polimerov s prevladujočim deležem tega polimera, imajo bistveno nižje pretržne raztežke ( $\epsilon_{br}$  med 9 in 15 %) kot filamenti, oblikovani iz polimera z višjo molekulsko maso in mešanic s prevladujočim deležem tega polimera ( $\epsilon_{br}$  med 14,4 in 19,7 %), kljub temu da niso bili vsi raztežani z višjimi razteznimi razmerji. S tem je vpliv izhodnega polimera razviden tudi po dodatnem raztezanju filamentov do mejnih razteznih razmerij. Najnižji pretržni raztežek ( $\epsilon_{br} = 9$  %) imajo filamenti, oblikovani iz polimerne mešanice, sestavljene iz 90 % CR-polimera z nižjo molekulsko maso in 10 % polimera z višjo molekulsko maso ter široko porazdelitvijo molekulskih mas (vzorec 90U/145).

Z dodatnim raztezanjem pri visokih temperaturah se vrednosti pretržnega in specifičnega pretržnega dela močno znižajo, še posebej pri filamentih iz skupine vzorcev U, ki imajo po dodatnem raztezanju nižje pretržno in specifično pretržno delo od vzorcev iz skupine N. Filamenti, raztežani pri 145 °C, oblikovani iz mešanice 90/10 CR-polimera z nižjo molekulsko maso/polimera z višjo molekulsko maso (vzorec 90U/145), so najmanj raztežni in žilavi med vsemi vzorci ( $A_{sp,br} = 44,7$  J/g).

### 3.2 Krivulja specifična napetost/raztežek

Oblika krivulje specifična napetost/raztežek je v glavnem odvisna od molekulske strukture materiala. Modul elastičnosti, ki je podan z razmerjem specifične napetosti in relativnega podaljška oz. s tangensom kota med začetnim delom krivulje specifična napetost/raztežek in absciso, je pomembna karakteristika materiala.

of the CR-polymer. The addition of the higher molecular weight polymer to the lower molecular weight CR-polymer increases the specific stress at break of the filaments (samples 90U, 80U and 70U) to 3.95 cN/dtex. This is consistent with the increase in added polymer, compared with the filaments made from 100% CR-polymer (sample 100U), although the filaments made from the polymer blends were drawn at a lower draw ratio ( $\lambda = 15.3$ ) than sample 100U ( $\lambda = 15.6$ ).

The three-stage continuously drawn filaments are still very extensible. The highest breaking extension, 111%, was observed for sample 100U. The addition of the higher molecular weight polymer to the lower molecular weight CR-polymer lowers the stretchability; the breaking extension of samples 90U and 80U was 80%, sample 70U had a 72% extension, and sample 50U had an extension of 54%. All the samples were drawn at the same draw ratio ( $\lambda = 15.3$ ) as sample 100U ( $\lambda_{ac} = 13.9$ ), with very similar actual draw ratios (determined from the ratio of linear densities) ( $\lambda_{ac} = 14.2-14.5$ ). In addition, in the filaments made from the polymer blends with a prevailing share of higher molecular weight polymer, the impact of the polymer is seen. Despite having a lower draw ratio ( $\lambda = 13$ ) than sample 100U ( $\lambda = 15.6$ ), sample 100N exhibited a lower extension at break, the filaments made from the polymer blends (samples 90N, 70N and 80N) have very different extensions at break at the same draw ratio ( $\lambda = 20.2$ ): sample 90N, 75%; sample 80N, 54%; and sample 70N, 64%. The lowest extension of 54% was observed for samples 50U and 80N. The filaments had the same breaking extension, although sample 50U was drawn with a draw ratio of 15.3, while sample 80N was drawn at a ratio of 20.2, which confirms that the raw material (polymer) has an impact on the formation of the supramolecular structure, which, in turn, determines the breaking properties of the filament.

Both the work at break and specific work at break of continuously, moderately drawn filaments are high, which indicates that the filaments are not very resistant. Higher values were measured for the filaments made from polymer blends with a prevailing share of the lower molecular weight CR-polymer.

Pove, kakšen je začetni upor filamentov proti raztezanju. Vrednosti modula, podane v preglednici 2, so bile določene na začetnem premo sorazmernem območju iz maksimuma prvega odvoda krivulje [18].

Druga pomembna karakteristika, ki jo lahko odčitamo iz krivulje specifična napetost/raztezek, je polzišče. Polzišče je točka na krivulji specifična napetost/raztezek za proporcionalnim elastičnim območjem, na kateri pride do prve trajne deformacije filamentov. Definirano je s pripadajočima napetostjo in raztezkom. Vrednosti specifične napetosti v polzišču so podane v preglednici 2. Napetost v polzišču je višja pri kontinuirno raztezanih filamentih, pri katerih je material še bolj raztezen. Polzišče nastane pri raztezkih med 7 in 8 %. Pri močno raztezanih filamentih pa se trajna deformacija začne že pri zelo nizkih raztezkih, in sicer pri 0,5 do 1,5 %.

### 3.2.1 Nprekinjeno, delno raztezani filamenti

Krivulje neprekinjeno, delno raztezanih PP-filamentov kažejo pri obremenjevanju v nateznem poskusu začetno elastično obnašanje, izrazito polzišče in sledeče viskoelastično, predvsem plastično obnašanje s počasi naraščajočo napetostjo do pretrga. Prvi odvod, ki predstavlja potek modula, najprej strmo pade, po minimumu pa počasi narašča do pretrga. Na sliki 1 so prikazane krivulje neprekinjeno, delno raztezanih filamentov obeh skupin. Oblika krivulj je na celotnem območju deformacij in napetosti podobna pri vseh vzorcih, še posebej pri filamentih, oblikovanih iz mešanic obeh polimerov. Podoben potek krivulj pomeni, da se bodo ti filament na delovanje natezne sile odzvali podobno, ne glede na mešanico, iz katere so bili izdelani. Filamenti, oblikovani iz mešanic, se razlikujejo od filamentov, oblikovanih iz 100 % izhodnih polimerov, po tem, da dosežejo višje vrednosti specifične napetosti pri enakih raztezkih v primerjavi z vzorcema 100U in 100N. Slednja se razlikujeta tudi po tem, da so filament, oblikovani iz CR-polimera z nižjo molekularno maso (vzorec 100U), bolj raztezni kot drugi vzorci in se pretrgajo pri bistveno višjem raztezkju, filament, oblikovani iz polimera z višjo molekularno maso (vzorec 100N), pa ne

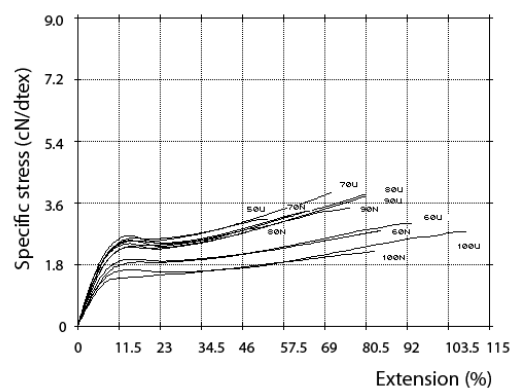


Figure 1: Specific stress/extension curves of continuously, moderately drawn filaments.

### 3.1.2 Additionally, discontinuously drawn filaments

Additional, separate drawing at high temperature strongly increases the specific stress at break of filaments. At a specific draw ratio ( $\lambda$  over 32), the filaments withstood stress values greater than 7 cN/dtex; by further increasing the draw ratio, only a moderate increase in the specific stress, up to 8.2 cN/dtex, was achieved (Fig. 1). The values of the real specific stress at break of the additionally, discontinuously drawn filaments are between 8 and 9.5 cN/dtex, and are 9 to 14% higher than values of the specific stress. The highest specific stress at break ( $\sigma_{br} = 8.22$  cN/dtex) was observed in the filaments made from the lower molecular weight CR-polymer, additionally drawn at 145°C (sample 100U/145). The maximum real specific stress at break ( $\sigma_{brac}$  over 9.4 cN/dtex) was measured in the additionally, discontinuously drawn filaments made from a blend of 70/30 weight percent of higher molecular weight polymer / lower molecular weight CR-polymer (samples 70N/130 and 70N/145).

The breaking extensions of the additionally, discontinuously drawn filaments are low; the filaments drawn at a temperature of 130°C range from 11 to 20%, and the filaments drawn at a temperature of 145°C range from 9 to 18%. Filaments made from the lower molecular weight CR-polymer and polymer blends with a prevailing share of this polymer have a significantly lower breaking extension ( $\epsilon_{br}$  between 9 and 15%) than filaments made from the higher molecular weight polymer and polymer blends with a prevailing share of the latter ( $\epsilon_{br}$  between 14.4 and 19.7%), despite the fact that not all were drawn at a higher draw ratio. This implies that the influence of the polymer is also seen in additionally drawn filaments drawn at the limiting draw ratio. The lowest extension ( $\epsilon_{br} = 9\%$ ) was observed in filaments made from the polymer blend consisting of 90% of the lower molecular weight CR-polymer and 10% of the higher molecular weight polymer with a broad molecular weight distribution (sample 90U/145).

As additional drawing is carried out at high temperatures, the values of the work at break and specific work at break are significant reduced, particularly those of the samples from

kažejo tako izrazitega padca napetosti za točko polzišča in obenem izkazujejo manjše naraščanje napetosti do pretrga od drugih filamentov. Izstopajo tudi filamenti, izdelani s 40 % deležem drugega polimera (vzorca 60N in 60U). Krivulji teh dveh vzorcev ležita med krivuljama vzorcev 100U in 100N ter krivuljami vzorcev, oblikovanih iz drugih polimernih mešanic.

Moduli elastičnosti neprekinjeno, delno raztezanih filamentov so nizki, njihove vrednosti so od 1,77 do 3,12 GPa. Korelacija z razteznim razmerjem, določena po fazah izdelave, je nizka, ker pri filamentih, oblikovanih iz mešanic polimerov, dodatek polimera z višjo molekulsko maso k CR-polimeru z nižjo molekulsko maso poveča modul elastičnosti v primerjavi z vzorcem 100U z 1,93 na 3,12 GPa, in to kljub nekoliko manjšemu razteznemu razmerju. Prav tako večji utežni dodatek CR-polimera k polimeru z višjo molekulsko maso poveča modul elastičnosti, vzorec 80N ima tako večji modul ( $E_0 = 2,9$  GPa) v primerjavi z vzorcem 90N ( $E_0 = 2,4$  GPa), četudi sta bila oba vzorca izdelana z enakim razteznim razmerjem.

Specifična napetost v polzišču z vrednostmi od 0,9 do 2 cN/dtex je visoka, saj znaša okoli 50 % specifične pretržne napetosti. Pri vseh neprekinjeno, delno raztezanih filamentih se za polziščem odpor proti raztezanju močno zmanjša. Takoj za polziščem se filamenti deformirajo brez povečanja napetosti. Pri večini vzorcev pride celo do znižanja napetosti z deformacijo in modul v prvi obračalni točki ( $E_1$ ), ki predstavlja najnižjo vrednost modula v področju za polziščem, zato doseže negativno vrednost. Pri nadaljnem obremenjevanju je prirastek raztezka veliko večji kot prirastek napetosti in po obliki krivulje je razvidno, da je večina tega raztezka nepovratna. Bistvene utrditve materiala med potekom nateznega preskusa ni zaslediti, kar potrjuje tudi odsotnost maksimuma prvega odvoda, ki predstavlja modul v drugi obračalni točki ( $E_2$ ). Nizke vrednosti modula elastičnosti in modula v prvi obračalni točki ( $E_1$ ) ter celotna oblika krivulje kažejo, da se filamenti slabo upirajo deformiranju pod vplivom natezne sile in so še močno raztezni.

### 3.2.2 Dodatno, ločeno raztežani filamenti

Potek krivulj dodatno, ločeno raztezanih filamentov je tipičen za močno raztežana vlakna s kratkim začetnim elastičnim področjem, brez jasno izraženega polzišča in prehoda v viskoelastično obnašanje, z enakomernim naraščanjem specifične napetosti in raztezka vse do pretrga. Prvi odvod krivulje se najprej strmo zniža, potem pa se počasi konstantno znižuje do točke pretrga.

Filamenti, raztežani pri temperaturi 130 °C (sl. 2), imajo podobno obliko in potek krivulj kot filament, raztežno preoblikovani pri temperaturi 145 °C (sl. 3). Slednji, ki so bili raztežani z večjim razteznim razmerjem, se bolj upirajo delovanju natezne sile in so manj raztezni kot filament, oblikovani iz enake surovine, dodatno raztežani pri nižji temperaturi in z nižjim razteznim razmerjem. Krivulje filamentov, oblikovanih iz polimera z višjo molekulsko maso (vzorci skupine N), se med seboj razlikujejo bolj, kot se

group U. The samples from group U have lower values of work at break and specific work at break than the samples from group N. The filaments drawn at a temperature of 145 °C made from the polymer blend of 90/10 lower molecular weight CR-polymer / higher molecular weight polymer (sample 90U/145) are the least extensible and of low toughness of all the samples ( $A_{sp,br} = 44.7 \text{ J/g}$ ).

### 3.2 Specific stress/extension curves

The shape of a specific load/extension curve is largely dependent on the molecular structure of the material. The elastic modulus, which is given by the ratio of the specific stress and the relative extension, i.e., by the tangent of the angle between the initial region of the specific stress/extension curve and the abscissae, is an important characteristic of a material. It determines the initial resistance of the filament to stretching. The elastic modulus values given in Table 2 were determined from the initial region of the curve, as the maximum of the first derivative of the curve [18].

Another important characteristic that can be determined from the specific stress/extension curve is the yield point. The yield point is a point on the specific stress/extension curve that is observed beyond the proportional elastic region, where permanent deformation of the filament is initiated. It is defined by the stress and extension. The yield stress values are given in Table 2. The yield stress is higher in the continuously, moderately drawn filaments, where the material is still very extensible. The onset of yield occurs at an extension of 7–8%. In the additionally drawn filaments that are drawn to the limit, the permanent deformation begins at low extensions of 0.5 to 1.5%.

#### 3.2.1 Continuously, moderately drawn filaments

The curves of the continuously, moderately drawn PP filaments show a marked yield point in the initial region of elastic behavior, followed by viscoelastic, particularly plastic, behavior, with the stress slowly growing until the break point. The first derivative, which represents the modulus, first falls sharply and then, after reaching a minimum, slowly grows until

med seboj razlikujejo filamenti, oblikovani iz surovine s prevladujočim deležem CR-polimera z nižjo molekulsko maso (vzorci skupine U). Krivulje so pri slednjih strmejše in krajše kot krivulje prvih, čeprav so bili nekateri filamenti iz vzorcev skupine U raztežani z nižjimi razteznimi razmerji kot filamenti iz vzorcev skupine N. Pri obeh temperaturah raztezanja so krivulje filamentov, oblikovanih s 100 %, 90 %, 80 % in 70 % deležem CR-polimera z nižjo molekulsko maso, najstrmejše in imajo podoben potek. Tej skupini sledi druga, ki jo sestavljajo filamenti, oblikovani iz 60/40, 50/50, 30/70 in 10/90 CR-polimera z nižjo molekulsko maso/polimera z višjo molekulsko maso, ki dosežejo podobno visoke pretržne napetosti pri višjih raztezkih. Potek krivulj je pri teh filamentih zelo podoben, kar pomeni, da se bodo podobno odzvali na delovanje natezne sile, čeprav se močno razlikujejo v razteznih razmerjih, s katerimi so bili izdelani.

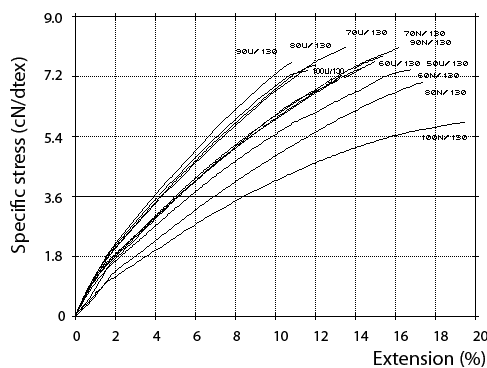


Figure 2: Specific stress/extension curves of additionally, discontinuously drawn filaments, drawn at a temperature of 130 °C.

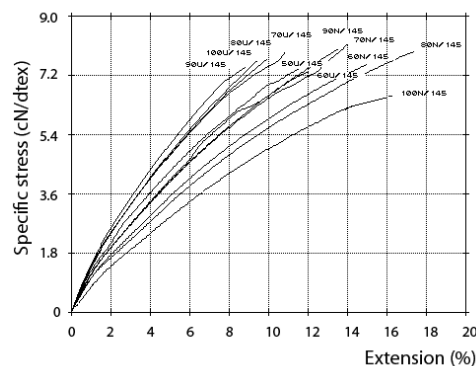


Figure 3: Specific stress/extension curves of additionally discontinuously drawn filaments, drawn at the temperature of 145 °C.

Dodatno raztezanje pri visokih temperaturah, ki bistveno utrdi filamente in zmanjša njihovo razteznost, močno poveča tudi modul elastičnosti. PP-filamenti, raztežani pri temperaturi 130 °C, dosežejo vrednosti od 7,15 do 12,3 GPa, filamenti, raztežani pri tem-

the break point. Figure 1 below shows curves of continuously, moderately drawn filaments from both sample groups. The shapes of the curves are similar for all the samples throughout the entire deformation range, especially for the filaments formed from polymer blends. The similarity of the curves indicates that the filaments have similar responses to tensile load, regardless of the polymer blend from which they were made. The filaments made from polymer blends differ from the filaments made from 100% pure polymer in that they reach higher levels of specific stress at the same extension, as compared with samples 100U and 100N. The latter two samples differ in that the filaments made from the lower molecular weight CR-polymer (sample 100U) are more extensible than the other samples and break at significantly higher extensions. The filaments formed from the higher molecular weight polymer (sample 100N) do not exhibit such an abrupt decrease in the specific stress beyond the yield point and show a smaller stress increase, as compared to the other filaments until the break point. The curves of filaments consisting of a 40% share of the second polymer in the blend (samples 60N and 60U) differ from those of the other samples. The curves of these two filaments lie between the curves of samples 100U and 100N and the curves of the filaments made from the other polymer blends.

The elastic moduli of the continuously, moderately drawn filaments are low, with values from 1.77 to 3.12 GPa. Correlation with the draw ratio, determined by the stages of production, is low. For the filaments made from the polymer blends consisting of higher molecular weight polymer added to the lower molecular weight CR-polymer, the elastic modulus increased, as compared to sample 100U, from 1.93 to 3.12 GPa, despite being formed at a slightly lower drawing ratio. In addition, the elastic modulus increased with the addition of the CR-polymer to the higher molecular weight polymer; sample 80N has a higher modulus ( $E_0 = 2.9$  GPa) than sample 90N ( $E_0 = 2.4$  GPa), even though the two samples were drawn at the same draw ratio.

The specific stress at yield, with values ranging from 0.9 to 2 cN/dtex, is high, as it is near 50% of the specific stress at break. For all the continuously, moderately drawn filaments, the resist-

peraturi 145 °C, pa od 9,65 do 14,8 GPa. Moduli so pri obeh temperaturah raztezanja višji pri filamentih, oblikovanih iz surovine s prevladujočim deležem CR-polimera z nižjo molekulsko maso, in v nekaterih primerih celo dosežejo višje vrednosti, kot jih dosežejo filamenti, oblikovani iz surovine s prevladujočim deležem polimera z višjo molekulsko maso, čeprav so bili slednji raztezani pri večjih raztezalnih razmerjih. Najvišji modul elastičnosti ( $E_0 = 14,8$  GPa) imajo pri temperaturi 145 °C dodatno raztezani filamenti, oblikovani iz polimerne mešanice, sestavljene iz 90 % CR-polimera z nižjo molekulsko maso in 10 % polimera z višjo molekulsko maso ter široko porazdelitvijo molekulskih mas (*vzorec 90U/145*). Dodatno raztezani filamenti pri 130 °C in pri 145 °C nimajo izrazitega prehoda iz elastičnega v viskoelastično obnašanje, razvidno iz krivulje, izrazitega znižanja upora proti raztezanju, ki ga podaja modul v prvi obračalni točki ( $E_1$ ), in ne kažejo značilne utrditve in povečanja upora proti raztezanju, podanega z modulom v drugi obračalni točki ( $E_2$ ). Specifična napetost polzišča in pripadajoči raztezek imata nižje vrednosti, kot so le-te pri neprekinjeno, delno raztezanih filamentih (*pregl. 2*). Tako je specifična napetost od 0,6 do 1,4 cN/dtex, kar ne predstavlja niti 15 % vrednosti specifične pretržne napetosti. Krivulja specifična napetost/raztezek se ves čas strmo dviga, prirastek napetosti na prirastek raztezka je velik do pretrga.

### 3.3 Medsebojna odvisnost nateznih lastnosti in razteznega razmerja

Linearna korelacija specifične pretržne napetosti dodatno, ločeno raztezanih filamentov s strojnimi in dejanskimi razteznimi razmerjem je dokaj visoka pri obeh temperaturah raztezanja ( $r_{xy}$  od 0,69 do 0,88), medtem ko pri samo neprekinjeno, delno raztezanih filamentih ne obstaja. Podobno je pri korelaciji med dejansko specifično pretržno napetostjo in razteznimi razmerjem, le da so vrednosti korelacijskega koeficienta nekoliko nižje. S slike 4 je

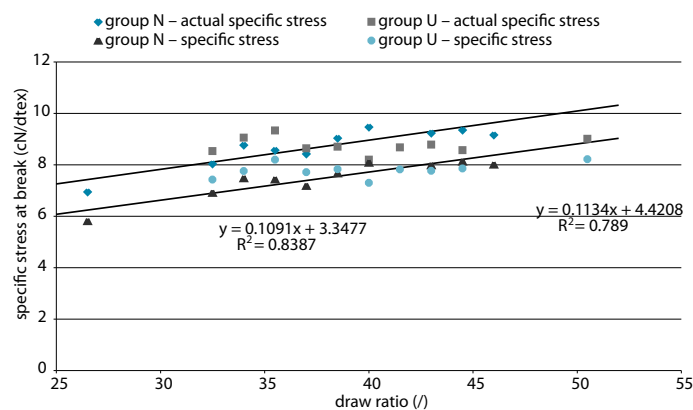


Figure 4: The specific stress at break of the additionally, discontinuously drawn PP filaments, depending on the draw ratio (nominal and actual).



ance to drawing was greatly reduced after the yield point. Immediately after the yield point, the filaments are deformed without increasing the stress. In most of the samples, even a reduction in stress is present with the deformation, and the modulus at the first turning point (E1), which represents the lowest value of the modulus after the yield point, reaches a negative value. As the deformation process continues, the increase in extension is much higher than the increase in stress; from the shape of the curve, it can be seen that the majority of this deformation is non-recoverable. The obvious strengthening of the material that occurs during the tension test is not present, and the absence of a maximum of the first derivative, which represents the modulus at the second turning point (E2), i.e., the modulus of strengthening, confirms this. The low values of the elastic modulus and the modulus at the first turning point (E1) and the overall curve show that the filaments exhibit little resistance to deformation under the influence of tensile load and are still very extensible.

### 3.2.2 Additionally, discontinuously drawn filaments

The shapes of the curves of additionally, discontinuously drawn filaments are typical for strongly drawn filaments, with a short initial elastic area without a clearly marked yield point and a transition to viscoelastic behavior with a steeper increase in specific stress occurring with the extension until the break point. The first derivative of the curve sharply drops, then slowly and constantly decreases until the break point. The filaments drawn at a temperature of 130°C (Fig. 2) show curves similar to those of the filaments drawn at a temperature of 145°C (Fig. 3). The latter, which were drawn at a higher draw ratio, are more resistant to the action of the tensile load and are less extensible than the filaments made from the same polymer blend, additionally drawn at a lower temperature and lower draw ratio. The curves of the filaments made from the higher molecular weight polymer (samples from group N) differ more with each other than the filaments made from the polymer blends with a dominant share of the lower molecular weight CR-polymer (samples from group U). The curves of the latter are steeper and short-

razvidno, da pri dodatno, ločeno raztezanih filamentih specifična pretržna napetost in dejanska pretržna napetost linearno naraščata z razteznim razmerjem pri vzorcih skupine N, medtem ko vzorci skupine U že pri nižjih razteznih razmerjih dosežejo visoko specifično pretržno napetost in potem kažejo le rahel trend naraščanja z razteznim razmerjem.

Linearna korelacija pretržnega raztezka filamentov z razteznim razmerjem je po posameznih fazah izdelave zelo nizka ( $r_{xy}$  med  $-0,44$  in  $-0,52$ ), saj na pretržni raztezek filamentov ne vpliva samo raztežno razmerje, temveč tudi molekulska struktura izhodnega polimera, pogoji oblikovanja in s tem povezana nadmolekulska struktura filamentov. S slike 5 pa je razvidno, da pri dodatno, ločeno raztezanih filamentih pretržni raztezek linearno pada z razteznim razmerjem.

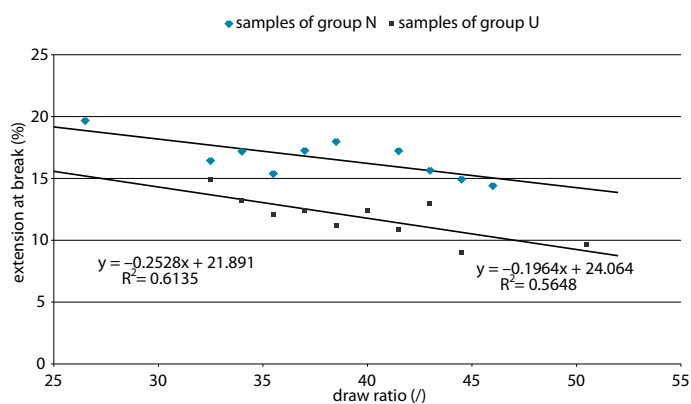


Figure 5: The breaking extension of the additionally, discontinuously drawn PP filaments, depending on the draw ratio.

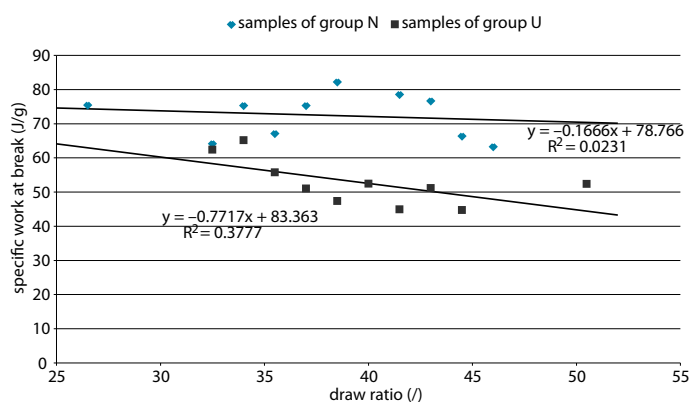


Figure 6: The specific work at break of the additionally, discontinuously drawn PP filaments, depending on the draw ratio.

Tudi med specifičnim pretržnim delom in razteznim razmerjem linearne korelacije, določene po posameznih fazah izdelave, ni. S slike 6 je razvidno, da pri dodatno, ločeno raztezanih filamentih iz

er than the curves of the first group, although some filaments in group U were drawn at a lower draw ratio than the filaments of group N. At both drawing temperatures, the curves of the filaments made from polymer blends of 100%, 90%, 80% and 70% lower molecular weight CR-polymer are steeper and have a similar shape. This group is followed by a second group, which is made up of filaments formed from 60/40, 50/50, 30/70 and 10/90 lower molecular weight CR-polymer / higher molecular weight polymer, which achieve similar high values of stress at higher extensions. The shapes of the curves of these filaments are similar. That indicates that they will exhibit similar responses to the action of a tensile load, although the draw ratios with which they were made vary greatly.

Additional drawing at high temperature, which significantly reinforces the filaments and reduces their stretchability, greatly increases the elastic moduli of the filaments. PP filaments drawn at a temperature of 130°C have modulus values of 7.15 to 12.3 GPa, while filaments drawn at a temperature of 145°C have modulus values ranging from 9.65 to 14.8 GPa. For both drawing temperatures, the moduli are higher in the filaments made from the polymer blends with a prevailing share of the lower molecular weight CR-polymer and, in some cases, even reach higher values than those achieved in filaments made from the polymer blends with a dominant share of the higher molecular weight polymer, although the latter were drawn at a higher draw ratio. The highest elastic modulus ( $E_0 = 14.8$  GPa) was observed in the filaments drawn at a temperature of 145°C, made from the polymer blend consisting of 90% of the lower molecular weight CR-polymer and 10% of the higher molecular weight polymer with a broad molecular weight distribution (sample 90U/145).

Additionally drawn filaments drawn at 130 and 145°C do not have an apparent yield point or an abrupt transition from elastic to viscoelastic behavior in the curves, with a sharp reduction in resistance to extension, which is determined by the modulus at the first turning point ( $E_1$ ), and do not show significant strengthening or increased resistance to extension, given by the modulus at the second turning point ( $E_2$ ). The specific stress and associated extension are

skupine U specifično pretržno delo pada z razteznim razmerjem, medtem ko pri vzorcih skupine N specifično pretržno delo ne kaže soodvisnosti z razteznim razmerjem.

Modul elastičnosti z večanjem razteznega razmerja narašča. Pri obeh skupinah vzorcev je medsebojna odvisnost naraščanja modula elastičnosti ter večanja strojnega in dejanskega razteznega razmerja, računana ločeno za posamezno skupino vzorcev, vključujoč vse faze izdelave pri posamezni skupini, zelo visoka ( $r_{xy} = 0,97$ ). Linearna korelacija, določena po stopnjah izdelave, pa podobno kot pri specifični pretržni napetosti pri neprekinjeno raztezanih filamentih ne obstaja, pri dodatno, ločeno raztezanih filamentih pa ima raztezno razmerje večji vpliv, zato je razvidna določena soodvisnost ( $r_{xy} = 0,7$  pri temperaturi raztezanja 130 °C in  $r_{xy} = 0,6$  pri temperaturi raztezanja 145 °C). Modul elastičnosti dodatno, ločeno raztezanih filamentov narašča z naraščanjem razteznega razmerja pri obeh skupinah vzorcev (sl. 7). Visoka linearna korelacija obstaja med modulom elastičnosti in faktorjem povprečne orien-

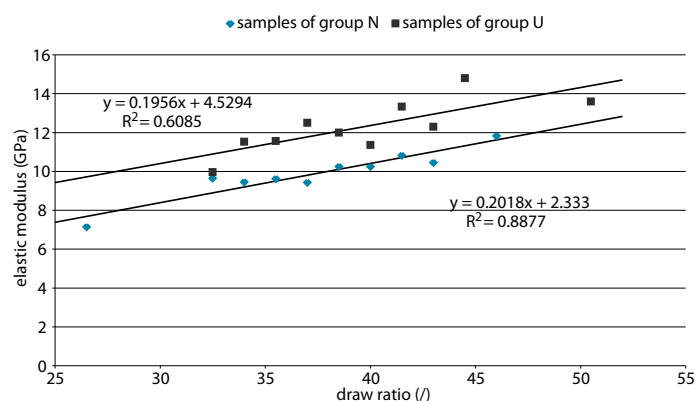


Figure 7: Elastic modulus of the additionally, discontinuously drawn PP filaments, depending on the draw ratio.

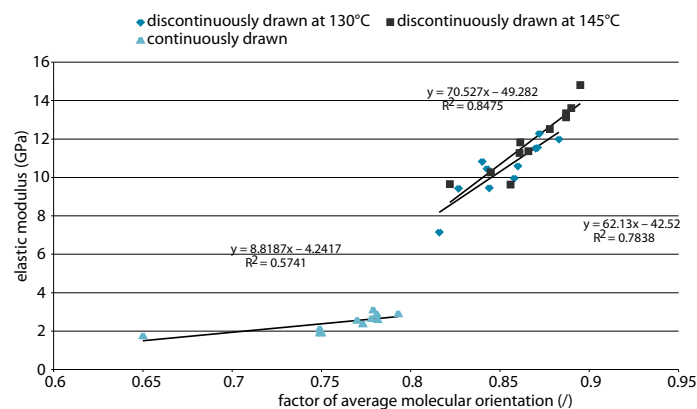


Figure 8: Elastic modulus of the continuously, moderately and of additionally, discontinuously drawn PP filaments, depending on the molecular orientation.

lower than those of the continuously, moderately drawn filaments (Fig. 2). Thus, the specific stress ranges from from 0.6 to 1.4 cN/dtex, which does not constitute 15% of the value of specific stress at break. The specific stress / extension curves constantly rise; the increase in specific stress is rapid until the break point.

### 3.3 Correlation between tensile properties and drawing ratio

The linear correlation of the specific stress of the additionally, discontinuously drawn filaments with the draw ratio and the actual draw ratio is relatively high ( $r_{xy}$  from 0.69 to 0.88) at both drawing temperatures, while for the continuously, moderately drawn filaments, no correlation is found. A similar situation occurs for the correlation between the real specific stress at break and the draw ratio, except that the correlation coefficient is slightly lower. From Figure 4, it can be seen that, for the additionally, discontinuously drawn filaments, the specific stress at break and the real specific stress at break increase linearly with the draw ratio for the samples from group N, while the samples from group U achieve a high specific stress even at lower draw ratios and then show only a slight increase with the draw ratio.

The linear correlation of the breaking extension of the filaments with the draw ratio at each processing stage is very low ( $r_{xy}$  between  $-0.44$  and  $-0.52$ ), since the breaking extension of the filaments depends not only on the draw ratio, but also on the molecular structure of the polymer, the processing conditions and the related supramolecular structure of the filaments. From Figure 5, it is clear that for the additionally, discontinuously drawn filaments, the breaking extension decreases linearly with the draw ratio.

In addition, a linear correlation between the specific work at break and the draw ratio at each processing stage is not found. From Figure 6, it can be seen that for the additionally, discontinuously drawn filaments from the samples from group U, the specific work at break decreases with the draw ratio, while those of the samples from group N show no correlation with the draw ratio. The elastic modulus of the filaments increases with increasing draw ratio. In both groups

tacije polimernih molekul, kar je razvidno s slike 8. Modul elastičnosti filamentov se povečuje predvsem z naraščanjem molekularne orientacije, stopnja kristalnosti pa ima manjši vpliv.

## 4 Zaključek

Filamenti, oblikovani iz polimerne mešanice s prevladujočim deležem CR-polimera z nižjo molekulsko maso (*vzorci skupine U*), prenesejo visoke pretržne napetosti in se pri tem manj raztezajo. Filamenti, oblikovani iz polimerne mešanice s prevladujočim deležem polimera z višjo molekulsko maso in širšo porazdelitvijo molekulskih mas (*vzorci skupine N*), dosežejo podobno visoke pretržne napetosti, vendar pri višjih pretržnih raztezkih. Razlike v mehanskih lastnostih filamentov, oblikovanih iz različnih polimerov, so velike pri obeh temperaturah raztezanja. Tako doseže vzorec 100N/145 pri trdnosti 6,91 cN/dtex in 16,4 % pretržnem raztezu modul elastičnosti 9,65 GPa, vzorec 100U/145 pa pri 9,65 % pretržnem raztezu trdnost 8,22 cN/dtex in modul elastičnosti 13,6 GPa, ki je za okoli 4 GPa višji kot pri vzorcu 100N/145. To vzorec 100U/145 uvršča med visokomodulna, visokotrдна PP-vlakna. Dodatek drugega polimera v obeh primerih izboljša mehanske lastnosti filamentov. Maksimalno možno raztežno razmerje, struktura in lastnosti filamentov so predvsem odvisni od prevladujočega polimera, vendar pa ima določen vpliv tudi delež dodanega polimera. Vzorcem iz prevladujočega polimera z višjo molekulsko maso in široko porazdelitvijo molekulskih mas (*vzorci skupine N*) se z dodatkom CR-polimera z nižjo molekulsko maso poveča mejno raztežno razmerje. To povečanje je pri obeh temperaturah raztezanja višje pri 10 % dodatku CR-polimera. Skladno z večjim razteznim razmerjem so boljše tudi mehanske lastnosti; povečata se pretržna napetost in modul elastičnosti. Pri vzorcih iz prevladujočega CR-polimera z nižjo molekulsko maso (*vzorci skupine U*) majhen dodatek polimera z višjo molekulsko maso (10 in 20 %) ne zmanjša bistveno mejnega razteznega razmerja. Izboljšanje lastnosti je pri manjšem, to je pri 10 %, dodatku polimera z višjo molekulsko maso k CR-polimeru večje kot pri 20 % dodatku. Po modulu elastičnosti najbolj izstopa vzorec 90U/145, ki z vrednostjo 14,8 GPa predstavlja najvišje vrednosti, ki smo jih dosegli v okviru raziskav.

Raziskava je potrdila, da je struktura raztežno preoblikovanih PP filamentov oblikovanih iz taline odvisna od molekulskih mas in od porazdelitve molekulskih mas izhodnega polimera. Ugotovljeno je bilo:

- da je orientacija makromolekul večja pri filamentih, oblikovanih iz polimera z ozko porazdelitvijo molekulskih mas,
- da je razteznost filamentov, oblikovanih iz polimera s široko porazdelitvijo molekulskih mas pri nižjih temperaturah preoblikovanja večja, kot razteznost filamentov oblikovanih iz polimera z ozko porazdelitvijo molekulskih mas, pri višjih temperaturah preoblikovanja pa je vpliv porazdelitve molekulskih mas minimalen,

of samples, the mutual dependence of the elastic modulus and the draw ratio, calculated separately for each group of samples, including all phases of production in each group, is very high ( $r_{xy} = 0.97$ ). Similar to the specific stress at break, the linear correlation determined at each level of the production process does not exist for the continuously, moderately drawn filaments; in the additionally, discontinuously drawn filaments, the draw ratio has a greater impact, it exhibits a correlation with the elastic modulus:  $r_{xy} = 0.7$  at a temperature of 130°C and  $r_{xy} = 0.6$  at a temperature of 145°C. The elastic modulus of the additionally, discontinuously drawn filaments increases with increasing draw ratio for both groups of samples (Fig. 7). High linear correlation exists between the elastic modulus and factor of average molecular orientation, which can be seen in Figure 8. As the orientation of macromolecules increases the elastic modulus of filaments increases too.

#### 4 Conclusion

Filaments made from a polymer blend with a prevailing share of the lower molecular weight CR-polymer (samples from group U) exhibited a high elastic modulus and specific stress and a low extension at break. Filaments made from polymer blends with a prevailing share of the higher molecular weight polymer with a broader molecular weight distribution (samples from group N) achieved a similar high specific stress at break but at a higher breaking extension.

The differences in the mechanical properties of the filaments made from the different polymers are great for both drawing temperatures. Sample 100N/145, with a tensile tenacity of 6.91 cN/dtex and a breaking extension of 16.4%, exhibited an elastic modulus of 9.65 GPa; sample 100U/145, at a breaking extension of 9.65%, showed a tenacity of 8.22 cN/dtex and an elastic modulus of 13.6 GPa, which is about 4 GPa greater than the modulus of sample 100N/145. Thus, sample 100U/145 can be regarded as a high-modulus, high-tenacity polypropylene filament. In both cases, the addition of another polymer improves the mechanical properties of the filaments. The maximum attainable draw ratio, the structure and the properties of the

– da so pri visokih razteznih razmerjih filamenti oblikovani iz polimera z ozko porazdelitvijo molekulskih mas presegle modul elastičnosti in natezno trdnost filamentov, oblikovanih iz polimera s široko porazdelitvijo molekulskih mas.

## 5 Literatura

1. GELEJI, F., KÓCZY, L., FÜLÖP, I., and BODOR, G. Properties of polypropylene fibers made from homologue mixtures. *Journal of Polymer Science: Polymer Symposium*, 1977, vol. 58, p. 253–273.
2. MIERAS, H. J. M., and VAN RIJN, C. F. H. Influence of Molecular Weight Distribution on the Elasticity and Processing Properties of Polymer Melts. *Journal of Applied Polymer Science*, 1969, vol. 13, p. 309–322.
3. MINOSHIMA, W., WHITE, J. L., and SPRUIELL, J. E. Experimental Investigation of the Influence of Molecular Weight Distribution on the Rheological Properties of Polypropylene Melt. *Polymer Engineering Science*, 1980, vol. 20 (17), p. 1166–1176.
4. LU, F., and SPRUIELL, J. E. The Influence of Resin Characteristics on the High Speed Melt Spinning of Isotactic Polypropylene. I. Effect of Molecular Weight and its Distribution on Structure and Mechanical Properties of As-Spun Filaments. *Journal of Applied Polymer Science*, 1987, vol. 34, p. 1521–1539.
5. KLOOS, F. Struktur und Eigenschaften schmelzgesponnener Polypropylen-Fasern. *Kunststoffe*, 1987, vol. 77, p. 1168–1172.
6. MAHAJAN, S. J., BHAUMIK, K., in DEOPURA, B. L. Fibers Spun from Blends of Different Molecular Weights of Polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 1991, vol. 43, p. 49–56.
7. GUTMAN, R. Herstellung von Microfilamentgarnen aus bimodalen PP-Mischungen. *Chemiefasern/Textilindustrie*, 1994, vol. 44/96, p. 675–681.
8. MISRA, S., SPRUIELL, J. E., and RICHESON, G. C. Influence of Molecular Weight Distribution on the Structure and Properties of Melt-Spun Polypropylene Filaments. *Journal of Applied Polymer Science*, 1995, vol. 56, p. 1761–1779.
9. MINOSHIMA, W., WHITE, J. L., and SPRUIELL, J. E. Experimental Investigations of the Influence of Molecular Weight Distribution on Melt Spinning and Extrudate Swell Characteristics of Polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 1980, vol. 25, p. 287–306.
10. PARRINI, P. Influence of Molecular Weight Distribution on the Primary Crystallization Kinetics of Isotactic Polypropylene. *Makromolekulare Chemie*, 1963, vol. 62, p. 83–96.
11. AHMED, M. *Textile Science and Technology. Vol. 5: Polypropylene Fibers – Science and Technology*. Amsterdam: Elsevier

filaments are primarily dependent on the prevailing polymer, though the added polymer has some influence. For the filaments made from a blend with a prevailing share of the higher molecular weight polymer with a broader molecular weight distribution (samples from group N), the draw ratio increased significantly with the addition of the lower molecular weight CR-polymer. This increase, observed at both drawing temperatures, is higher at a 10% addition of the latter polymer. Consistent with the higher draw ratio, the mechanical properties of the filaments are improved; the specific stress at break and the elastic modulus increase. For the filaments made from blends with a prevailing share of the lower molecular weight CR-polymer (samples from group U), a small addition of the higher molecular weight polymer (10 and 20%) did not significantly reduce the draw ratio. Greater improvement of the filament's properties occurred with the smaller (10%) addition of the higher molecular weight polymer to the lower molecular weight CR-polymer, as compared to a 20% addition. Sample 90U/145 is distinct from the other samples in its elastic modulus value. With a value of 14.8 GPa, this sample represents the highest elastic modulus achieved in the context of this study.

Our research has confirmed that the structure of drawn melt-spun PP filaments depends on the molecular weight and molecular weight distribution of the polymer. It was established:

- that the orientation of macromolecules is higher in the filaments made from the polymer with narrow molecular weight distribution,
- that the drawability of the filaments made from the polymer with broad molecular weight distribution is greater than drawability of the filaments made from the polymer with narrow molecular weight distribution at the drawing temperature of 50°C, whereas the impact of the molecular weight distribution at 130 and 145°C is minimal,
- that at high draw ratio the filaments made from the polymer with narrow molecular weight distribution exceed the elastic modulus and tensile strength of the filaments, made from the polymer with broad molecular weight distribution.

Scientific Publishing Co., 1982.

12. COMPOSTELLA, M., COEN, A., and BERTINOTTI, F. Fasern und Filme aus isotaktischem Polypropylen. *Angewandte Chemie*, 1962, vol. 74 (16), p. 618–624.
13. WISHMAN, M. and HAGLER, G.E., Polypropylene Fibers. *Fiber Chemistry: Handbook of Fiber Science and Technology*, vol. 4, New York: Marcel Dekker Inc., 1985.
14. ANDREASSEN, E., MYHRE, O. J., HINRICHSEN, E. L., and GRØSTAD, K. Effect of Processing Parameters and Molecular Weight Distribution on the Tensile Properties of Polypropylene Fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 1994, vol. 52, p. 1505–1517.
15. GREGOR SVETEC, D. *Laboratorijsko oblikovanje visokomodulnih polipropilenskih vlaken, njihova struktura in lastnosti: Doktorska disertacija*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 1997.
16. GREGOR SVETEC, D. Razvoj laboratorijskega postopka izdelave visokomodulnih polipropilenskih vlaken. *Tekstilec*, 1997, vol. 40 (7/8), p. 143–152.
17. GREGOR SVETEC, D. Izdelava polipropilenskih vlaken iz mešanic dveh polimerov različne molekulske mase. *Tekstilec*, 2000, vol. 43 (11/12), p. 387–397.
18. BUKOŠEK, V. *Računalniško vrednotenje viskoelastičnih lastnosti vlaken, filamentov, prej, tkanin, trakov, folij in ploskih izdelkov iz nateznih in tlačnih poskusov*. Razvoj metode in programske opreme DINARA, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, 1989.



## Functional Coatings of Textiles Based on $\text{TiO}_2$ and $\text{SiO}_2$ Nanoparticles

Review

Received September 2008 • Accepted November 2008

### Abstract

Recently functionalisation of different materials by nanocoating is being the target idea of several research projects, however the technology is only limited applied for textiles although it promises a lot. Only functional coatings of textiles based on  $\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$  nanoparticles are reviewed in this article however, it should be emphasized that different other nano-coatings are of significance likewise.

*Key words:* nanotechnology, nanocoatings,  $\text{TiO}_2$  nanoparticles,  $\text{SiO}_2$  nanoparticles

### 1 Introduction

Recently nanotechnology is introduced for preparing functional textiles. It employs physical or chemical techniques to construct materials, devices or systems on a nanometer scale, thus nanostructured fibres are those with at least one dimension in the range 1–1000 nm. It is a technology that can significantly improve properties of materials compared with those of conventional ones. This remarkable properties improvement is attributed to the significant increase in the fibre's boundary area or its func-

---

Vodilni avtor/corresponding author:  
 dr. Majda Sfiligoj Smole  
 tel.: +386 2 220 78 83  
 e-mail: majda.sfiligoj@uni-mb.si

---

Nika Veronovski, Silvo Hribernik, Majda Sfiligoj Smole  
 Oddelek za tekstilne materiale in oblikovanje, Fakulteta  
 za stojništvo, Univerza v Mariboru,

## Funkcionalizacija tekstilij z nano $\text{TiO}_2$ in $\text{SiO}_2$ prevlekami

### Pregledni znanstveni članek

Poslano september 2008 • Sprejeto november 2008

### Izvleček

Funkcionalizacija različnih materialov z uporabo prevlek iz nanodelcev je v zadnjem času predmet mnogih raziskav, vendar pa to tehnologijo na tekstilnem področju uporabljajo le v omejenem obsegu, in to kljub njenemu velikemu potencialu. Članek zajema pregled raziskav s področja nanoprevlek vlaken z delci titanovega in silicijevega dioksida, treba pa je poudariti, da so prevleke iz drugih anorganskih nanodelcev na vlaknih prav tako pomembne, saj z njimi dosegamo nove funkcionalne lastnosti tekstilij.

*Ključne besede:* nanotehnologija, nanoprevleke,  $\text{TiO}_2$  nanodelci,  $\text{SiO}_2$  nanodelci

### 1 Uvod

Nanotehnologija, ki združuje kemijske in fizikalne postopke priprave materialov, naprav ali sistemov nano velikostnega reda, se v zadnjem času vse bolj uporablja tudi v razvoju funkcionalnih tekstilij. Z nanotehnološkimi postopki lahko znatno izboljšamo lastnosti konvencionalnih vlaknatih materialov, kar je posledica povečane funkcionalne površine tekstilije. Tekstilne nanomateriale delimo na nanovlakna, nanokompozite in tekstilije s prevlekami iz nanodelcev [1].

Priprava nanoprevlek na vlaknih ima številne prednosti pred konvencionalnimi apretirnimi postopki, saj so za doseganje enakih učinkov zadostne manjše količine aditivov, poleg tega pa postopki nanoplastenja omogočajo doseganje več funkcionalnosti na tekstilnem substratu sočasno. Prevleke z oksidnimi delci (na primer si-

tional surface. In the textile sector, nanotechnology provides opportunities by creating new materials such as nanofibres, nanocomposites and nanocoated textiles [1].

Replacement of certain conventional finishing procedures with employment of inorganic coatings may prove beneficial, since low quantities of additives are required and various combinations of different functionalities can be simultaneously imparted to a textile substrate. Coatings of particulate oxides, such as silica nano particles, are stable against light, heat, chemical and microbial attack and can, at the same time, act as functional coatings or as carriers for embedded functional additives and inorganic particles or as a base layer for subsequent functionalisation with compounds, which contribute different properties (silanes, fluorinated, phosphorous compounds, etc).

Various functionalities can be enhanced or imparted to a textile material by applying different coatings of nano particles [2, 3]; improved abrasion stability, resistance to thermal deg-

licijevega dioksida), ki so odporne proti svetlobi, toploti, delovanju kemikalij in mikrobov, predstavljajo funkcionalno prevleko vlakna ali pa so osnova za nadaljnjo funkcionalizacijo.

Z nanoprevlekami tekstilij dosegamo različne lastnosti [2, 3], kot so na primer izboljšana obstojnost proti drgnjenju, odpornost proti temperaturnemu razpadu [4, 5, 6], različne odbojne lastnosti (hidrofobnost, oleofobnost, odbojnost za madeže), samočistilne lastnosti, absorpcija UV-svetlobe [7, 8, 9], električna prevodnost, protimikrobna aktivnost itd. [10, 11, 12]. Takšne obdelave tekstilnih materialov so zanimive predvsem za področje tehničnih tekstilij [13].

Članek zajema pregled raziskav na področju prevlek iz delcev silicijevega dioksida in titanovega dioksida. Prevleke iz nanodelcev je mogoče oblikovati neposredno na površini tekstilnega substrata s sol-gel postopkom, z adsorpcijo predhodno oblikovanih delcev iz disperzij ali pa z vključevanjem delcev v mrežno strukturo silike na površini vlakna.

## 2 Sol-gel postopek

Sol-gel postopek je ena najuporabnejših tehnik za izdelavo tankih filmov [14, 15]. Prednostna lastnost sol-gel postopka je

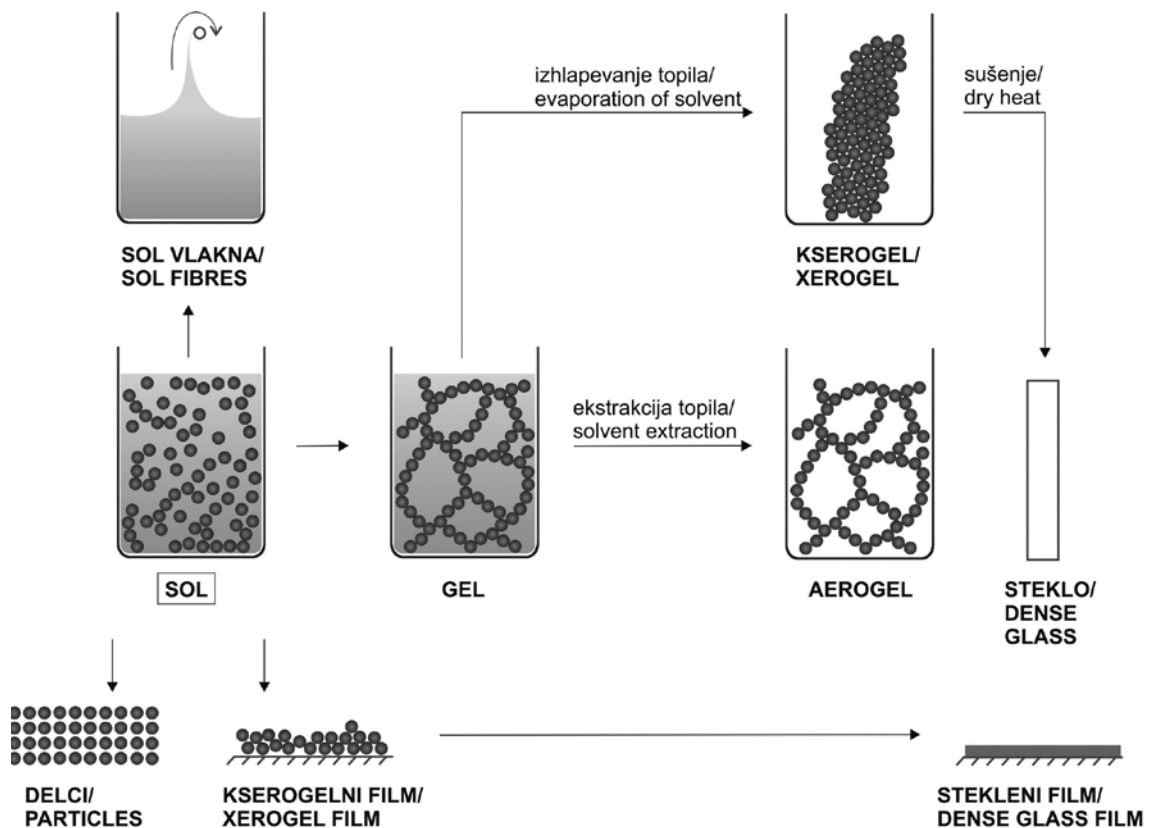


Figure 1: Scheme of the different stages of the sol-gel processing [16]

radation [4, 5, 6], various repellent properties (water, oil, soil), self-cleaning properties, absorption of UV light [7, 8, 9], electrical conductivity, antimicrobial activity [10, 11, 12]. Such treatments of textiles is especially interesting for the technical textile sector [13].

The article comprises mainly the work done in the field of coatings with silica and titania nanoparticles that are being applied to textile materials for various purposes. Coatings in these cases consist of particles and are either synthesized in-situ on the textile materials' surface via sol gel process, deposited on the textile materials' surface from dispersions or entrapped in the silica network, grown on the surface.

## 2 Sol-gel process

Sol-gel process is one of the most applicable techniques to manufacture thin films [14, 15]. One of the most advantageous and attractive characteristics of the sol-gel process is the ability to control and manipulate composition and microstructure of the material at the molecular level and at room temperature. Since a sol is defined as a colloidal dispersion of particles in a liquid and gel as a substance that contains a continuous solid skeleton, which serves as an entrapment for continuous liquid phase, than the definition for sol-gel processing is the

predvsem možnost nadzorovanja sestave in mikrostrukture materiala na molekularnem nivoju in pri sobni temperaturi. Sol je definiran kot koloidna disperzija delcev v tekočem mediju, gel pa kot snov, sestavljena iz trdne faze, ki služi kot kletka za tekočo fazo; sol-gel postopek bi tako lahko opisali kot rast koloidnih delcev in njihovo povezovanje v gel. Med sol-gel postopke spadajo tvorbe tankih filmov, vlaken in delcev, kljub temu da v nekaterih primerih, na primer pri delcih, ni faze geliranja (slika 1) [16, 17].

### 2.1 Sol-gel postopek za izdelavo delcev silicijevega dioksida – SiO<sub>2</sub>

Najbolj znan primer uporabe sol-gel postopka je izdelava silicijevega dioksida (silike), in to v obliki delcev, tankih filmov ali gelov. Stöber in sodelavci [18] so leta 1968 objavili metodo za izdelavo sferičnih in monodisperznih nanodelcev silicijevega dioksida; raztopino silicijevega alkoksida v alkoholu in vodi kataliziramo z alkalijo ali kislino. Med najobičajnejše prekursorje za izdelavo silikatov spadata TMOS (tetramethoxysilane; Si(OCH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>) in TEOS (tetraethoxysilane; Si(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>). Sinteza silike v večini primerov poteka preko hidrolize raztopine alkoksida v alkoholu, ki ji sledi reakcija kondenzacije [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. Sol-gel postopek lahko opišemo z naslednjimi tremi reakcijami:

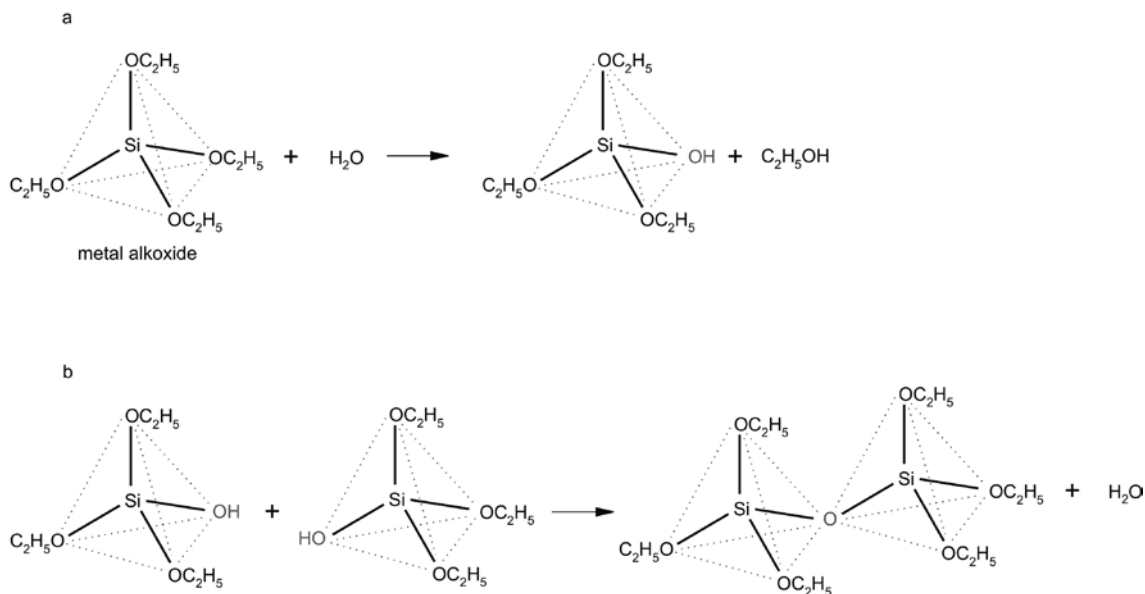
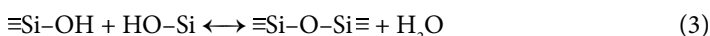
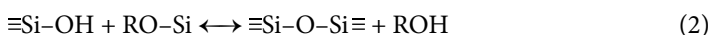


Figure 2: Reactions of a) hydrolysis and b) polycondensation of a silicon precursor

growth of colloidal particles and their linkage together to form a gel. Formation of films, fibres and particles are all considered sol-gel processes, even though gelation may not occur, as in the case of particles formation (Fig. 1). When a sol is composed of extended species, rather than particles, formation of fibres results [16, 17]. Depending on the precursor used, various inorganic oxides can be produced.

### 2.1 Sol-gel process for formation of silica particles – $\text{SiO}_2$

The most prominent example of a sol-gel process is formation of silica; whether in the form of particles, thin films or gels. Stöber et al. [18] reported a method for synthesis of spherical and monodisperse silica nano particles in 1968. Silicon alkoxide is dissolved in aqueous alcohol solution and the synthesis is catalysed by base or acid. Most commonly used precursors in sol-gel processing of silicates are the following metal alkoxide precursors; TMOS (tetramethoxysilane;  $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$ ) and TEOS (tetraethoxysilane;  $\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_4$ ). Silicate materials are most often synthesized by hydrolysis of the alkoxide, dissolved in an alcohol, followed by a reaction of condensation [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. Sol-gel process can be described with the following three reactions: (Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3).

The hydrolysis reaction (eq 1) replaces alkoxide groups with hydroxyl groups, while subsequent condensation reactions involving the silanol groups produce siloxane bonds and by-products alcohol (eq 2) or water (eq 3). Schematic presentation of the hydrolysis and polycondensation of precursor molecules is given in Fig. 2.

Depending on the type of catalyst used, basic or acidic, different forms of the final product are produced; spherical particles in former case and films in the latter. Under basic conditions hydroxyl anions attack Si directly, while in the case of acid catalysis, protonation of OH or OR substituents attached to Si occurs [19].

### 2.2 Titania particles – $\text{TiO}_2$

Photocatalytically active (PCA) coating compositions containing a photocatalytically active oxide of a transition metal (MO) or ( $\text{MO}_2$ ) such as titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) or zirconium oxide ( $\text{ZrO}_2$ ) catalyst for producing

Pri reakciji hidrolize (enačba 1) se zamenjajo alkoksidne skupine s hidroksilnimi, pri nadaljnjih reakcijah kondenzacije, pri katerih sodelujejo silanolne skupine, pa se tvorijo siloksanse vezi ter stranska proizvoda alkohol (enačba 2) in voda (enačba 3). Na sliki 2 je predstavljena shema reakcij hidrolize in polikondenzacije molekul prekursorja.

Oblika končnega produkta sol-gel postopka je odvisna od vrste katalizatorja, ki ga uporabimo; v primeru alkalnega katalizatorja nastanejo sferični delci, v primeru kislega pa filmi. V alkalnih pogojih pride do neposredne reakcije med hidroksilnimi anioni in Si, medtem ko v primeru kisló kataliziranega postopka pride do protonacije substituent (skupine OH ali OR) na Si [19].

### 2.2 Delci titanovega dioksida

Fotokatalitično aktivni oksidi prehodnih kovin (MO ali  $\text{MO}_2$ ), kot sta titanov dioksid ( $\text{TiO}_2$ ) ali cirkonijev dioksid ( $\text{ZrO}_2$ ), reagirajo z organskimi snovmi ali umazanijami iz okolja in jih pod vplivom delovanja sončne svetlobe (še posebej ultravijoličnega sevanja) razgradijo. Organske nečistoče se razgradijo na preproste anorganske komponente, na primer  $\text{CO}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$  ter različne mineralne kisline. Razgradne produkte odstranijo toplota, veter in/ali dež. Prevleke so samočistilne zaradi zmogljivosti, ki je odvisna od stopnje fotokatalitične aktivnosti katalizatorja  $\text{MO}_2$ , ta pa je neposredno sorazmerna s celotno specifično površino delcev  $\text{MO}_2$ , ki so jim izpostavljene nečistoče [26, 27].

$\text{TiO}_2$  obstaja v treh kristalnih strukturah: rutil, brukit in anataza. Kristalna struktura in velikost kristalov sta pomembni lastnosti  $\text{TiO}_2$  prevlek, saj uravnavata učinkovito absorpcijo UV-fotonov [30, 39, 40]. Ker je od vseh treh oblik brukit najbolj nestabilen in ga je zelo težko pripraviti [28], se ta kristalna oblika redko uporablja. V literaturnih virih so opisane predvsem raziskave fotokatalitičnega delovanja  $\text{TiO}_2$  na osnovi anatazne polimorfne oblike ali čiste rutilne oblike oziroma mešanice obeh [28]. Anatazna kristalna oblika ima višjo fotokatalitično aktivnost kot rutilna oblika [29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37] ter širšo vrzel (3,2 eV v primerjavi s 3,0 eV rutilne oblike), višji Fermijev nivo in višjo mobilnost nosilcev naboja v primerjavi s termodinamično stabilnejšo obliko rutil [38]. Zato je kristalna oblika anataza preferenčna oblika za fotokatalitične procese.

$\text{TiO}_2$  lahko sintetiziramo s pomočjo različnih metod, kot so kondenzacija z inertnim plinom [41], sinteza z oksidacijo  $\text{TiCl}_4$  [42], hidrotermična sinteza iz kovinskega Ti [43] in hidrolitično obarvanje titanovega alkoksida oziroma titanove soli (sol-gel metoda) [44]. Izjemno zanimanje je za sol-gel način, saj dopušča oblikovanje strukture z izbiro prekursorja in s spreminjanjem procesnih pogojev [44] ter zagotavlja odlično kemijsko homogenost delcev [45, 46, 47, 48, 49, 50].

Poleg  $\text{TiO}_2$  se lahko kot fotokatalizatorji uporabljajo tudi kovinski sulfidni polprevodniki, kot so CdS, CdSe ali PbS, ki pa so premalo stabilni, vsaj v vodnih medijih, saj so podvrženi fotoanodni koro-

transparent self-cleaning coatings, such as for glass windows, which react with and decompose organic compounds or pollutants, deposited thereon from the environment, under the effects of exposure to sunlight, particularly the ultraviolet radiation contained therein. The organic pollutants are decomposed to simple inorganic compounds such as  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and various mineral acids, which re-enter the atmosphere and/or wash away under the effects of heat, wind and/or rain, so that the coatings are self-cleaning with an efficiency which is dependent upon the degree of photocatalytic activity of the  $\text{MO}_2$  catalyst, which is directly proportional to the total surface area of the  $\text{MO}_2$  particles to which the pollutants are exposed [26, 27].

ziji [51, 52]. Ti materiali so tudi toksični. Prav tako so tudi železovi oksidi podvrženi fotokatodni koroziji in zato niso primerni polprevodniki [53]. Vrzel v frekvenčnem pasu ZnO (3,2 eV) je enaka, kot jo ima anataza, vendar je ZnO nestabilen v vodnih raztopinah [54], v katerih na površini delcev nastaja  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , kar povzroča deaktivacijo katalizatorja [51]. Kot potencialni fotokatalizator so raziskovali tudi  $\text{WO}_3$ , vendar je manj fotokatalitično aktiven kot  $\text{TiO}_2$  [54].

### 3 Prevleke iz silicijevega dioksida na tekstilnih materialih

Li in drugi avtorji [55] so na različnih tkaninah (bombaž, lan, PA, PET) tvorili tanke plasti silicijevega dioksida, da bi raziskovali interakcije in adhezije delcev silike na vlakna. Prišli so do zaključka, da kemijska sestava in struktura vlaken vplivata na adhezijo plasti

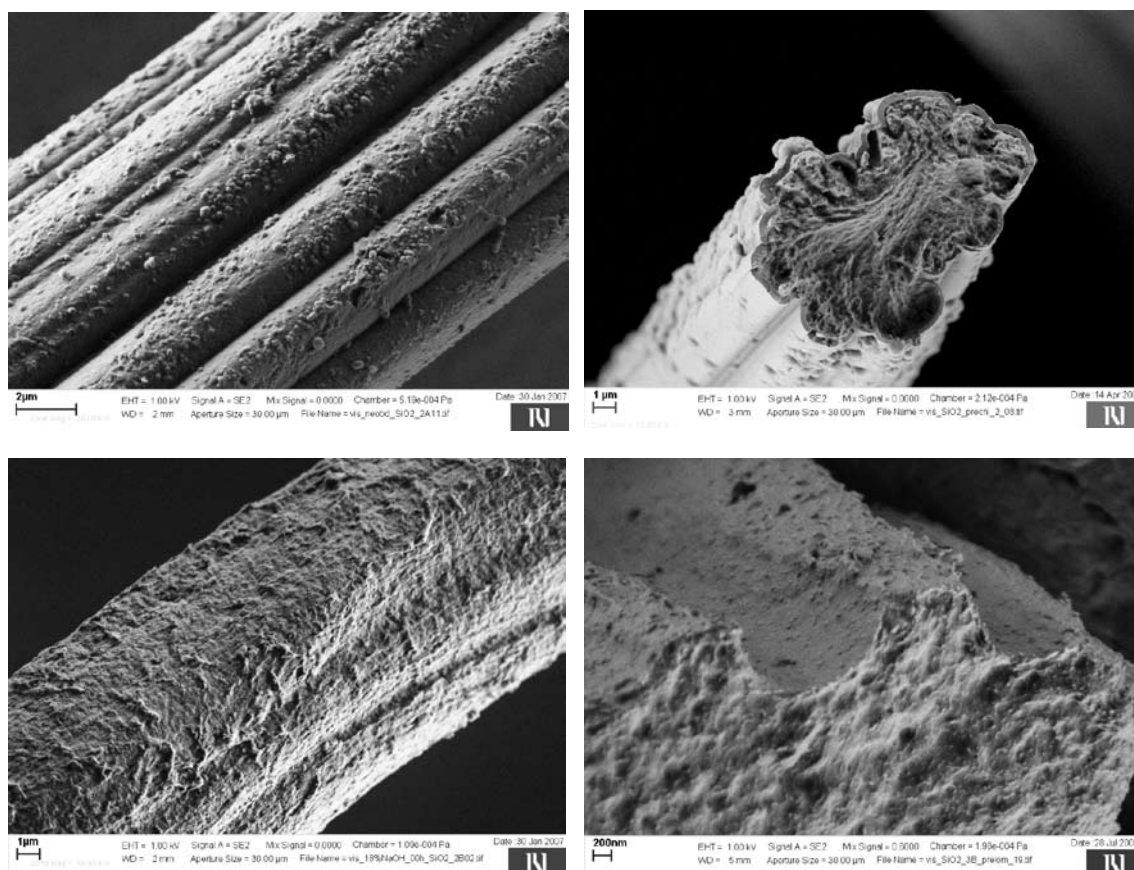


Fig. 3: Effect of pre-treatment of cellulose fibres on subsequent silica growth a) SEM image of a silica layer, formed on a raw, untreated fibre; occurrence of crack and agglomerates, b) cross-section of a raw, untreated fibre with formed silica layer; thick crust with thickness of about 500 nm, c) image of a silica layer, formed on a NaOH-pre-treated fibre; even, homogenous layer of silica particles, d) cross-section of a NaOH-pre-treated fibre with formed silica layer; thin layer with thickness less than 100 nm [6]



Binary metal sulphide semiconductors such as CdS, CdSe or PbS are regarded as insufficiently stable for catalysis, at least in aqueous media as they readily undergo photoanodic corrosion [28, 29]. These materials are also known to be toxic. The iron oxides are not suitable semiconductors as they readily undergo photocathodic corrosion [30]. The band-gap for ZnO (3.2 eV) is equal to that of anatase. ZnO however, is also unstable in illuminated aqueous solutions [71] with  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  being formed on the particle surface. This results in catalyst deactivation [28].  $\text{WO}_3$  has also been investigated as a potential photocatalyst however, it is generally less photocatalytically active than  $\text{TiO}_2$  [31].

$\text{TiO}_2$  usually exists in three common crystal structures: rutile, brookite and anatase. Of the three forms, brookite is the most unstable form and is very difficult to prepare [32]. Probably out of these reasons, brookite form is rarely used in photocatalytic studies. Most studies in  $\text{TiO}_2$  photocatalysis have been carried out using either pure anatase form or pure rutile form (natural) or a mixture of the two as photocatalysts [32] and therefore only rutile and anatase are commercially important. Often the anatase form of  $\text{TiO}_2$  is believed to be more photocatalytically active than rutile form [33, 34, 35, 36; 37, 38, 39, 40, 41]. Anatase has a wider optical band gap (3.2 eV vs 3.0 eV for rutile), a smaller electron effective mass, a higher Fermi level, and a higher mobility of charge carriers than the thermodynamically stable rutile phase [42]. For these reasons the anatase modification is the preferred form for photocatalysis.

The crystalline phase and crystallite size are important properties of the nano-coating, controlling the efficient absorption of UV photons, and the migration of photogenerated holes to the crystallite surface [43, 34, 44].

$\text{TiO}_2$  can be synthesised by several different methods including inert gas condensation [45]; flame synthesis by  $\text{TiCl}_4$  oxidation [46]; oxidation-hydrothermal synthesis from metallic Ti [47] and hydrolytic precipitation of Titanium alkoxide or titanium salt (sol-gel method) [48]. Of particular interest is the sol-gel approach since it allows compositional and microstructural tailoring through controlling the precursor chemistry and processing conditions [48]. Sol-

na površino tkanine. Avtorji članka smo sintetizirali delce silicijevega dioksida na regeneriranih celuloznih vlaknih in tudi v našem primeru rezultati potrjujejo, da sta rast in morfologija sloja delcev odvisni od mikrostrukture površine vlakna in njegove dostopnosti. Uspelo nam je izdelati enakomerne, goste plasti delcev silicijevega dioksida z debelino pod 100 nm (slika 3) [6]. Določali smo termične lastnosti tako modificiranih vlaken in ugotovili, da enakomerna in celovita pokritost s silicijevim dioksidom lahko upočasni termični razkroj ter poviša temperature, pri katerih pride do vžiga, na višje vrednosti [6]. Kashiwagi je s soavtorji preizkušal ognjevarno aktivnost različnih vrst silike in silikatnih gelov kot aditivov za polipropilen in polietilen oksid [56], Gilman [57] pa je raziskoval kombinacije silikatnega gela in kalijevega karbonata s poliamidom in celulozo, prav tako za doseganje ognjevarnosti. V obeh primerih so avtorji kot preizkusni material uporabili tablete, izdelane iz delcev silicijevega dioksida/silikatnih gelov in različnih organskih polimerov, ne pa dejanskih tekstilnih form.

Delci silicijevega in titanovega dioksida povečajo hidrofilnost vlaken, kar je posledica njihove visoke vsebnosti površinskih hidroksilnih skupin; v primeru takšnih prevlek na regeneriranih celuloznih vlaknih se njihova visoka afiniteta do vode še dodatno poveča [58]. Nanosilike na hidrofobna vlakna lahko izboljša njihovo navzemanje vode (pri čemer se njihove osnovne mehanske lastnosti ne spremenijo) [59]. Sloj delcev silicijevega dioksida, ki je hidrofobno modificiran, pa se lahko uporablja tudi za doseganje hidrofobnosti hidrofilnih vlaken. Yu in drugi avtorji [60] so uporabili kombinacijo delcev silicijevega dioksida in silana s fluorovimi skupinami (PFSC) za zmanjšanje hidrofilnosti bombažne tkanine; z delci silicijevega dioksida so dosegli površinsko hrapavost, medtem ko je plast PFSC znižala površinsko energijo. Tako obdelana bombažna tkanina se ponaša z visokimi vrednostmi vodoodbojnosti in visokimi stičnimi koti ( $145^\circ$ ). Obdelava bombažne tkanine samo s PFSC, brez delcev silike, daje nižje stične kote. Kombinacija silike in PFSC izboljša tudi oleofobno sposobnost bombažne tkanine. Yang je s sodelavci [61] modificiral lesna celulozna vlakna z večplastno depozicijo polidialildimetilamonijevega klorida (polyDADMAC) in delcev silicijevega dioksida, čemur je sledila plast silana s fluorovimi skupinami (POTS); dosegli so hidrofobno površino vlaken s stičnimi koti, višjimi od  $150^\circ$ . Takšna vlakna se ponašajo tudi z visoko odpornostjo proti delovanju bakterij in zelo dobrimi mehanskimi lastnostmi. Gonçalves in sodelavci [62] so uporabili amorfne delce silicijevega dioksida in perfluorne spojine za izboljšanje vodoodbojnosti celuloznih nanokompozitov; delci silike povečajo površinsko strukturiranost, perfluorne spojine pa znižajo površinsko energijo. Izmerjeni stični koti so se približali vrednosti  $150^\circ$ . Yeh s sodelavci [63] je s kombinacijo silicijevega prekursorja TEOS in fluoroogljikovimi polimeri dosegel hidro- in oleofobnost bombažnih tkanin ter izboljšanje njihovih mehanskih lastnosti.

Vodoodbojnost tkanin, izdelanih iz ogljikovih vlaken, pa je mogoče doseči z uporabo golih delcev silicijevega dioksida, brez do-

gel processing also provides excellent chemical homogeneity [49, 50, 51, 52, 53]. and is a appropriate method for manipulation of the structure, configuration, composition and chemical characteristics of organic matrices. This property and the ability to immobilize sol-gels covalently on textile support make this technology appealing in surface modification of fibres and other textile structures [54].

### 3 Silica coatings on textile materials

Li et al. [55] have synthesized thin SiO<sub>2</sub> films from tetraethylorthosilicate by sol-gel method on different fabrics (cotton, flax, nylon-66, poly(ethylene terephthalate)) in order to investigate the interaction and adhesion of silica coatings on fibres. They concluded that the chemical composition and structure of fibres determine the adhesion of the coatings on the fabric surfaces. We have grown a layer of silica particles on regenerated cellulose fibres' surface and reached essentially similar results; growth and formation of particles' layer is dependent on the microstructure of the fibre substrate's surface and its accessibility. We have succeeded to synthesize uniform, dense layers of SiO<sub>2</sub> particles, with a thickness of less than 100 nm (Fig. 3) [6]. Thermal properties of such silica-covered fibres were determined and it was shown that a uniform layer of silica could prolong the thermal degradation of regenerated cellulose fibres, as well as shift temperatures of combustion to higher values [6]. Kashiwagi et al. tested the flame retardant activity of various silicas and silica gels as additives to polypropylene and polyethylene oxide [56], while Gilman et al. [57] examined the combination of silica gel and potassium carbonate in relation to their flame retardant activity, when applied to nylon, cellulose, etc. These last two researches were mainly done from the point of view of effect of silica addition; tested samples were pellets, made of a mixture of silica particles/gels and various organic polymers and not actual textile forms with coatings of nano particles.

Silica and titania coatings, due to their high amount of surface hydroxyl groups, enhance the hydrophilic nature of the fibrous substrate; in case of such coatings on regenerated cellu-

datne površinske modifikacije [64]. V tem primeru je vodoodbojnost posledica površinske morfologije (hrapavosti) delcev silike in ogljikovih vlaken. Premer vlaken znaša od 8 do 10 mikronov, pokrita pa so z delci, katerih povprečna velikost je v rangu od 300 do 500 nm; strukturirana površina ogljikovih vlaken predstavlja primarno površinsko hrpavost, dodaten sloj silike pa sekundarno – tako izdelan kompozit je približek lotosovega lista.

Spojine silanov lahko v obliki površinskih filmov funkcionalizirajo vlaknate materiale [65, 66] ali pa so vezna sredstva med vlakni in različnimi anorganskimi delci, kot so na primer delci silicijevega dioksida. V strukturi silana sta dve reaktivni enoti, ki se – odvisno od prisotnega substrata – različno odzivata.

Alkoksi skupina (OR) poveže molekulo silana s površinskimi hidroksilnimi skupinami anorganskega delca, medtem ko organska funkcionalna skupina (aminska, metakrilna, vinilna itd.) izboljša kompatibilnost ali celo kopolimerizira z organskim substratom (na primer s celuloznim vlaknom) [67]. Za potek kondenzacije med funkcionalno skupino silana in površino vlakna so potrebne visoke temperature. Abdelmouleh je s sodelavci [68] raziskoval interakcije med celuloznim substratom in različnimi spojinami silanov. Ugotovili so, da pri sobni temperaturi predstavljajo privlačne interakcije med njimi le disperzne in polarne sile; do kondenzacije in posledično kovalentne vezave med celuloznim substratom in filmom silana pride šele pri segrevanju nad 100 °C.

Brochier Salon in sodelavci [67] so s segrevanjem med 110 in 120 °C dosegli obstojno vez med veznim silanskim sredstvom in površino celuloze, medtem ko Castellano s sodelavci [69] poroča, da je za pripravo kemijsko modificiranih vlaken, primernih za uporabo v kompozitnih materialih, potrebna kombinacija organskih silanov, katerih skupine ≡Si–OH so bile predhodno hidrolizirane, in temperature nad 80 °C. Ker je pogoj za zagotavljanje trajne vezave silana s površino vlakna visoka temperatura, je lahko postopek pri temperaturno občutljivih tekstilnih materialih problematičen.

Sol-gel postopek se uporablja tudi za izdelavo delcev SiO<sub>2</sub>, kjer ti delujejo kot nosilci barvil. Cheng je s sodelavci [70] pripravil volneno tkanino s plastjo silike, ki je vsebovala fotokromna barvila. Ta so se zelo hitro odzvala na UV-svetlobo, saj je porozna struktura silike omogočila potek fotokromne reakcije. Mahltig in sodelavci [71] so prav tako uporabili plast silike na vlaknih kot nosilec barvil; cilj njihovega dela je bil razvoj postopka za barvanje različnih vrst tkanin.

### 4 Prevleke iz titanovega dioksida na tekstilnih materialih

Transparentni filmi in nanosi titanovega dioksida (TiO<sub>2</sub>), zlasti v polimorfni obliki anataza, so predmet mnogih temeljnih znanstvenih raziskav [72]. Zaradi njegovih odličnih fotokatalitičnih lastno-

lose fibres, their already high affinity for water is additionally increased [58]. While formation of a silica coating on hydrophobic fibres could impart hydrophilicity to such substrates (while still retaining their original mechanical properties) [59], modified layers of silica have been investigated for achieving hydrophobicity of otherwise hydrophilic fibres. Yu et al. [60] have used a combination of silica nano particles and perfluorooctylated quaternary ammonium silane coupling agent (PFSC) to impart hydrophobicity to cotton fabrics. Silica particles were used to achieve surface roughness, while layer of PFSC lowered the surface energy. Cotton fabric, treated in such a way, exhibits high water repellent properties and high water contact angle ( $145^\circ$ ). It must be noted that treatment with pure PFSC, without silica particles, resulted in lower contact angles. Oil repellent properties of silica particles/PFSC treated cotton fabrics were also improved. Yang et al. [61] succeeded in preparing superhydrophobic wood fibres with water contact angles higher than  $150^\circ$ . To achieve this, multi-layer deposition of polydiallyldimethylammonium chloride (polyDADMAC) and silica particles was used, followed by a fluorination with perfluorooctyltriethoxysilane (POTS). This surface treatment also imparted high resistance to bacterial contamination and at the same time retained high tensile strength of the paper, made out of the modified cellulose wood fibres. Gonçalves et al. [62] have prepared superhydrophobic cellulose nano composites by employing amorphous silica particles as a mean to enhance surface roughness and perfluoro moieties for reduction of surface energy. Resultant water contact angles approached a value of  $150^\circ$ . Yeh et al. [63] have used combination of silicon precursor TEOS and fluorocarbon polymer to impart water and oil repellence to cotton fabrics; resultant hybrids have water and oil repellent properties and good physical characteristics. Silica particles without any additional modification of their surface were used to enhance hydrophobicity of micro-scaled carbon fabrics [64]. In this case, the driving mechanism for achieving hydrophobicity is solely the morphological roughness of silica particles and the base substrate. Carbon fabrics, used in the research,

sti se je tehnološko zanimanje osredotočilo na samočistilne aplikacije [73, 74].

Številni viri poročajo o pridobivanju  $\text{TiO}_2$  tankih filmov s sol-gel „dip coating“ tehniko, pri čemer kot prekursor uporabljajo veliko vrst titanovih alkoksidov [75, 76]; titanov tetraetoksid [77]; titanov etoksid [78]; titanov propoksid [79]; tetraizopropil-ortotitanat [80, 81, 82, 83]; titanov tetra-n-butoksid [84]. Drugi [85, 86] so kot začetni material za izdelavo  $\text{TiO}_2$  nanosov uporabili titanov butoksid.

Kot fotokatalizator se pogosto uporabljajo tudi komercialni nano  $\text{TiO}_2$  delci P25, ki so sestavljeni iz mešanice rutilne in anatazne kristalne oblike (razmerje med njima je 70 : 30). Značilnosti delcev so: BET-površina  $55 \pm 15 \text{ m}^2/\text{g}$ , velikost delcev 30 nm, delci so iz 0,1 nm velikih kristalov. Dokazano je, da je P25 najboljši fotokatalizator za širok spekter organskih onesnaževalcev [87, 88, 89, 90, 91].

Veliko raziskav se nanaša na oblikovanje  $\text{TiO}_2$  prevlek s sol-gel postopkom na površinah, ki so obstojne proti visokim temperaturam (steklo, keramika) [92, 93, 94, 39, 53]. Pri tekstilnih materialih pa visoke temperature obdelave predstavljajo omejitev zaradi tveganja poškodb vlaken. Vprašljiva je še obstojnost modifikacije. Omejene procesne temperature, ki jih zahtevajo celulozni substrati, ne vodijo do nastanka anatazne kristalne oblike, kar se odraža v nižji aktivnosti teh delcev v primerjavi s tistimi, ki jih oblikujemo na keramiki pri višjih temperaturah (višja stopnja kristalizacije pomeni višjo fotokatalitično aktivnost) [95]. Kljub temu pa številni poročajo o samočistilnih prevlekah na tekstilnih materialih [96, 97, 98, 99, 100, 101].

#### 4.1 Kompozitni $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$ nanosi

Zaradi visoke fotokatalitične sposobnosti  $\text{TiO}_2$  delcev obstaja pri oblikovanju nanoprevlek iz teh delcev na vlaknatih površinah nevarnost kemičnih poškodb [102, 103]. Negativen vpliv  $\text{TiO}_2$  na vlakna je mogoče omejiti z izdelavo mejne površine med vlakni in  $\text{TiO}_2$  delci. Zaščita pa je učinkovita le tedaj, kadar je oplaščenje delcev popolno. Amorfne snovi, kot je na primer silika,  $\text{SiO}_2$ , ki je obstojna proti visoko fotokatalitičnemu delovanju  $\text{TiO}_2$  delcev in se pri izpostavljenosti UV-svetlobi ne razgradi, so primerne za ta namen [104, 105].

$\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  mešani oksidi lahko nastanejo s pomočjo različnih postopkov, na primer s ko-precipitacijo [106, 107, 108, 109] in pirolizo [110, 111], vendar pa izdelava  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  mešanih oksidov najpogosteje poteka po sol-gel metodi [112, 113, 114, 115, 116, 117, 118].

Na lastnosti  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  mešanih oksidov imajo velik vpliv pogoji sol-gel postopka. Ugotovili so, da nastaneta vsaj dva tipa titana: segregirana mikro  $\text{TiO}_2$  področja in izolirana Ti-vrsta [119, 118, 120]. V primeru, da je delež titana višji od 15 %, v mešanem oksidu prevladujejo  $\text{TiO}_2$  mikro področja [109, 111]. Ti- in Si-prekursorja imata različne hitrosti kondenzacije. Če želimo izdelati viso-

consisted of carbon fibres with diameter of 8–10  $\mu\text{m}$ , coated with silica particles with an average size of 300–500 nm. Micro-scale of the carbon fabric presents primary surface roughness, added layer of silica secondary roughness and such a composite mimics the lotus leaf.

Silane agents, as mentioned above, are mainly used for imparting additional functionali-

ko homogene  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  okside, je treba uporabiti dvostopenjsko katalizirano hidrolizo [109, 111, 120, 121, 122]. Za pripravo  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  mešanih katalizatorjev se uporabljajo različni prekursorji [118, 123, 124, 125]. Avtorji, ki so  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  nanose pripravili na površinah vlaken, so uporabili različne postopke; sol-gel postopek, pri katerem so kot prekursor uporabili titanov tetraizopropoksid [105], oziroma postopek z uporabo že pripravljenih  $\text{TiO}_2$  nanodelcev P25 (slika 4) [126, 58].

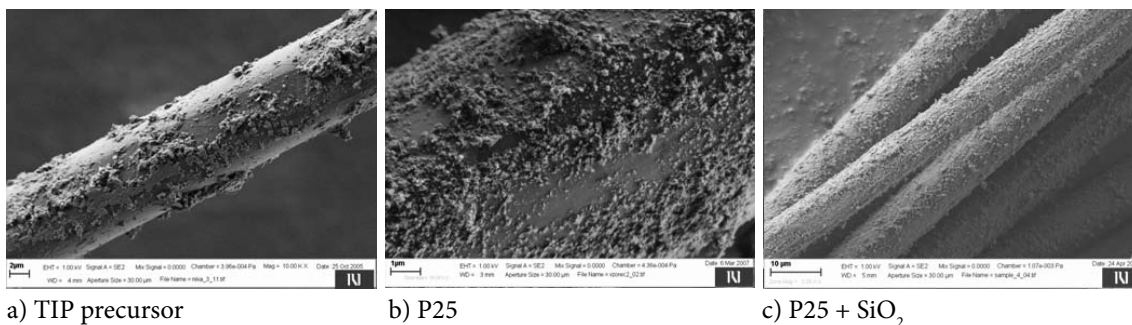


Fig. 4: Effect of different coating procedures on resultant titania layers a) SEM image of a surface layer of titania, obtained by in-situ growth from titania precursor; uneven distribution of agglomerates with uncovered areas, b) SEM image of a surface layer of titania, obtained by deposition of pre-formed particles from a dispersion; some areas of fibres are still not covered, but overall coverage is much more homogenous and particles are much more monodisperse, c) SEM image of a surface layer of titania, obtained by combination of pre-formed titania particles, embedded in a  $\text{SiO}_2$  layer; full coverage of fibres is achieved with a homogenous layer – silica particles act as means for even titania distribution [126]

ties and properties to layers of silica particles, formed on the surface of fibres or to impart new functionalities on textile materials by forming surface films [65, 66]. In addition to that, various silanes can be also used as binding/coupling agents between the fibres and silica particles (or various inorganic particles), due to their chemical composition. Two types of reactive moieties, present in the structure of silanes, respond in different ways, depending on the substrate they approach. Alkoxy groups (OR) connect the silane molecule with the hydroxylated surface, while the organic functional groups (amine, methacrylic, vinylic, etc improve compatibility or even copolymerize with an organic substrate (e.g. cellulose fibre) [67]. In order to trigger actual condensation reaction between the silane functional group and the surface of a fibre, higher temperatures have to be employed. Abdelmouleh et al. [68] studied the interactions between cellulose substrate and various silane agents. At room temperature only dispersive and polar attractive interactions are present, it

## 5 Zaključek

Funkcionalizacija vlaken na osnovi prevlek iz nanodelcev je modifikacijska tehnika z izjemnimi možnostmi oblikovanja novih funkcionalnih materialov, ki pa je še vedno nezadostno zastopana na področju tekstilstva.

## 6 Literatura

1. WEI, Q. and MATHER, R. Looking at nanostructured fibres in atomic force microscopes. *Technical Textiles International*, 2004, September, p. 21–23.
2. MAHLTIG, B., HAUFE, H. and BÖTTCHER, H. Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings. *Journal of Materials Chemistry*, 2005, vol. 15, p. 4385–4398.
3. SAWHNEY, A. P. S., CONDON, B., SINGH, K. V., PANG, S. S., LI, G. and HUI, D. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. *Textile Research Journal*, 2008, vol. 78, p. 731–739.
4. CIRELI, A., ONAR, N., EBEOGLUGIL, M. F., KAYATEKIN, I., KUTLU, B., CULHA, O., and CELIK, E. Development of

was only after heating above  $100^\circ\text{C}$  that condensation occurred, resulting in covalent bonding between the cellulose fibre and silane film. Brochier Salon et al. [67] used heating at  $110$ – $120^\circ\text{C}$  to create permanent bonding of the coupling agent to the cellulose surface. Castellano et al [69] have reported that use of pre-hydrolyzed  $\equiv\text{Si-OH}$  groups of organic silanes and temperatures above  $80^\circ\text{C}$  are required in order to chemically modify cellulose fibres for their use in composite materials. Since elevated temperatures, following the coating process of a fibre with silane, are necessary for achievement of a satisfactory attachment between the two components, this requirement may prove hard to meet when dealing with temperature-sensitive textile materials.

Silica has served as well as a carrier for incorporation of dye-stuffs. Cheng et al. [70] have prepared dye-containing silica sol-covered wool fabrics. Photocromic dyes were able to provide a very fast response to UV light, since highly porous silica matrix enabled free space for photocromatic reaction to be accomplished. Mahltig et al. [71] have incorporated dyes into sol-gel coatings on textile fibres. Aim of the work is to develop a "one-type" recipe for dyeing different kinds of fabrics.

#### 4 Titania coatings on textile materials

Transparent films and coatings of titanium dioxide (anatase) have been studied for a number of years now [72]. Technological interest has focussed around their potential in self-cleaning applications due to their photocatalytic properties [73, 74].

Numerous literature reports on the fabrication of  $\text{TiO}_2$  thin films by sol-gel dip coating technique using many types of titanium alkoxides as precursors [75, 76]; titanium tetraethoxide [77]; titanium ethoxide [78]; titanium propoxide [79]; tetraisopropyl-orthotitanate [80, 81, 82, 83]; titanium tetra-*n*-butoxide [84]. Others [85, 86] have used titanium butoxide as starting materials for making  $\text{TiO}_2$  thin films.

However, P 25, a commercial  $\text{TiO}_2$  catalyst containing a mixture of rutile and anatase crystalline forms (70% : 30% anatase/rutile mixture),

flame retardancy properties of new halogen-free phosphorous doped  $\text{SiO}_2$  thin films on fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, vol. 105, p. 3748–3756.

5. SATOH, K. Novel Fluorinated Inorganic-Organic Finishing Materials for Nylon Carpeting. *Textile Research Journal*, 2004, vol. 74, p. 1079–1084.
6. HRIBERNIK, S., SFILIGOJ-SMOLE, M., STANA-KLEIN-SCHEK, K., BELE, M., JAMNIK, J. and GABERŠČEK, M. Flame retardant activity of  $\text{SiO}_2$ -coated regenerated cellulose fibres. *Polymer Degradation and Stability*, 2007, vol. 92, p. 1957–1965.
7. XIN, J. H., DAOUD, W. A. and KONG, Y. Y. A New Approach to UV-Blocking Treatment for Cotton Fabrics. *Textile Research Journal*, 2004, vol. 74, p. 97–100.
8. ONAR, N., EBEOGLUGIL, M. F., KAYATEKIN, I. and CELIK, E. Low-temperature, sol-gel-synthesized, silver-doped titanium oxide coatings to improve ultraviolet-blocking properties for cotton fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, vol. 106, p. 514–525.
9. ABIDI, N., HEQUET, E., TARIMALA, S., and DAI, L. L. Cotton fabric surface modification for improved UV radiation protection using sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, vol. 104, p. 111–117.
10. GAO, Y. and CRANSTON, R. Recent Advances in Antimicrobial Treatments of Textiles. *Textile Research Journal*, 2008, vol. 78, p. 60–72.
11. PENG, X., XIAOYAN, L., WEI, W. and SHUILIN, C. Improving the antibacterial and UV-resistant properties of cotton by the titanium hydrosol treatment. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, vol. 102, p. 1478–1482.
12. TARIMALA, S., KOTHARI, N., ABIDI, N., HEQUET, E., FRALICK, J. and DAI, L. L. New approach to antibacterial treatment of cotton fabric with silver nanoparticle-doped silica using sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, vol. 101, p. 2938–2943.
13. PEZELJ, E., ANDRASSY, M. and CUNKO, R. Modern technical textiles-Specific requirements on fibres, *Tekstil*, 2002, vol. 51, p. 261–277.
14. ATTIA, S. M., WANG, J., WU, G., SHEN, J. and MA, J. Review on sol-gel derived coatings: process, techniques and optical applications. *Journal of Materials Science and Technology*, 2002, vol. 18, p. 211–218.
15. CARUSO, A. R. and ANTONIETTI, M. Sol-Gel Nanocoating: An Approach to the Preparation of Structured Materials, *Chemistry of Materials*, 2001, vol. 13, p. 3272–3282.
16. *Colloid Chemistry of Silica*. eds. Bergna H. E., Washington: American Chemical Society, 1994.
17. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. eds. Brinker C. J. and Scherer, G. W., San Diego: Academic Press, Inc., 1990.



with a BET surface area of  $55 \pm 15$  m<sup>2</sup>/g and crystalline sizes of 0.1 nm in 30 nm aggregates is the most widely used photocatalyst and has proven to be the best photocatalyst towards a broad range of organic pollutants [87, 88, 89, 90, 91].

Much work has been carried out depositing TiO<sub>2</sub> on heat resistant surfaces like glass, ceramics and silica by sol-gel methods, where temperatures up to 500 °C can be used [92, 93, 94, 39, 53]. By applying the procedure to the textile surfaces some hindrances may appear, i.e. high temperature treatment conditions, fibre damage risks, problems connected with durability of the modification, etc. Limited process temperatures allowed for cellulose substrates, reduce a degree of anatase crystallization, which results in lower photocatalytic activity of generated coatings in comparison to coatings on high temperature resistant materials [95]. However, some reports on TiO<sub>2</sub> application in the textile industry can be found [96, 97, 98, 99, 100, 101].

#### 4.1 Mixed titania (TiO<sub>2</sub>) and silica (SiO<sub>2</sub>) coatings

TiO<sub>2</sub> acting as a photocatalyst (that is, holes and electrons escape from the surface of the TiO<sub>2</sub> particles), can participate in the chemical damages of the organic fibre [102, 103]. To diminish the role TiO<sub>2</sub> may play in the degradation of the fibre, it is possible to encapsulate the TiO<sub>2</sub> to prevent the electron from escaping and provide a barrier between the organic fibre and the TiO<sub>2</sub> surface. Encapsulation consists in placing an insulator on the surface of the TiO<sub>2</sub>. In order to be effective, the insulation barrier must completely encapsulate the TiO<sub>2</sub> particle. Amorphous solids like silica are used because they completely coat the entire TiO<sub>2</sub> surface. SiO<sub>2</sub> is resistant to high photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> particles and doesn't degrade under exposure to UV light [104, 105].

Titanium-silica mixed oxides can be produced by different ways like coprecipitation [106, 107, 108, 109] and flame pyrolysis [110, 111], but the most common way is the sol-gel method [112, 113, 114, 115, 116, 117, 118]. The conditions of the sol-gel process have a major influence on the properties of titanium-silica mixed oxides. It was found that at least two types of Ti

18. STÖBER, W., FINK, A. and BOHN, E. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1968, vol. 26, p. 62–69.
19. BRINKER, C. J. Hydrolysis and condensation of silicates: Effects on structure. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1988, vol. 100, p. 31–50.
20. VAN BLAADEREN, A., VAN GEEST, J. and VRIJ, A. Monodisperse colloidal silica spheres from tetraalkoxysilanes: Particle formation and growth mechanism. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1992, vol. 154, p. 481–501.
21. SCHMIDT, H. Chemistry of material preparation by the sol-gel process. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1988, vol. 100, p. 51–64.
22. SANCHEZ, C., LIVAGE, J., HENRY, M. and BABONNEAU, F. Chemical modification of alkoxide precursors. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1988, vol. 100, p. 65–76.
23. MATSOUKAS, T. and GULARI, E. Dynamics of growth of silica particles from ammonia-catalyzed hydrolysis of tetraethyl-orthosilicate. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1988, vol. 124, p. 252–261.
24. KURUMADA, K., NAKABAYASHI, H., MURATAKI, T. and TANIGAKI, M. Structure and formation process of silica microparticles and monolithic gels prepared by the sol-gel method. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1998, vol. 139, p. 163–170.
25. RAO, K. S., EL-HAMI, K., KODAKI, T., MATSUSHIGE, K. and MAKINO, K. A novel method for synthesis of silica nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, vol. 289, p. 125–131.
26. MATSUDA, A., KOTANI, Y., KOGURE, T., TATSUMISAGO, M. and MINAMI, T. Transparent anatase nanocomposite films by the sol-gel process at low temperatures. *Journal of the American Ceramic Society*, 2000, vol. 83, p. 229–231.
27. ANDREWS, J. Photocatalytically-active, self-cleaning aqueous coating compositions and methods. United States Patent, New York, 31.12. 2002.
28. HOWE, R. F. Recent developments in photocatalysis. *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, 1998, vol. 6 (1), p. 55–84.
29. FISCHER, Ch.-H., LILLIE, J., WELLER, H., KATSIKAS, L. and HENGLEIN, A., Photo-chemistry of colloidal semiconductors. *Journal of Physical Chemistry*, 1989, vol. 93, p. 61–64.
30. HOFFMANN, M. R., MARTIN, S. T., CHOI, W. and BAHNEMANN, D. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. *Chemical Reviews*, 1995, vol. 95, p. 69–96.
31. ANGELIDIS, T. N., KOUTLEMANI, M. and POULIOS, I. Kinetic study of the photocatalytic recovery of Pt from aqueous solution by TiO<sub>2</sub> in a closed-loop reactor. *Applied Catalysis B: Environmental*, 1998, vol. 16, p. 347–357.

species are present: segregated TiO<sub>2</sub> micro domains and isolated Ti species [119, 118, 120]. When the titanium content was higher than 15 wt% (nominal TiO<sub>2</sub>), the TiO<sub>2</sub> micro domains became more prominent in the mixed oxides [109, 111]. Since Si and Ti precursors have different condensation rates, a two-stage acid catalyzed hydrolysis was introduced to prepare atomically mixed TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> oxides with high homogeneity [109, 111, 120, 121, 122]. TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> mixed catalysts were prepared using different precursors [118, 123, 124, 125]. We have found publications about TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> nanocoatings on fibres. Sol-gel TiO<sub>2</sub>-based thin layers were obtained from two processes; using sol-gel process, where the precursor titanium tetra-isopropoxide was used [105] or using already prepared TiO<sub>2</sub> P25 nanoparticles (Fig. 4) [126, 58].

## 5 Conclusion

Nanocoating represents a modification technique with great potential for synthesis of novel functional materials, however nanocoating technology is still inadequately employed in the textile production.

32. KOMINAMI, H., KATO, J., MURAKAMI, S., ISHII, Y., KOHNO, M., YABUTANI, K., YAMAMOTO, T., KERA, Y., INOUE, M., INUI, T. and OHTANI, B. Solvothermal syntheses of semiconductor photocatalysts of ultra-high activities. *Catalysis Today*, 2003, vol. 84, p. 181–189.
33. OHNO, T., SARUKAWA, K. and MATSUMURA, M. Photocatalytic Activities of Pure Rutile Particles Isolated from TiO<sub>2</sub> Powder by Dissolving the Anatase Component in HF Solution. *Journal of Physical Chemistry B*, 2001, vol. 105, p. 2417–2420.
34. TANAKA, K., CAPULE, M. F. V. and HISANAGA, T. Effect of crystallinity of TiO<sub>2</sub> on its photocatalytic action. *Chemical Physics Letters*, 1991, vol. 187, p. 73–76.
35. SCLAFANI, A. and HERRMANN, J. M. J. Comparison of the photoelectronic and photocatalytic activities of various anatase and rutile forms of titania in pure liquid organic phases and in aqueous solutions. *Journal of Physical Chemistry*, 1996, vol. 100, p. 13655–13661.
36. RAO, M. V., RAJESHWAR, K., VERNERKER, V. R. and DUBOW, J. Photosynthetic production of hydrogen and hydrogen peroxide on semiconducting oxide grains in aqueous solutions. *Journal of Physical Chemistry*, 1980, vol. 84, p. 1987–1991.
37. NISHIMOTO, S., OHTANI, B., KAJIWARA, H. and KAGIYA, T. Correlation of the crystal structure of titanium dioxide prepared from titanium tetra-2-propoxide with the photocatalytic activity for redox reactions in aqueous propan-2-ol and silver salt solutions. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions. 1*, 1985, vol. 81, p. 61.
38. FUJISHIMA, A., HASHIMOTO, K. and WATANABE, T. *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis, Fundamental and Applications*. Tokyo: BKC Inc., 1999.
39. MILLS, A. and LE HUNTE, S. An overview of semiconductor photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 1997, vol. 108, p. 1–35.
40. ALLEN, N. S. and EDGE, M. *Fundamentals of Polymer Degradation and Stabilisation*. Chichester: Chapman and Hall, 1992.
41. ALLEN, N. S., KHATAMI, H. and THOMPSON, F. Influence of titanium dioxide pigments on the thermal and photochemical oxidation of low density polyethylene film. *European Polymer Journal*, 1992, vol. 28, p. 817–822.
42. MO, S. D. and CHING, W. Y. Electronic and optical properties of three phases of titanium dioxide: Rutile, anatase, and brookite. *Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics*, 1995, vol. 51, p. 13023–13032.
43. OTHANI, B., OGAWA, Y. and NISHIMOTO, S. I. Photocatalytic Activity of Amorphous-Anatase Mixture of Titanium (IV) Oxide Particles Suspended in Aqueous Solutions. *Journal of Physical Chemistry B*, 1997, vol. 101, p. 3746–3752.

44. OTHANI, B., HANDA, J. I., NISHIMOTO, S. I. and KAGIYA, T. Highly active semiconductor photocatalyst: Extra-fine crystallite of brookite TiO<sub>2</sub> for redox reaction in aqueous propan-2-ol and / or silver sulfate solution. *Chemical Physics Letters*, 1985, vol. 120, p. 292–294.
45. YING, J. Y., CHI, L. F., FUCHS, H. and GLEITER, H. Surface morphology of nanocrystalline titanium oxide by AFM. *Nanostructured Materials*, 1993, vol. 3, p. 273–281.
46. ALMQUIST, C. B. and BISWAS, P. Role of Synthesis Method and Particle Size of Nanostructured TiO<sub>2</sub> on Its Photoactivity. *Journal of Catalysis*, 2002, vol. 212, p. 145–156.
47. BUTTERFIELD, I. M., CHRISTENSEN, P. A., HAMNETT, A., SHAW, K. E., WALKER, G. M. and WALKER, S. A. Applied studies on immobilized titanium dioxide films as catalysts for the photoelectrochemical detoxification of water. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1997, vol. 27, p. 385–395.
48. BARBE, C. J., ARENDSE, F., COMTE, P., JIROUSEK, M.; LENZMANN, F., SHKLOVER, V. and GRÄTZEL, M. Nanocrystalline titanium oxide electrodes for photovoltaic applications. *Journal of the American Ceramic Society*, 1997, vol. 80, p. 3157–3171.
49. KIM, D. J., HAHN, S. H., OH, S. H. and KIM, E. J. Influence of calcination temperature on structural and optical properties of TiO<sub>2</sub> thin films prepared by sol–gel dip coating. *Materials Letters*, 2002, vol. 57, p. 355–360.
50. KAVAN, L., RATHOUSKY, J., GRÄTZEL, M., SHKLOVER, V. and ZUKAL, A. Mesoporous thin film TiO<sub>2</sub> electrodes. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2001, vol. 44–45, p. 653–659.
51. BURNSIDE, S. D., SHKLOVER, V., BARBE, C., COMTE, P., ARENDSE, F., BROOKS, K. and GRÄTZEL, M. Self-Organization of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles in Thin Films. *Chemistry of Materials*, 1998, vol. 10, p. 2419–2425.
52. HAGFELDT, A., BJORKSTEN, U. and GRÄTZEL, M. Photocapacitance of nanocrystalline oxide semiconductor films: band-edge movement in mesoporous TiO<sub>2</sub> electrodes during UV illumination. *Journal of Physical Chemistry*, 1996, vol. 100, p. 8045–8048.
53. FARIKA, M., HOVAKEEMIAN, B. and STENEHJEM E. Improvement of photo-catalytic reaction of TiO<sub>2</sub> sol-gel crystal by imposition of strong magnetic field, project.
54. LOBNIK, A., GUTMAHER, A., SITAR, D. and MAJCEN LE MARECHAL, A. Surface Modification of Non-woven Textiles via Sol-gel Process, In *Proceedings of 5th World Textile Conference AUTEX*, Portorož, 2005, p. 166–171.
55. LI, F., XING, Y. and DING, X. Silica xerogel coating on the surface of natural and synthetic fabrics. *Surface and Coatings Technology*, 2008, vol. 202, p. 4721–4727.
56. KASHIWAGI, T., GILMAN, J. W., BUTLER, K. M., HAR-

- RIS, R. H., SHIELDS, J. R. and ASANO, A. Flame retardant mechanism of silica gel/silica. *Fire and Materials*, 2000, vol. 24, p. 277–289.
57. GILMAN, J. W., RITCHIE, S. J., KASHIWAGI and T., LOMAKIN, S. M. Fire Retardant Additives for Polymeric Materials – 1. Char Formation from Silica Gel-Potassium Carbonate. *Fire and Materials*, 1997, vol. 21, p. 23–32.
58. VERONOVSKI, N., SFILIGOJ-SMOLE, M., KREŽE, T., LOBNIK, A. and STANA-KLEINSCHEK, K. Samočistilne tekstilije na osnovi nanoprevlek s TiO<sub>2</sub>. Slovenski kemijski dnevi, Maribor, 2006.
59. STAKNE, K. *Ionsko izmenjevalne membrane iz polipropilenskih filamentov: doktorska disertacija*. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 2004.
60. YU, M., GU, G., MENG, W. D. and QING, F. L. Superhydrophobic cotton fabric coating based on a complex layer of silica nanoparticles and perfluorooctylated quaternary ammonium silane coupling agent. *Applied Surface Science*, 2007, vol. 253, p. 3669–3673.
61. YANG, H. and DENG, Y. Preparation and physical properties of superhydrophobic papers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2008, vol. 325, p. 588–593.
62. GONÇALVES, G., MARQUES, P. A. A. P., TRINDADE, T., NETO, C. P. and GANDINI, A. Superhydrophobic cellulose nanocomposites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2008, vol. 324, p. 42–46.
63. YEH, J. T., CHEN, C. L. and HUANG, K. S. Preparation and application of fluorocarbon polymer/SiO<sub>2</sub> hybrid materials, part 2: Water and oil repellent processing for cotton fabrics by sol-gel method. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, vol. 103, p. 3019–3024.
64. HSIEH, C. T., WU, F. L. and YANG, S. Y. Superhydrophobicity from composite nano/microstructures: Carbon fabrics coated with silica nanoparticles. *Surface and Coatings Technology*, 2008, vol. 202, p. 6103–6108.
65. VAN BLAADEREN, A. and VRIJ, A. Synthesis and characterization of monodisperse colloidal organo-silica spheres. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1993, vol. 156, p. 1–18.
66. TOMŠIČ, B., SIMONČIČ, B., VINCE, J., OREL, B., VILČNIK, A., FIR, M., ŠURCA VUK, A. and JOVANOVSKI, V. Uporaba ATR IR spektroskopije pri proučevanju strukturnih sprememb celuloznih vlaken, *Tekstilec*, 2007, vol. 50, p. 3–15.
67. BROCHIER SALON, M. C., ABDELMOULEH, M., BOUFI, S., NACEUR BELGACEM, M. and GANDINI, A. Silane adsorption onto cellulose fibers: Hydrolysis and condensation reactions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, vol. 289, p. 249–261.
68. ABDELMOULEH, M., BOUFI, S., SALAH, A. B., NACEUR

- BELGACEM, M. and GANDINI, A. Interaction of silane coupling agents with cellulose. *Langmuir*, 2002, vol. 18, p. 3203–3208.
69. CASTELLANO, M., GANDINI, A., FABBRI, P. and BELGACEM, M. N. Modification of cellulose fibres with organosilanes: Under what conditions does coupling occur? *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, vol. 273, p. 505–511.
70. CHENG, T., LIN, T., FANG, J. and BRADY, R. Photochromic wool fabrics from a hybrid silica coating. *Textile Research Journal*, 2007, vol. 77, p. 923–928.
71. MAHLTIG, B., BÖTTCHER, H., KNITTEL, D. and SCHOLLMAYER, E. Light fading and wash fastness of dyed nanosol-coated textiles. *Textile Research Journal*, 2004, vol. 74, p. 521–527.
72. TAKAHASHI, Y. and MATSUOKA, Y. Dip-coating of TiO<sub>2</sub> films using a sol derived from Ti(O-i-Pr)<sub>4</sub>-diethanolamine-H<sub>2</sub>O-i-PrOH system. *Journal of Materials Science*, 1988, vol. 23, p. 2259–2266.
73. OLLIS, D. F. and AL-EKABI, H. *Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*. Amsterdam: Elsevier, 1993.
74. OLLIS, D. F., PELIZZETI, E. and SERPONE, N. *Photocatalysis Fundamentals and Applications*. New York: Wiley, 1989.
75. HAMID, M. A. and RAHMAN, I. Ab. Preparation of Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) thin films by sol gel dip coating method. *Malaysian Journal of Chemistry*, 2003, vol. 5 (1), p. 86–91.
76. CHRYSICOPOULOU, P., DAVAZOGLU, D., TRAPALIS, Chr. and KORDAS, G. Optical properties of very thin (<100 nm) sol-gel TiO<sub>2</sub> films. *Thin Solid Films*, 1998, vol. 323, p. 188–193.
77. HARIZANOV, O. and HARIZANOVA, A. Development and investigation of sol-gel solutions for the formation of TiO<sub>2</sub> coatings. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2000, vol. 63, p. 185–195.
78. OZER, N., DE SOUZA, S. and LAMPERT C. M. Optical and electrochemical properties of sol-gel spin-coated CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> films. In *Proceedings of SPIE: Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion XIV*, 1995, vol. 2531, p. 143–151.
79. BELL, J. M., BARCZYNSKA, J., EVANS, L. A., MACDONALD, K. A., WANG, J., GREEN, D. C. and SMITH G. B. Electrochromism in sol-gel deposited TiO<sub>2</sub> films. In *Proceedings of SPIE: Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion XIII*, 1994, vol. 2255, p. 324–331.
80. SU, L. and LU, Z. All solid-state smart window of electro-deposited WO<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> particulate film with PTREFG gel electrolyte. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1998, vol. 59, p. 1175–1180.
81. KAJIHARA, K., NAKANISHI, K., TANAKA, K., HIRAO, K.



- and SOGA, N. Preparation of Macroporous Titania Films by a Sol-Gel Dip-Coating Method from the System Containing Poly(ethylene glycol). *Journal of the American Ceramic Society*, 1998, vol. 81, p. 2670–2676.
82. ZAHARESCU, M., CRISAN, M. and MUŠEVIČ, I. Atomic Force Microscopy Study of TiO<sub>2</sub> Films Obtained by the Sol-Gel Method. *Journal of Sol-gel Science and Technology*, 1998, vol. 13, p. 769–773.
83. AVELLANEDA, C. O. and PAWLICKA, A. Preparation of transparent CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> coatings for electrochromic devices. *Thin Solid Films*, 1998, vol. 335, p. 245–248.
84. DJAOUED, Y., BADILESCU, S., ASHIRT, P. V. and ROBI-CHAUD, J. Vibrational properties of the sol-gel prepared nanocrystalline TiO<sub>2</sub> thin film. *International Journal of Vibrational Spectroscopy*, 2001, vol. 5(6), 4 [www.ijvs.com].
85. PHANI, A. R., PASSACANTANDO, M. and SANTUCCI, S. Synthesis and characterisation of cadmium titanium oxide thin films by sol-gel technique. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2002, vol. 63, p. 383–392.
86. WANG, Z., HELMERSON, U. and KÄLL, P. O. Optical properties of anatase TiO<sub>2</sub> thin films prepared by aqueous sol-gel process at low temperature. *Thin Solid Films*, 2002, vol. 405, p. 50–54.
87. GUILLARD, C., DISDIER, J., HERRMANN, J. M., LEHAUT, C., CHOPIN, T., MALATO, S. and BLANCO, J. Comparison of various titania samples of industrial origin in the solar photocatalytic detoxification of water containing 4-chlorophenol. *Catalysis Today*, 1999, vol. 54, p. 217–228.
88. HEINTZ, O., ROBERT, D. and WEBER, J. V. Comparison of the degradation of benzamide and acetic acid on different TiO<sub>2</sub> photocatalysts. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2000, vol. 135, p. 77–80.
89. VORMBERG, R. From a Pigment to a Marvel of Versatility. *Degussa Science Newsletter*, 2004, vol. 9, p. 21–23.
90. BICKLEY, R. I., GONZALEZ-CARRENO, T., LEES, J. S., PALMISANO, L. and TILLEY, R. J. D. A structural investigation of titanium dioxide photocatalysts. *Journal of Solid State Chemistry*, 1991, vol. 92, p. 178–190.
91. DATYE, A. K., RIEGEL, G., BOLTON, J. R., HUANG, M., and PRAIRIE, M. R. Microstructural characterization of a fumed titanium dioxide photocatalyst. *Journal of Solid State Chemistry*, 1995, vol. 115, p. 236–239.
92. IMAI, H. and HIRASHIMA, H. Preparation of porous anatase coating from sol-gel-derived titanium dioxide and titanium dioxide-silica by water-vapor exposure. *Journal of the American Ceramic Society*, 1999, vol. 82, p. 2301–2304.
93. OVENSTONE, J. Preparation of novel titania photocatalysts with high activity. *Journal of Materials Science*, 2001, vol. 36, p. 1325–1329.
94. LANGLET, M., KIM, A., AUDIER, M. and HERRMANN,

- J. M. Sol-gel preparation of photocatalytic TiO<sub>2</sub> films on polymer substrates. *Journal of Sol-Gel Science Technology*, 2002, vol. 25, p. 223–234.
95. KEMMITT, T., AL-SALIM, N. I., WATERLAND, M., KENNEDY, V. J. and MARKWITZ, A. Photocatalytic titania coatings. *Current Applied Physics*, 2004, vol. 4, p. 189–192.
96. BOZZI, A., YURANOVA, T. and KIWI, J. Self-cleaning of wool-polyamide and polyester textiles by TiO<sub>2</sub>-rutile modification under daylight irradiation at ambient temperature. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2005, vol. 172, p. 27–34.
97. BOZZI, A., YURANOVA, T., GUASAQUILLO, I., LAUBB, D. and KIWI, J. Self-cleaning of modified cotton textiles by TiO<sub>2</sub> at low temperatures under daylight irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2005, vol. 174, p. 156–164.
98. DAOUD, W. A. and XIN, J. H. Nucleation and Growth of Anatase Crystallites on Cotton Fabrics at Low Temperatures. *Journal of the American Ceramic Society*, 2004, vol. 87, p. 953–955.
99. VERONOVSKI, N., SFILIGOJ-SMOLE, M., KREŽE, T. and LOBNIK, A. Samočistilne tekstilije na osnovi nanonanosov s TiO<sub>2</sub>. *Tekstilec*, 2006, vol. 49 (10–12), p. 213–217.
100. KAIHONG, Q., XIN, J. H., DAOUD, W. A. and MAK, C. L. Functionalizing polyester fiber with a self-cleaning property using anatase TiO<sub>2</sub> and low-temperature plasma treatment. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2007, vol. 4, p. 554–563.
101. TEXLOR, T. SCHRÖZER, F. and SCHOLLMEYER, E. Thin Coatings with Photo-Catalytic Activity Based on Inorganic-Organic Hybrid Polymers Modified with Anatase Nanoparticles. *Macromolecular Symposia*, 2007, p. 196–202.
102. VOLZ, H. G., KAEMPF, G., FITZKY, H. G. and KAEREN, A. The chemical nature of chalking in the presence of titanium oxide pigments. *Photodegradation and Photostabilization of Coatings, ACS Symposium*, Washington D.C., 1981, vol. 151, p. 163–182.
103. WINKLER, J. *Titanium Dioxide*, Hannover: Vincentz, 2003.
104. HOCKEN, J. and PROFT, B. *Clean surfaces by utilization of the photocatalytic effect*. Duisburg: Sachtleben Chemie GmbH, Sachtleben Publications, <http://www.sachtleben.com/include/publication>, [accessed: 21. 8. 2008].
105. YURANOVA, T., MOSTEO, R., BANDARA, J., LAUB D. and KIWI J. Self-cleaning cotton textiles surfaces modified by photoactive SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> coating. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2006, vol. 244, p. 160–167.
106. DOOLIN, P. K., ALERASOOL, S., ZALEWSKI, D. J. and HOFFMAN, J. F. Acidity studies of titania-silica mixed oxides. *Catalysis Letters*, 1994, vol. 25, p. 209–223.
107. NAKABAYASHI, H. Properties of acid sites on TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>

- and  $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  mixed oxides measured by infrared spectroscopy. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 1992, vol. 65, p. 914–916.
108. REDDY, B. M., REDDY, E. P. and MANOHAR, B. Synthesis of isobutyraldehyde from methanol and ethanol over mixed oxide supported vanadium oxide catalysts. *Applied Catalysis*, 1993, vol. A 96, p. 1–5.
109. STAKHEEV, A. Y., SHPIRO, E. S. and APIJOK, J. XPS and XAES study of titania-silica mixed oxide system. *Journal of Physical Chemistry*, 1993, vol. 97, p. 5668–5672.
110. HUNG, C. H. and KATZ, J. L. Formation of mixed oxide powders in flames: Part 1.  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$ . *Journals of Materials Research*, 1992, vol. 7, p. 1861–1869.
111. GREGOR, R. B., LYTLE, F. W., SANDSTROM, D. R., WONG, J. and SCHULTZ, P. Investigation of  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  glasses by X-ray absorption spectroscopy. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1983, vol. 55, p. 27–43.
112. IMAMURA, S., NAKAI, T., KANAI, H., SHIONO, T. and UTANI, K. Effect of the preparation condition on the properties of titania-silica derived from tetraisopropyl titanate(IV) and tetraethyl orthosilicate. *Catalysis Letters*, 1996, vol. 39, p. 79–82.
113. KLEIN, S., THORIMBERT, S. and MAIER, W. F. Amorphous microporous titania-silica mixed oxides: preparation, characterization, and catalytic redox properties. *Journal of Catalysis*, 1996, vol. 163, p. 476–488.
114. LIU, Z. F. and DAVIS, R. J., Investigation of the Structure of Microporous Ti-Si Mixed Oxides by X-ray, UV Reflectance, FT-Raman, and FT-IR Spectroscopies. *Journal of Physical Chemistry*, 1994, vol. 98, p. 1253.
115. DAGAN, G., SAMPATH, S. and LEV, O. Preparation and utilization of organically modified silica-titania photocatalysts for decontamination of aquatic environments. *Chemistry of Materials*, 1995, vol. 7, p. 446–453.
116. DUTOIT, D. C. M., SCHNEIDER, M., HUTTER, R. and BAIKER, A. Titania-silica mixed oxides: IV. influence of Ti content and aging on structural and catalytic properties of aerogels. *Journal of Catalysis*, 1996, vol. 161, p. 651–658.
117. DUTOIT, D. C. M., SCHNEIDER, M. and BAIKER, A. Titania-silica mixed oxides : I. influence of sol-gel and drying conditions on structural properties. *Journal of Catalysis*, 1995, vol. 153, p. 165–176.
118. WALTHER, K. L., WOKAUN, A., HANDY, B. E. and BAIKER, A.  $\text{TiO}_2$ / $\text{SiO}_2$  mixed oxide catalysts prepared by sol-gel techniques. Characterization by solid state CP/MAS spectroscopy. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1992, vol. 134, p. 47–57.
119. HUTTER, R., MALLAT, T. and BAIKER, A. Titania silica mixed oxides: II. Catalytic behavior in olefin epoxidation. *Journal of Catalysis*, 1995, vol. 153, p. 177–189.

120. MILLER, J. B., JOHNSTON, S. T. and KO, E. I. Effect of Prehydrolysis on the Textural and Catalytic Properties of Titania-Silica Aerogels. *Journal of Catalysis*, 1994, vol. 150, p. 311–320.
121. AIZAWA, M., NOSAKA, Y. and FUJII, N. FT-IR liquid attenuated total reflection study of  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  sol-gel reaction. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1991, vol. 128, p. 77–85.
122. SCHRAML-MARTH, M., WALTHER, K. L., WOKAUN, A., HANDY, B. E. and BAIKER, A. Porous silica gels and  $\text{TiO}_2$ / $\text{SiO}_2$  mixed oxides prepared via the sol-gel process: characterization by spectroscopic techniques. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1992, vol. 143, p. 93–111.
123. LENZA, R. F. S. and VASCONCELOS, W. L. Preparation of silica by sol-gel method using formamide, *Material Research*, 2001, vol.4/3, p. 189–194.
124. LUO, Z., CAI, H., REN, X., LIU, J., HONG, W. and ZHANG, P. Hydrophilicity of titanium oxide coatings with the addition of silica. *Materials Science and Engineering: B*, 2007, vol. 138, p. 151–156.
125. GUAN, K. Relationship between photocatalytic activity, hydrophilicity and self-cleaning effect of  $\text{TiO}_2$ / $\text{SiO}_2$  films. *Surface and Coatings Technology*, 2005, vol. 191, p. 155–160.
126. VERONOVSKI, N. and SFILIGOJ-SMOLE, M.  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  nanocoatings on lyocell fibres, konferenca *Barve in premazi*, Bled, 2007.

## Kapok in Technical Textiles

Review

Received June 2008 • Accepted September 2008

### Abstract

*Kapok (Ceiba pentandra) is a highly lignified organic seed fibre, containing 22–45% of cellulose, 22–45% of hemicelluloses, and 15–22% of lignin. In its primary cell wall kapok contains, in addition to waxes, a high percentage of inorganic substances, which, in combination with a high percentage of acetyl groups, imparts excellent hydrophobic properties to kapok even after removal of waxes. Low fibre density, i.e.  $0,348 \text{ gcm}^{-3}$ , is attributed to a wide lumen, which occupies approximately 74% of a kapok fibre. Due to such wide lumen, kapok has an exceptional capability of liquids retention. Kapok boasts with good anti-microbial properties. It is distinguished from other cellulosic fibres by its excellent thermal and acoustic insulating properties, high buoyancy, and good oil and other non-polar liquids absorbency. Kapok is mainly used in the form of stuffing and nonwovens; it is rarely used in yarns, mostly due to low cohesivity of its fibres and their resilience, brittleness, and low strength. New potentials of kapok have been opening in the field of technical textiles, yachts and boats furnishing, insulating materials in refrigeration systems, acoustic insulation, industrial wastewater filtration, removal of spilled oil from water*

Vodilni avtor/corresponding author:

dr. Tatjana Rijavec

tel.: +386 1 200 32 24

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

Tatjana Rijavec

Oddelek za tekstilstvo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

## Kapok v tehničnih tekstilijah

### Pregledni znanstveni članek

Poslano junij 2008 • Sprejeto september 2008

### Izvleček

Kapok (*Ceiba pentandra*) je visoko ligninizirano naravno semensko vlakno iz 22–45 % celuloze, 22–45 % hemiceluloz in 15–22 % lignina. Poleg voskov vsebuje v primarni celični steni visok delež anorganskih snovi, ki skupaj z acetilnimi skupinami, katerih delež je prav tako visok, dajejo kapoku tudi po odstranitvi voska odlične hidrofobne lastnosti. Nizka gostota vlaken,  $0,348 \text{ gcm}^{-3}$ , je posledica širokega lumna, ki zajema okrog 74 % vlakna. Širok lumen omogoča izjemno sposobnost zadrževanja tekočin. Kapok ima protimikrobne lastnosti. Med celuloznimi vlakni izstopa tudi po odličnih toplotnih in zvočnoizolacijskih sposobnostih, plovnosti, odličnih sposobnostih absorpcije olj in drugih nepolarnih tekočin. Kapok uporabljajo predvsem v obliki polnila in vlaknovin, zelo malo v prejah, predvsem zaradi slabe kohezivnosti vlaken, togosti, krhkosti in nizke trdnosti. Raziskave kažejo nove potencialne možnosti uporabe kapoka za tehnične tekstilije, kot polnila za notranjo opremo jaht in čolnov, kot izolacijskega materiala v hladilnih sistemih, za zvočno izolacijo, za filtracijo odpadnih industrijskih vod, za zbiranje razlite nafte na vodnih površjih in za ojačitveno komponento v polimernih kompozitih. Kapok je fiziološko inerten. Uporabljajo ga tudi v prehrani za selektivno izločanje maščob.

**Ključne besede:** kapok, *Ceiba pentandra*, lignin, oljni absorberji, vlaknati kompoziti.



surfaces, and reinforcement components in polymer composites. Kapok is physiologically inert. It is also used in nutrition for selective elimination of fats.

Key words: kapok, *Ceiba pentandra*, lignin, oil sorbents, fibre composites

## 1 Introduction

Kapok is a standardized common name for organic cellulosic fibres extracted from the seed-pod of the kapok tree *Ceiba pentandra* (ceiba, kapok, kapok tree, silk cotton tree, silk cottonwood, vegetable down, vegetable silk, Java cotton) [1]. Kapok tree *Ceiba pentandra* L. with several varieties: *Var. caribaea*, *Var. guineensis*, *Var. pentandra* and *Var. indica* (DC) Bakh produces fibres of high quality. Kapok tree *Var. pentandra* is a natural hybrid between *Var. caribaea* and *Var. guineensis* [2].

Kapok trees grow in Mexico, Central America, Caribbean islands, in the northern part of South America and in the western part of Africa. In Java it has been cultivated since the 10th century. The annual world production of kapok is about 123 thousand tonnes [3]. The highest market share belongs to Java kapok. In the year 2001, Indonesia, Thailand, and the USA exported 2,775 tonnes of kapok. Major importers of kapok are Japan, China, and Hong Kong [4]. The price of kapok fibres is about 0.2 US\$/kg.

Kapok has been traditionally used as a stuffing in mattresses, pillows, and upholstered furniture. Machine spinning of kapok is difficult due to brittleness and low cohesivity of its fibres, and is limited to coarse yarns only or to the yarns from blends with cotton. In the second half of the 20th century the use of kapok drastically dropped with the advent of synthetic stuffing materials, notably polyurethane foam. During recent years kapok, as a recyclable and biodegradable fibre, has become interesting again. Oil filters and composites are new potentials of its use. Kapok can be found also in the Slovenian market, mostly as a stuffing in pillows.

The production technology of kapok is traditional as poor countries in which kapok is

## 1 Uvod

Kapok je standardizirano rodovno ime za naravna celulozna vlakna iz semenske luščine plodu kapokovca *Ceiba pentandra* (angl. ceiba, kapok, kapok tree, silk cotton tree, silk cottonwood, vegetable down, vegetable silk, Java cotton) [1]. Kakovostna vlakna daje kapokovec *Ceiba pentandra* L. z več podvrstami: *Var. caribaea*, *Var. guineensis*, *Var. pentandra* in *Var. indica* (DC) Bakh. Kapokovec *Var. pentandra* je naravni hibrid med *Var. caribaea* in *Var. guineensis* [2].

Kapokovec uspeva v Mehiki, Srednji Ameriki, na Karibih, na severu Južne Amerike in v Zahodni Afriki. Na Javi ga gojijo od 10. stoletja dalje. Svetovna letna proizvodnja kapoka je okrog 123 tisoč ton [3]. Na trgu je največ javanskega kapoka. V letu 2001 je znašal izvoz kapoka iz Indonezije, s Tajske in iz ZDA 2.775 ton. Glavni uvozniki kapoka so Japonska, Kitajska in Hongkong [4]. Cena vlakna je okrog 0,2 ameriškega dolarja za kilogram.

Tradicionalno uporabljajo kapok kot polnilo za žimnice, blazine in oblazinjeno pohištvo. Strojno predenje kapoka je zaradi krhkosti in slabe kohezivnosti vlaken zelo težko ter omejeno na grobe preje oziroma na preje iz mešanic z bombažem. V drugi polovici 20. stoletja se je uporaba kapoka močno zmanjšala, ker so ga izpodrinila sintetična polnila, predvsem poliuretanske pene. Zadnja leta postaja kapok kot obnovljivo in biorazgradljivo vlakno zopet zanimiv. Odpirajo se nove možnosti uporabe za oljne filtre in v kompozitih. Kapok najdemo tudi na slovenskem tržišču, in sicer največkrat kot polnilo v blazinah.

Tehnologija pridobivanja kapoka je še vedno tradicionalna, saj vanjo revne dežele, v katerih uspeva kapok, v preteklosti niso bile sposobne vlagati. Podobno kot druga rastlinska vlakna, razen bombaža, je bil tudi kapok v preteklih tridesetih letih zapostavljeno vlakno, nekonkurenčno sintetičnim materialom. Danes je kapok še vedno zelo nepoznano naravno celuložno vlakno s posebnimi lastnostmi, ki na področju tehničnih tekstilij še niso dovolj izkoriščene. V članku je podan pregled literature, od morfologije, kemičnih in fizikalnih lastnosti kapoka do uporabe v preteklosti in danes.

## 2 Pridobivanje in kakovost kapoka

Plodovi kapoka so 10–40 cm dolgi in 3–5 cm debeli. Na odraslem drevesu dozori 500–4000 plodov. Ko dozorijo, počijo, pri čemer se stisnjena vlakna široko razprostrejo. Plodove obirajo ročno, zaprte tolčejo z bambusovimi palicami, da razbijejo trdo lupino in pridejo do vlaken. Semena izločajo na preprostih, sitastim bobnom podobnih napravah. Sledi odstranjevanje ostankov plodov, posušenih listov in drugih nevlaknatih primesi. Ameriški patent [2] opisuje postopek strojnega čiščenja kapoka že na začetku 20. stoletja. Pred pakiranjem sušijo kapok na soncu v gostih mrežastih vrečah, da vlaken ne odpihne veter in da jih zaščitijo pred komarji. Za transport jih stiskajo v bale, težke 95–120 kg, zaščitene z jutovino

growing were not able to invest into it. In the last thirty years kapok was, just like other plant fibres, with the exception of cotton, ignored and unable to compete with synthetic materials. Even today, kapok is still an almost unknown organic cellulosic fibre with special properties, which are still not sufficiently exploited in the field of technical textiles. The paper gives a survey of the literature, from morphology, chemical and physical properties of kapok to its use in the past and today.

## 2 Production and Quality of Kapok

Kapok seedpods are 10–40 cm long and 3–5 cm thick. A grown-up kapok tree produces 500–4000 seedpods. When ripened, seedpods burst and the compressed fibres spread widely. Seedpods are harvested by hand and closed seedpods are beaten with bamboo sticks in order to break hard husk and to reach fibres. Seeds are

ali tkanino iz polipropilena. Stiskanje vlaken v bale je omejeno zaradi krhkosti kapoka.

Kakovost kapoka ocenjujejo na podlagi vsebnosti lignina, premera vlaken, pri čemer doseže kapok z enakomernejšim premerom višjo vrednost, plovnosti na alkoholni raztopini z gostoto  $0,928 \text{ gcm}^{-3}$  in relativne hitrosti omočenja ter potopitve vlaken.

Vsebnost lignina kvalitativno ocenjujejo z mikrokemijsko reakcijo z alkoholno raztopino fluoroglucinola in HCl. Pri segrevanju kapoka s HCl nastaja iz pentoz, ki so v vlaknu, furfural ( $\text{C}_4\text{H}_3\text{O}\cdot\text{CHO}$ ), ta pa se ob prisotnosti fluoroglucinola ( $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$ ) obarva. Najboljši kapok ne da reakcije obarvanja, kapok slabše kakovosti se obarva rdečerjavo do magentardeče [5].

Najbolj kakovosten kapok prihaja na trg iz Afrike in z Jave. Slabša sta kapok s Cejlona in indijski kapok. Javanski kapok razvrščajo v tri razrede: super fini kapok – Super Fine Quality (AJK), fini kapok – Fine Quality (C-Min) in standardni kapok – Standard Quality (C-Off).

Kakovostna vlakna pridobijo le iz zrelih plodov (slika 1). Nezrela vlakna imajo slabo trdnost, slaba lesk in barvo ter ne prenesejo močnega stiskanja v bale. Nezrelemu kapoku lahko izboljšajo videz s fermentacijo na prostem, vendar se mehanske lastnosti pri tem postopku ne izboljšajo.



Figure 1: Closed (top) and halved (bottom) kapok seedpod with fibres (foto: T. Rijavec)

separated on simple, sieve-like devices similar to drums and cleared from pod debris, dry leaves, and other non-fibrous impurities. The US patent [2] describes the method of kapok machine cleaning at the beginning of the 20th century. Prior to being packed, kapok is dried in the sun protected from wind and mosquitoes in dense net bags. For transport purposes kapok fibres are compressed into bales of weight 95–120 kg and protected with jute or polypropylene fabric. The compression must be moderate as kapok is very brittle and cannot withstand strong stresses.

The quality of kapok is evaluated on the basis of the percentage of lignin, diameter of fibres (kapok with more uniform diameter obtains higher value), buoyancy on the alcohol solution with

## 3 Morfološka struktura kapoka

Kapok je gladko, enocelično vlakno cilindrične oblike, brez zavojev. Ima tanko celično steno, ki jo prekriva debela plast voska. Širok lumen je zapolnjen z zrakom, ki se pri sušenju zrelih vlaken ne sesede kot pri bombažu. Sploščena so le nezrela ali mrtva vlakna. Po videzu in značilnih lastnostih je kapok zelo podoben vlaknom svilnic *Asclepias*, *Ceropegia* in *Calotropis* (angl. milkweed fibres), le da so slednja mnogo daljša.

V svetlobnem mikroskopu so vlakna videti prosojna, z značilnimi v lumnu zajetimi zračnimi mehurčki (slika 2). Koren vlakna je nekoliko razširjen (slika 3), z mrežasto zgoščeno celično steno (slika 4), proti vrhu se vlakna zožijo. Prečni prerez vlaken (slika 5) je ovalen do okrogel.

Struktura celične stene kapoka se razlikuje od drugih naravnih celuloznih vlaken. Primarna celična stena, ki je neposredno povezana

density  $0.928 \text{ g cm}^{-3}$ , and relative velocity of fibres wetting and submersion.

The percentage of lignin is qualitatively evaluated with the microchemical reaction with alcohol solution of fluoroglucinol and HCl. When kapok is heated with HCl, furfural ( $\text{C}_4\text{H}_3\text{O}\cdot\text{CHO}$ ) is produced from pentoses present in the fibres, which becomes dyed in the presence of fluoroglucinol ( $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$ ). Kapok of the best quality does not undergo any dyeing, whilst kapok of inferior quality is dyed red-brown to magenta red [5].

Kapok of the highest quality comes from Africa and Java. The kapok from Ceylon and India is of lower quality. Java kapok is classified into three classes: Super Fine Quality (AJK), Fine Quality (C-Min) and Standard Quality (C-Off).

Qualitative fibres are produced only from ripened kapok seedpods (Fig. 1). Immature fibres have low strength, inferior lustre and colour, and do not withstand stress during compression into bales. The appearance of immature fibres can be improved by fermentation in the open air, however, mechanical properties are not improved with this process.

### 3 Morphological Structure of Kapok

Kapok is a smooth, unicellular, cylindrically shaped, twistless fibre. Its cell wall is thin and covered with a thick layer of wax. A wide lumen is filled with air and does not collapse like cotton. Only immature and dead fibres are flattened. In their appearance and characteristic properties kapok fibres are very similar to milkweed fibres produced by plants *Asclepias*, *Ceropegia*, and *Calotropis*, only that the latter are much longer.

Under the light microscope kapok fibres look transparent with characteristic air bubbles in the lumen (Fig. 2). Kapok fibres are slightly widened at their roots (Fig. 3) with a lattice-like condensed cell wall (Fig. 4) and are narrowing towards the top. The cross section of fibres (Fig. 5) is oval to round.

The kapok cell wall structure differs from other natural cellulosic fibres. A primary cell wall, which is directly related to superficial properties of fibres, consists of short microfibrils, which

s površinskimi lastnostmi vlaken, sestoji iz kratkih mikro fibrilov, ki so orientirani pravokotno na površino vlaken [6]. V sekundarni celični steni potekajo mikro fibrili skoraj vzporedno z osjo vlakna [7].

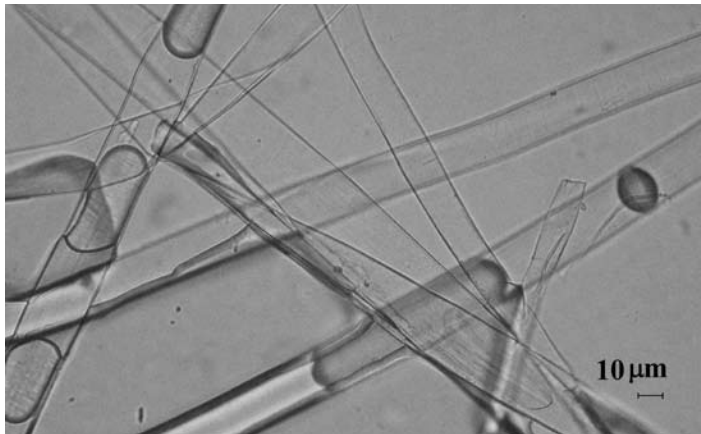


Figure 2: Kapok fibres observed under optical microscope (foto: T. Rijavec)

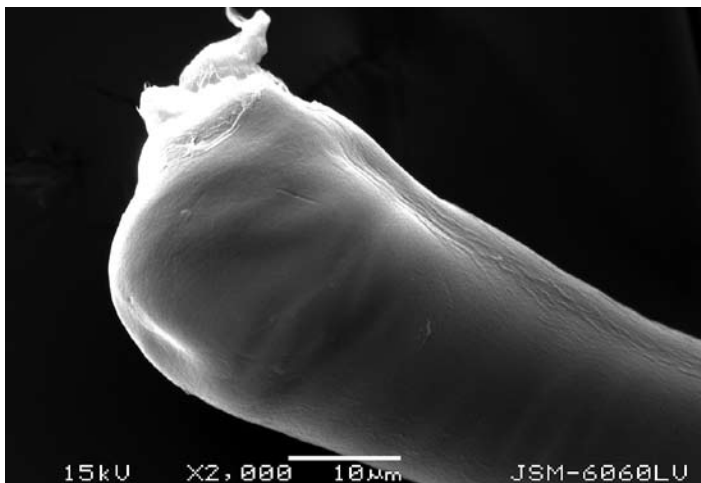


Figure 3: Characteristic widened root of a kapok fibre (foto: M. Leskovšek)

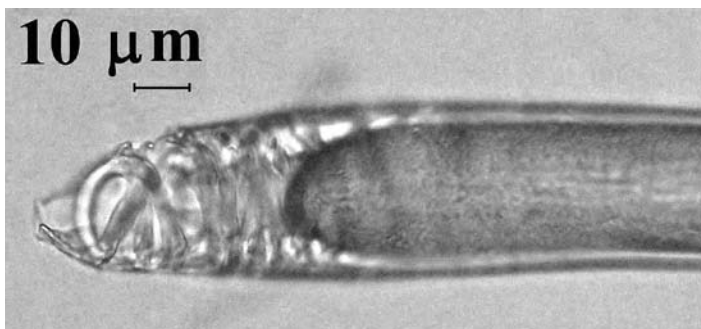


Figure 4: Lattice-like end of a kapok fibre (foto: T. Rijavec)

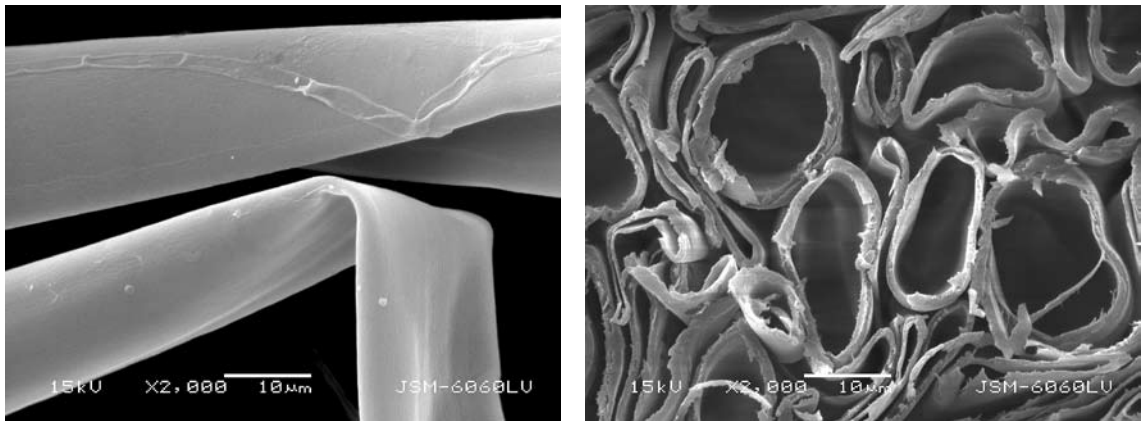


Figure 5: Longitudinal (a) and cross section (b) view of kapok under scanning electronic microscope at 2000 $\times$  magnification (foto: M. Leskovšek)

are oriented rectangular to the surface of fibres [6]. In the secondary cell wall microfibrils run almost parallel to the fibre axis [7].

#### 4 Properties of Kapok

Likewise all natural cellulosic fibres, kapok contains mostly alpha cellulose (35–50%), hemicelluloses (22–45%), lignin (15–22%) [8, 9, 10], about 10–11% of moisture (commercial addition 10.9%), and to 2–3% of waxes. It also contains smaller quantities of starch, about 2.1% of proteins, and inorganic substances, notably iron (1.3–2.5%) [11].

The FT-IR spectra of kapok show typical absorption bands: at 2918  $\text{cm}^{-1}$  (corresponds to asymmetrical and symmetrical stretching of bonds in  $\text{CH}_2$  and  $\text{CH}_3$  that are presented in waxes), 1600, 1510, 1470, and 1425  $\text{cm}^{-1}$  (correspond to stretching of C–O bonds in lignin) [15].

Considering the content of alpha cellulose, kapok is liker to wood than flax and other plant fibres. The average degree of cellulose polymerisation in kapok is 6600 glucose residue [8] which is comparable with cotton and other natural cellulosic fibres.

Lignin, which is chemically very complex aliphatic and aromatic hydrocarbon, has a role of a joining incrust between cellulose and highly ramified hemicelluloses. Kapok contains lignin, which is chemically very similar to lignin in hardwood in its elementary composition and methoxy groups ( $\text{CH}_3\text{O}-$ ) content. A relatively high content of

#### 4 Lastnosti kapoka

Kapok – podobno kot vsa naravna celulozna vlakna – vsebuje predvsem alfa celulozo (35–50 %) in hemiceluloze (22–45 %), lignin (15–22 %) [8, 9, 10], okrog 10–11 % vlage (trgovski dodatek 10,9 %) in največ 2–3 % voskov. V manjših količinah vsebuje tudi škrob, okrog 2,1 % beljakovin in anorganske snovi, predvsem železo (1,3–2,5 %) [11].

Spektri FT-IR kažejo značilne absorpcijske trakove kapoka: pri 2918  $\text{cm}^{-1}$  (kar ustreza asimetričnemu in simetričnemu raztezanju vezi v  $\text{CH}_2$  in  $\text{CH}_3$ , ki so prisotnostne v voskih) ter pri 1600, 1510, 1470 in 1425  $\text{cm}^{-1}$  (ustrezajo raztezanju C–O vezi v ligninu) [15].

Po vsebnosti alfa celuloze se kapok bolj približa lesu kot lanu in drugim rastlinskim vlaknom. Povprečna stopnja polimerizacije celuloze v kapoku znaša 6.600 glukočnih ostankov [8], kar je primerljivo z bombažem in drugimi naravnimi celuloznimi vlakni.

Lignin, ki je kemično zelo zapleten alifatsko-aromatski ogljikovodik, ima vlogo povezujočega inkrušta med celulozo in močno razvejano hemicelulozo. Kapok vsebuje lignin, ki je kemično zelo podoben ligninu v trdem lesu – po elementarni sestavi in vsebnosti metoksi skupin ( $\text{CH}_3\text{O}-$ ). Relativno visok delež lignina v kapoku se raztopi pri kislih obdelavah. Lignin je dobro obstojen pri visokih temperaturah, a občutljiv za UV-žarke. Primarna celična stena kapoka vsebuje manj lignina in več polisaharidov kot sekundarna celična stena. Visoka vsebnost lignina v kapoku, ki je dobro odporen na bakterije, povečuje protimikrobne sposobnosti izdelkov iz kapoka. Kapok je odporen proti običajnim celuloznim bakterijam. Napadajo in razgrajujejo ga lesne mikroplezni in bakterije, ki povzročajo površinsko erozijo (skoraj anaerobne bakterije) in luknjičavost (bakterije, ki potrebujejo veliko kisika) kapoka, podobno kot v lesu [12, 13].



*lignin in kapok dissolves during acid treatments. Lignin is well resistant at high temperatures but is sensitive to UV rays. A high content of lignin in kapok enhances its antimicrobial properties. The primary cell wall of kapok contains less lignin and more polysaccharides than the secondary cell wall. A high content of lignin imparts good antibacterial resistance to kapok. Kapok is resistant to usual bacteria, which digest cellulose. It is attacked and degraded by wood mildew, erosion bacteria (almost anaerobic bacteria), and tunnelling bacteria (bacteria which need high amount of oxygen) in the same way as wood [12, 13].*

*Hemicelluloses are polycholocelluloses with a lower degree of polymerisation than alpha cellulose. Kapok contains especially xyloses (about 23%) and 4-0-methyl-glucuronic acid (about 5.9%). Hemicelluloses are fast biodegradable. Alpha cellulose and hemicelluloses are more sensitive to thermal degradation than lignin but more resistant to UV degradation than lignin.*

*Iron and other minerals are concentrated mostly in the primary cell wall in which they might represent even a 20% share. Due to a high content of inorganic substances in the primary cell, kapok fibres have lower capability of water absorption and higher resilience.*

*Since kapok contains about 13% of acetyl ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) groups, it preserves the hydrophobic properties even after the removal of waxes, which means the reduced capability of the fibres surface to form hydrogen bonds [8]. Raw fibres are extremely hydrophobic (oleophilic) with a high capacity of absorbing non-polar liquids.*

*The colour of raw kapok is yellow to brownish, or whitish. Pure white colour is rare. Fibres are free of odour, non-toxic, and non-allergic. They have very soft touch, are fluffy, and extremely light (approximately six times lighter than cotton). Kapok contains 70–80% of air and provides excellent thermal and acoustic insulation. The absolute density of a kapok cell wall is  $1.474 \text{ gcm}^{-3}$ , whilst the density of fibres by considering about 74% of lumen is only  $0.384 \text{ gcm}^{-3}$  [14]. Kapok boasts with excellent buoyancy on water. When compressed, kapok fibres can support up to 36 times their own mass on water. They are five times more buoyant than*

Hemiceluloze so poliholoceluloze z nižjo stopnjo polimerizacije kot alfa celuloza. V kapoku so prisotne predvsem ksiloze (okrog 23 %) in 4-0-metil-glukuronska kislina (okrog 5,9 %). Hemiceluloze so hitro biorazgradljive. Alfa celuloza in hemiceluloze so občutljivejše za termično razgradnjo kot lignin, vendar manj nagnjene k UV-degradaciji kot lignin.

Železo in drugi minerali se nahajajo večinoma v primarni celični steni, v kateri predstavljajo skupno tudi do 20 % delež. Visoka vsebnost anorganskih snovi v primarni celični steni ima za posledico manjšo sposobnost vezanja vode in povečano togost vlaken.

Kapok vsebuje okrog 13 % acetilnih ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) skupin, zaradi česar ima tudi po odstranitvi površinskih voskov hidrofobne lastnosti, to je zmanjšano sposobnost površja vlaken za tvorjenje vodikovih vezi [8]. Surova vlakna so izredno hidrofobna (oleofilna) in imajo visoko kapaciteto absorpcije nepolarnih tekočin.

Barva surovega kapoka je rumenkasta, rjavkasta ali belkasta. Popolnoma bela barva je redka. Vlakna so brez vonja, netoksična in ne povzročajo alergij. So zelo mehkega otipa, puhasta in zelo lahka (približno šestkrat lažja od bombaža). Kapok vsebuje 70–80 % zraka ter je zato odličen toplotni in zvočni izolator. Absolutna gostota celične stene kapoka je  $1,474 \text{ gcm}^{-3}$ , gostota vlakna z upoštevanjem približno 74 % lumna pa le  $0,384 \text{ gcm}^{-3}$  [14]. Kapok dobro plava na vodi. V stisnjeni obliki zdržijo vlakna na vodi do 36-kratno svojo težo. So 5-krat bolj plovna kot plutovina in se sušijo hitreje od nje. Plovnost ohranijo vlakna tudi po odstranitvi voskov [5].

Kapok je naravno votlo vlakno z odličnimi oleofilnimi lastnostmi, z visoko sposobnostjo vezanja raznih olj. Kapok olja absorbira, adsorbira in kapilarno vsrkava. Oleofilne lastnosti pripisujejo voskastemu površju vlaken in visoki vsebnosti acetilnih skupin, velika kapaciteta absorpcije olj pa je posledica širokega lumna vlaken. Opazili so, da olje prodre skozi celično steno v lumen vlakna, voda pa ne. Še vedno ni popolnoma razjasnjen hiter in učinkovit mehazem absorpcije olja v kapokova vlakna [21].

Dolžina kapoka je 10–35 mm, premer vlaken 20–43  $\mu\text{m}$ . Debelina celične stene je okrog 1–3  $\mu\text{m}$ . Razmerje med dolžino in premerom vlaken (aspektno razmerje) je okrog 720. Izmerjena natezna trdnost kapoka je  $8,4 \text{ cNtex}^{-1}$  (93,3 MPa), Youngov modul 4 GPa in pretržni raztezek 1,2 % [3].

## 5 Uporaba kapoka

Najstarejši patenti za predelavo kapoka segajo v začetek prejšnjega stoletja ter obravnavajo postopek predenja kapoka [16] in dodajanje kapoka papirni masi za izboljšanje leska zidnih tapet [17]. Kapok še danes najpogosteje uporabljajo kot polnilo zaradi njegovih dobrih toplotnoizolacijskih lastnosti, za zvočno izolacijo ter zaradi odlične plovnosti za rešilne jopiče in obroče. V sodobnosti kapok sega na področje tehničnih tekstilij za filtracijo nepolarnih snovi in na področje kompozitov.

cork and dry more quickly than cork. They preserve buoyancy even after the removal of waxes [5].

Kapok fibres are 10–35 mm long, their diameter is 20–43  $\mu\text{m}$ . The cell wall thickness is about 1–3  $\mu\text{m}$ . The length-to-diameter ratio (aspect ratio) is about 720. The measured tensile strength of kapok is 0.84 cNdtex<sup>-1</sup> (93.3 MPa), Young's modulus 4 GPa, and breaking elongation 1.2% [3].

## 5 Use of Kapok

The oldest patents dealing with the processing of kapok go back to the beginning of the last century and describe the method of kapok spinning [16] and its adding to the paper mass to improve the lustre of wallpapers [17]. Due to its good thermal insulating properties, kapok is still today mostly used as a stuffing and for insulation of sound, and due to its excellent buoyancy, for life jackets and lifebelts. Modern use of kapok is spreading into the field of technical textiles for filtration of non-polar substances and into composites.

### 5.1 Thermal and Acoustic Insulation

Kapok, which is used for stuffing, must be cleaned, dried and cut. It can be prepared on the same machinery as cotton. Raw fibres are carded by using air because mechanical carding is not recommended due to breaking of brittle fibres and formation of large quantities of dust. Seeds and dust are removed by suction.

Kapok is used as a stuffing for high quality toys. Already in 1879 Margarete Steiff began to sew pincushions in the form of elephants, and developed them later into velvet and fleece toys stuffed with kapok, cotton, or fine wool [18]. A kapok stuffing is by about 50% lighter than a cotton stuffing and by about 30% lighter than a wool stuffing.

Kapok had been widely used as a stuffing in quilts, pillows, and upholstery until approximately 1950 when it was substituted by hollow manmade fibres and today very expensive polyurethane foams which were much simpler for manufacture and less flammable than kapok. Since kapok is an excellent thermal insulator, extremely light, and does not cause allergies, it is practically irreplaceable for the people who

### 5.1 Toplotna in zvočna izolacija

Kapok za polnilo očistijo, posušijo in narežejo. Lahko ga pripravijo na isti strojni opremi kot bombaž. Surova vlakna mikajo z uporabo zraka, saj mehansko mikanje ni priporočljivo zaradi lomljenja krhkih vlaken in nastajanja velikih količin prahu. Semena in nastali prah odstranjujejo z odsesavanjem.

Kapok uporabljajo za polnilo visokokakovostnih igrač. Že leta 1879 je Margarete Steiff začela šivati blazinice za bučike v obliki slončkov, ki jih je pozneje razvila v igrače iz žameta in pliša, napolnjene s kapokom, bombažem ali fino volno [18]. Polnila iz kapoka so za okrog 50 % lažja od bombažnih in za okrog 30 % lažja od volnenih polnil.

Približno do leta 1950 so kapok veliko uporabljali kot polnilo za odeje, blazine in pohištvo, pozneje so ga v veliki meri nadomestila vovla kemična vlakna in danes izjemno drage poliuretanske pene, ki so bolj preproste za proizvodnjo in niso tako hitro vnetljive kot kapok. Zaradi odličnih toplotnoizolacijskih sposobnosti, lahkosti in nealergenosti je nenadomestljiv za ljudi, ki ne prenašajo dobro sintetičnih materialov. Danes se uporaba kapoka ponovno povečuje, in sicer za notranjo opremo jaht in čolnov ter kot polnilo blazin za vrtno pohištvo. Kapok skupaj z drugimi celuloznimi vlakni v obliki vlaknovine za polnila v notranji opremi omogoča dobro uravnavanje vlage in naravno protibakterijsko zaščito brez uporabe kemikalij [19]. Zaradi odlične toplotnoizolacijske sposobnosti uporabljajo kapok kot izolacijski material manjših hladilnih sistemov. Uporabljajo ga tudi za podloge spalnih vreč, rokavice za ravnanje s suhim ledom ipd. V preteklosti so ga uporabljali tudi za toplotno izolacijo vodovodnih cevi.

V oblačilih ga uporabljajo kot polnilo za podloge, v katerih zaradi dobre toplotne izolacije in nealergenosti nadomešča perje, puh in sintetiko.

Kapok uporabljajo tudi za zvočno izolacijo bivalnih prostorov.

### 5.2 Plovnost

Kapok je cenjen kot polnilo za rešilne jopiče, rešilne pasove in prenosne pontone za zaščito pred utopitvijo. Nestisnjen javanski kapok lahko nosi 20–30-kratno lastno maso, indijski kapok pa le 10–15-kratno lastno maso, da se ne potopi. Če javanski kapok potopijo v vodo, izgublja plovnost zelo počasi. 30-dnevni test je pokazal le 10 % izgubo plovnosti. Plovnost kapoka pred uporabo za rešilne obročje oziroma jopiče za neplavalce vedno preizkušajo. Vlakna dajo v mrežo iz žice ali kletko s kovinskimi ojačanimi robovi ter jo potopijo v svežo vodo 30 cm pod gladino za 48 ur. Po 48 urah določijo plovnost vlaken, tako da stehajo vlakna in njihovo maso primerjajo z maso vlaken pred testiranjem. Če vsebnost vode v kapoku ne ustreza predpisom, vlaken ne uporabijo za rešilne jopiče [20].

### 5.3 Sorpcijske sposobnosti

Kapok je primeren za filtracijo oljnih suspenzij. Danes so oljni filtri za filtracijo odpadnih voda kovinske, prehrabene, tekstilne,



do not stand synthetic materials well. Today, kapok has been increasing used for upholstery in yachts, boats and garden furniture. The use of kapok in combination with other cellulosic fibres in the form of nonwovens for furnishings enables good regulation of moisture and natural antibacterial protection without using any chemicals [19].

Due to its excellent thermal insulating properties, kapok is used as an insulating material in smaller refrigerating systems. It is used as a lining in sleeping bags, gloves for dry ice handling, etc. In the past it was also used for thermal insulation of conduit pipes.

As it provides good thermal insulation and does not cause allergies, kapok is used as a filling of the clothing linings instead of feathers, down, and synthetic materials.

Kapok is also used for acoustic insulation of dwelling rooms.

### 5.2 Buoyancy

Kapok is highly appreciated as a stuffing in life-jackets, lifebelts, and mobile pontoons to provide protection from drowning. The non-compressed Java kapok can support, on water, a mass which exceeds its own mass by as much as 20–30 times, whilst Indian kapok can support only a mass which exceeds its own mass by 10–15 times until submersion. If Java kapok is immersed into water, it loses its buoyancy very slowly. A 30-day test has shown only a 10% loss of buoyancy. Prior to using kapok for lifebelts and lifejackets for non-swimmers buoyancy of kapok is always tested. Fibres are put into a wire mesh or a cage with metal reinforced edges, and immersed into fresh water 30 cm under the surface for 48 hours. After 48 hours the buoyancy of fibres is determined by weighing fibres and by comparing the mass with the mass of fibres prior to testing. If the content of water in kapok differs from the prescribed one, fibres are not used for lifejackets [20].

### 5.3 Sorptivity of non-padar liquids

Kapok is a natural hollow fibre, which has excellent oleophilic properties with a high capability of absorbing, desorbing, and capillary imbibing of various oils. Oleophilic properties are attributed to the waxy surface of fibres and to

usnjarske, petrokemične in druge industrije iz sintetičnih vlaken, kot so polipropilenska, poliestrska ali poliamidna vlakna. Naravna celulozna vlakna vpijejo več olj kot sintetična vlakna, so učinkovitejša kot oljni filtri in poleg tega tudi biorazgradljiva. Surov, neobdelan kapok zadržuje olje dlje časa kot kapok, ekstrahiran v etanolu ali kloroformu. Kapok iz sladke ali morske vode selektivno absorbira okrog 40 g olja na gram vlaken [21]. Pri gostoti zlaganja vlaken  $0,02 \text{ g cm}^{-3}$  je kapaciteta absorpcije dizelskega goriva 36 gramov olja na gram vlaken, pri večji gostoti zlaganja vlaken,  $0,09 \text{ g cm}^{-3}$ , pa kapaciteta absorpcije dizelskega goriva znaša le 7,9 gramov olja na gram vlaken [15]. S stiskanjem izločijo olja, zadrževana v filtru, še učinkovitejše pa je centrifugiranje, s katerim je mogoče pridobiti tudi nad 83 % olja, ki ga lahko ponovno uporabijo [22].

Praktično je kapok uporaben tudi za manjše, prenosne separatorje za olje/vodo [22]. Prav tako je primeren za predfiltracijo voda, ki ji sledi membranska filtracija [15]. Učinkovito ga lahko uporabijo za zbiranje razlite nafte v rekah in morju [23].

Popolnoma biorazgradljive oljne absorberje nepolarnih snovi lahko izdelajo iz 100 % kapoka brez aditivov (lepil) po postopku segrevanja materiala na temperaturo steklastega prehoda vsebujočih hemiceluloz (ta je odvisna od stopnje hidriranja hemiceluloz in se zniža z omočenjem) in stiskanja segretega materiala. Med segrevanjem pri 90–120 °C preidejo hemiceluloze v gel, med stiskanjem kratek čas pri temperaturi 170–190 °C pa se vlakna povežejo med seboj [24]. Na ta način povečajo trdnost končnega izdelka. Temperature nad 220 °C povzročijo oksidacijsko degradacijo vlaken. Dodatek največ 3–10 % tujih ojačitvenih vlaken je še sprejemljiv, ker ob povečani natezni trdnosti ne zmanjša sorpcijske kapacitete kapoka.

Absorberji iz kapoka v obliki filtrov, gob ali blaga so primerni za izločanje mazalnih in motornih olj, barv, herbicidov, fungicidov in pesticidov, aromatskih snovi, gorljivih in radioaktivnih snovi ter podobnih snovi iz plinastih (zraka) in tekočih (vode) medijev ali za čiščenje tal.

V raziskavi sorpcije zdravju škodljivih policikličnih aromatskih ogljikovodikov (PAHs), ki nastajajo pri nepopolnem gorenju in prehajajo iz zraka v vodo, so ugotovili slabšo sposobnost kapoka za vezanje PAHs iz vode v primerjavi s poliestrskimi in rogozovimi vlakni [25].

Kapok uporabljajo v medicini kot absorpcijski material, ki nadoomešča bombaž. Lahko vpije tudi do 30-krat večjo maso vode od lastne mase. V tropskih predelih so ga zato uporabljali za kirurška oblačila.

### 5.4 Kapok v kompozitih

Rastlinska vlakna (lan, konopljo, juto, sisal in kokos) vse več uporabljajo za ojačitev polimernih kompozitov. Ojačitev polimerne matrice je odvisna od dobre adhezije med vlakni in matrico, ki jo izboljšajo z odstranitvijo površinskih voskov in kemično modifi-

*the high content of acetyl groups, whilst high capability of oil absorption is attributed to a wide lumen of fibres. It has been noticed that oil penetrates through the fibre cell wall into its lumen, which is not the case with water. However, quick and efficient mechanism of oil absorption has not been completely explained yet [21].*

*Kapok is suitable for filtration of oil suspensions. Oil filters for filtration of wastewaters discharged by metal, food, textile, leather, petrochemical, and other industries are today made of synthetic fibres, such as polypropylene, polyester, or polyamide fibres. In comparison with synthetic fibres, natural cellulosic fibres absorb higher quantities of oils, are better oil filters, and are also biodegradable. Raw, untreated kapok retains oil longer than kapok extracted in ethanol or chloroform. Kapok selectively absorbs about 40 g of oil per gram of fibres from freshwater or seawater [21]. When the density of fibres arrangement is  $0.02 \text{ g cm}^{-3}$ , the capability of Diesel fuel absorption is 36 g of oil per gram of fibres. At a higher density of fibres arrangement, i.e.  $0.09 \text{ g cm}^{-3}$ , the capacity of Diesel fuel absorption is only 7.9 g of oil per gram of fibres [15]. Oils, which are retained in a filter, can be extracted either by squeezing or more efficiently by centrifuging where even more than 83% of oil can be extracted; the extracted oil can be reused [22].*

*Kapok is also very suitable for smaller, mobile water/oil separators [22]. Another field of use is for pre-filtration of waters, which is followed by membrane filtration [15]. It can be efficiently used for collecting spilled oil on the surface of rivers and seas [23].*

*Fully biodegradable oil sorbents of non-polar substances can be manufactured from 100% kapok without additives (glues) by heating the material to the glass transition temperature of the contained hemicelluloses (it depends on the degree of hydration of these hemicelluloses, and it decreases by wetting) and by compressing the heated material. During heating at  $90\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$  hemicelluloses pass over into gel, and during compressing at the temperature  $170\text{--}190 \text{ }^\circ\text{C}$  for a short time interlinking of fibres occurs. [24] In this way, the strength of the end product is increased. Temperatures above  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  induce oxidative degradation of fibres. The addition of no*

kacijo vlaken, predvsem z alkaliziranjem ali acetiliranjem [31, 32]. Alkaliziranje kapoka vpliva na topografske spremembe površja vlaken in na izboljšanje kristalne strukture. 8 % raztopina NaOH ne povzroči vidnih sprememb na površju kapoka, 40 % raztopina NaOH pa povzroči razbrazdanje površja in povečanje specifične površine kapoka [33], kar je posledica odstranitve hemiceluloz in lignina. Visoke koncentracije alkalij lahko poslabšajo termično odpornost kapoka. Acetiliranje hidroksilnih skupin zmanjša polarlost kapoka in poveča adhezivnost s hidrofobno polimerno matriko. Kemična reaktivnost je zaradi visoke vsebnosti hemiceluloz in lignina ter nižje kristaliničnosti, s katero je povezana dostopnost hidroksilnih skupin na površju in v amorfni predelih vlaken, učinkovitejša pri kapoku kot pri konoplji, sisalu in juti.

Pri pripravi termostabilnih poliestrskih kompozitov, ojačanih s tkanino iz kapoka in bombaža (KP/CO), so za izboljšanje adhezije vlaken s poliestrom tkanino najprej mercerizirali v 5 % NaOH, pri čemer so odstranili voske in pektin [34]. Natezna trdnost oziroma modul sta se s povečevanjem količine vlaken poslabšala, izboljšala pa sta se upogibna trdnost in upogibni modul. Uporaba teh kompozitov za poceni silose za žito, za šolske zgradbe in ohišja je še posebej smotrna v revnih deželah, v katerih ta vlakna tudi pridobivajo.

Tkanine iz KP/CO so primerne za ojačitev izotaktičnega polipropilena v kompozitih z nižjo mehansko trdnostjo [35]. Alkaliziranje in acetiliranje tkanine iz KP/CO sta zaradi znižanja deleža kristaline faze vplivali na znižanje natezne trdnosti kompozita v primerjavi s kemično neobdelano tkanino.

### 5.5 Kapok v prehrani

Zaradi odličnega vezanja olj so kapok uporabili tudi za selektivno izločanje nasičenih maščob iz človeškega telesa. Kapok ne veže vode, zato ima prednost pred konvencionalnimi rastlinskimi vlakni. Kapok zmeljejo v prah in ga dodajo kruhu, piškotom ter podobnim prehrabnim izdelkom. Kot oljni absorber kapokov prah lahko učinkuje zdravilno. Dodan živilom (npr. kruhu) ali stisnjen v tabletah v telesu veže odvečna olja (nasičene maščobne kisline) [36].

Na Tajskem so opravili uspešne raziskave predelave kapoka v mikrokristalino celulozo, ki v zadnjih letih prodira na področje prehrane in farmacije kot polnilo, zgostilo ali stabilizator zaradi svoje fiziološke inertnosti, varnosti in stabilnosti [37].

### 5.6 Predenje kapoka

Kapok le redko predejo, saj so vlakna krhka ter zato zdržijo nizke natezne in torzijske sile. Vlakna imajo zaradi gladkega površja in visoke vsebnosti voskov slabo kohezivnost. Zato kapok vedno predejo v mešanicah z drugimi vlakni, predvsem z bombažem. Sredi prejšnjega stoletja so ga predelovali le v grobe preje do 125 tex, v mešanicah z bombažem pa do 50 tex. Pred pređenjem so kapok obdelali z alkoholom, etrom ali drugimi topili, s katerimi so odstranili voske in dosegli bolj hrapavo površje. Prejo iz kapoka so

*more than 3–10% of foreign reinforcing fibres is still acceptable, as such percentage does not deteriorate the sorptivity of kapok.*

*Sorbents made of kapok in the form of filters, sponges, or fabrics are suitable for separation of lubricant oils and motor oils, dyestuffs, herbicides, fungicides and pesticides, aromatic substances, flammable and radioactive materials, and similar substances from gaseous (air) and liquid (water) media or for floor cleaning, etc.*

*The results of the researches of sorptivity of health hazardous polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which are generated during incomplete combustion and which pass from the air into the water, show that the kapok's capability of absorbing PAHs from water is lower than that of polyester and reed fibres [25].*

*Kapok is also used in medicine as absorbing material instead of cotton. It is capable of absorbing a mass of water, which is even to 30 times higher than its own mass. In tropical areas, kapok was used for surgeon clothing.*

#### 5.4 Kapok in Composites

*Plant fibres (such as hemp, jute, flax, sisal, and coconut fibres) are increasingly used for reinforcement of polymer composites. Reinforcement of a polymer matrix is dependent on good adhesion between the fibres and the matrix, which can be improved by removing superficial waxes and by chemical modification of fibres, notably by alkalisiation and acetylation [31, 32]. Alkalisiation of kapok induces topographic changes of the fibres surface and improves the crystalline structure of fibres. The 8% solution of NaOH does not induce any visible changes on the surface of kapok, whereas the 40% solution of NaOH makes the surface furrowed and enlarges the specific surface of kapok [33], which is the result of the removal of hemicelluloses and lignin. High concentrations of alkalis can deteriorate the thermal stability of kapok. Acetylation of hydroxyl groups decreases the polarity of kapok and increases its adhesivity with a hydrophobic polymer matrix. Since kapok contains a high percentage of hemicelluloses and lignin and has also lower crystallinity to which accessibility of hydroxyl groups on the surface and in*

uporabljali za pliše in trakove, pri katerih je prišel do izraza kapokov lesk [26].

Angleški patent iz leta 1940 opisuje metodo proizvodnje čiste kapokove preje iz kapokovih vlaken [27]. Ameriški patent iz leta 1942 [16] opisuje izdelavo oplaščene preje z jedrom iz bombaža, volne ali svile in plaščem iz kapokovih vlaken. Kapokova vlakna so prilepili na jedro preje s pritiskanjem in brez vitja vlaken. Posamezne preje so med seboj vili v niti za pletenje ali tkanje. V pletivu so bile preje prečno prepletene z ojačevalno nitjo, da kapok ni izpadal. Te niti so bile primerne za izdelavo odej, oblačil, izolacijskih podlog za letala, hladilnike ipd. Pri sami predelavi oplaščenih prej so se morali izogibati prevelikemu zvijanju vlaken in preje.

Izboljšanje predilnosti in mehanske trdnosti so poskušali doseči z obdelavo kapoka v emulzijah silikona, akrilonitrila, melamina, formaldehida, sečnine in vinilnih monomerov [28]. Pri nanašanju sintetičnih premazov je pomembno preprečiti prodiranje emulzije v lumen vlaken. Obdelana vlakna dobijo grobo, neenakomerno valovito površje, ki izboljša predilne in elastične lastnosti ter poveča vodoneprepustnost.

Japonski patent iz leta 2001 obravnava preje v mešanica z do 20 % kapoka in blago iz takšnih prej, ki dosega dobro svetlobno obstojnost, belino, nizko težo, izboljšane toplotnoizolacijske lastnosti, higroskopičnost in dobro obarvljivost [29].

Leta 2007 sta Ensheng Li in Longquan Xia (Kitajska) patentirala postopek prstanskega predenja kapoka. Izhodna surovina je mešanica kapoka (20–80 ut. %) z bombažem ali drugimi vlakni. Mešanico vlaken dvakrat mikajo, sledi dvakratno raztezanje in predenje. Preja 25,36 tex je dosegla pretržno silo 275 cN in specifično pretržno napetost 10,8 cNtex<sup>-1</sup> ter pretržni raztezek 6,6 % [30].

## 6 Zaključek

Kapok je biorazgradljivo naravno vlakno, danes tudi cenovno konkurenčno sintetičnim materialom. Zaradi dobrih toplotnoizolacijskih lastnosti je primerno za polnilo blazin, oblačil, igrač ipd., zaradi dobre plovnosti na vodi za zaščitne jopiče, blazine ipd. ter zaradi dobrih sorpcijskih in protibakterijskih lastnosti za medicinske name-ne. Visoka vsebnost voskov, anorganskih snovi in acetilnih skupin v primarni celični steni daje vlaknu hidrofoben značaj, ki se kaže v nizkem stičnem kotu z različnimi olji in visokem stičnem kotu z vodo. Uporaba kapoka za oljne absorberje je mogoča brez predhodne kemične obdelave vlaken. Oljni absorberji iz kapoka so poceni alternativa sintetičnim absorberjem. Širok lumen (okrog 74 % vlakna) omogoča zadrževanje velike količine olj, ki jih lahko ponovno uporabijo. Kapok lahko belimo in se dobro obarva. Nizka trdnost, gladko površje vlaken in premajhna dolžina vlaken so vzrok za slabe predilne sposobnosti kapoka, ki na splošno ne zadoščajo zahtevam za uspešno predelavo kapoka po konvencionalnih predilnih postop-

the amorphous regions of fibres is related, its chemical reactivity is more efficient than that of hemp, sisal, or jute.

In the case of thermally stable polyester composites reinforced with a kapok/cotton fabric, the adhesivity of fibres with a polyester fabric was improved by first mercerising the fabric in 5% NaOH to remove waxes and pectin [34]. The tensile strength/module deteriorated with the increase of the quantity of fibres, whereas flexing strength/module improved. The use of these composites for cheaper corn silos, school buildings, and casings is reasonable in poor countries in which these fibres are produced.

Fabrics made of kapok/cotton blends are suitable for reinforcement of isotactic polypropylene for composites with lower mechanical strength [35]. The decrease of the tensile strength of composites in comparison with chemically untreated fabrics is the result of alkalisation and acetylation of kapok/cotton fabrics by which the content of a crystalline phase is decreased.

### 5.5 Kapok in Nutrition

Due to excellent absorption of oils, kapok was also used for selective elimination of saturated fats from a human body. Since kapok does not absorb water, it has advantage over conventional plant fibres. Kapok is ground into powder and added to bread, biscuits and similar alimentary products. As oil sorbent, kapok can have a healing effect. Added to alimentary products (e.g. bread) or compressed into pills, kapok absorbs excessive oils (saturated fatty acids) [36].

In Thailand, successful researches were carried out about kapok processing into microcrystalline cellulose which has been recently penetrating into the food and pharmaceutical industry as a filling agent, thickener, or stabilizer due to its physiologic inertness, safety and stability [37].

### 5.6 Spinning of Kapok

Since kapok fibres are very brittle and can withstand only low tensile and torsional forces, kapok is rarely spun. Due to the smooth surface and a high content of waxes, kapok fibres have low cohesivity. For that reason kapok is always spun in blends with other fibres, mostly

kih. Specialne tehnologije za predelavo kapoka ni na voljo. Poleg hitre vnetljivosti, krhkosti in neelastičnosti sta majhna dolžina vlaknen in slaba kohezivnost osnovni oviri večje razširjenosti kapoka na področju oblačil.

## 7 Literatura

1. SIST ISO 6938:1995 – Tekstilije – Naravna vlakna – Rodovna imena in definicije.
2. GAMMONS, F. C. Cleaning and separating kapok fiber from its seed and impurities. *US Patent 907,330*. 22. December 1908.
3. MWAIKAMBO, L. Y. Review of the history, properties and application of plant fibres. *African Journal of Science and Technology, Science and Engineering Series*, 2006, vol. 7, p. 120–133.
4. Trade and Sustainable Forest Management – Impacts and Interactions. Analytic Study of the Global Project GCP/INT/775/JPN: Impact Assessment of Forest Products Trade in the Promotion of Sustainable Forest Management. ANNEX 1. List of NWFP of commercial significance. [http://www.fao.org/docrep/007/ae017e/ae017e12.htm#P10692\\_1098013](http://www.fao.org/docrep/007/ae017e/ae017e12.htm#P10692_1098013).
5. MAUERSBERGER, H. R. *Matthews' textile fibers. The physical, microscopic, and chemical properties. Sixth edition*. New York: John Wiley & Sons, London: Chapman & Hall, 1954.
6. FENGEL, D. and WENZKOWSKI, M. Studies on kapok. 1. Electronmicroscopic observations. *Holzforschung*, 1986, vol. 40, p. 137–141.
7. KHALILI, S., DANIEL, G. and NILSSON, T. Use of soft rot fungi for studies on the microstructure of kapok (*Ceiba pentandra*) fibre cell walls. *Holzforschung*, 2000, vol. 54, p. 229–233.
8. FENGEL, D. and PRZYKLENK, M. Studies on kapok. 2. Chemical Investigation. *Holzforschung*, 1986, vol. 40, p. 325–330.
9. ZAPF, F. Über Kapok-Cellulose. *Makromolekulare Chemie*, 1953, vol. 10, p. 71–77.
10. TIMELL, T. E. A note on the molecular weight of two seed hair celluloses. *Textile Research Journal*, 1958, vol. 28, p. 270–271.
11. ARSENIJEVIĆ, M. L. *Tekstilna vlakna*. Beograd: Naučna knjiga, 1965.
12. NILSSON, T. and BJÖRDAL, C. The use of kapok fibres for enrichment cultures of lignocellulose-degrading bacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2008, vol. 61, p. 11–16.
13. NILSSON, T. and BJÖRDAL, C. Culturing wood-degrading erosion bacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2008, vol. 61, p. 3–10.
14. MWAIKAMBO, L. Y. and ANSELL, M. P. The determination of porosity and cellulose content of plant fibers by density methods. *Journal of Material Science Letters*, 2001, vol. 20, p. 2095–2096.

cotton. In the middle of the last century kapok was processed only into coarse yarns up to 25 tex, and in blends with cotton up to 50 tex. Prior to spinning kapok was treated with alcohol, ether or other solvents in order to remove waxes and to achieve a coarse surface. Kapok yarn was used for fleeces and ribbons to which it imparted a typical lustre [26].

The United Kingdom patent from 1940 describes the method of producing pure kapok yarn from kapok fibres [27]. The US patent from 1942 [16] describes the manufacture of wrapped yarn containing a cotton, wool, or silk core and a kapok wrapping. Kapok fibres were stuck to the yarn core by pressing and without twisting. Then, individual yarns were inter-twisted into the threads for knitting or weaving. Yarns in knitwear were crossly interlaced with a reinforcing thread in order to prevent kapok from falling out. These kapok yarns were suitable for manufacture of beddings, clothing, insulating linings for airplanes, refrigerators, etc. During processing of such wrapped yarns excessive twisting of fibres and yarn had to be avoided.

There were trials to improve the spinnability and mechanical strength of kapok by treating it in emulsions of silicone, acrylonitrile, melamine, formaldehyde, urea, and vinyl monomers [28]. When applying synthetic coatings, it is important that penetration of the emulsion into the fibre lumen is prevented. The treated fibres obtain coarse, unequal wavelike surface, which improves the spinning properties, elasticity, and water-resistance of kapok fibres.

The Japanese patent from 2001 deals with the yarns in blends containing up to 20% of kapok, and the fabrics made from such yarns, which exhibit good fastness to light, whiteness, low weight, better thermal insulating properties, hygroscopicity, and good dyeability [29].

In 2007 Ensheng Li and Longquan Xia (Kitajska) took out a patent for the kapok ring spinning method. The initial raw material is the blend of kapok (20–80 wt.%) with cotton or other fibres. The fibre blend is carded two times, after that it is drawn two times and spun. The breaking force of the yarn 25.36 tex was 275 cN, its tenacity 10.7 cNdtex<sup>-1</sup>, and its breaking elongation 6.6% [30].

15. LIM, T. T. and HUANG, X. Evaluation of hydrophobicity/oleophilicity of kapok and its performance in oily water filtration: comparison of raw and solvent-treated fibers. *Industrial Crops and Products*, 2007, vol. 26, p. 125–134.
16. WATTS, W. C. Method of forming kapok yarn. *US Patent 2,292,500*. 11. August 1942.
17. LENDLE, A. Paper made from kapok fiber. *US Patent 1,450,600*. 3. April 1923.
18. Cineaste's photostream. <http://www.flickr.com/photos/cineaste/305784983/> [accessed: 10. 5. 2008].
19. OBERSCHHELP, A. Mixed fiber fleece or fabric. *US Patent 20070082574*. 7. August 2004.
20. Electronic code of Federal Regulation. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&rgn=div6&view=text&node=46:6.0.1.2.6.1&idno=46> [accessed: 10. 5. 2008].
21. HORI, K., FLAVIER, ME. and KUGA, S. Excellent oil absorbent kapok (*Ceiba pentandra* L.) fiber: fiber structure, chemical characteristics, and application. *Journal of Wood Science*, 2004, vol. 46, p. 401–404.
22. LIM, T. T. and HUANG, X. Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere*, 2007, vol. 66, p. 955–963.
23. HUANG, X. and LIM, T. T. Performance and mechanism of a hydrophobic-oleophilic kapok filter for oil/water separation. *Desalination*, 2006, vol. 190, p. 295–307.
24. ACHTEREEKTE, M. H. B. and ADIMARGONO, S. V. Method and device for manufacturing materials from hydrophobic hollow natural fibres, and use thereof. *WO 2008/004863 A1*. 10. januar 2008.
25. KHAN, E., KHAODHIR, S. and ROTWIRON, P. Polycyclic aromatic hydrocarbon removal from water by natural fiber sorption. *Water Environmental Research*, 2007, vol. 79, p. 901–911.
26. KOČEVAR, F. *Tekstilne surovine*. Ljubljana: DZS, 1950.
27. SWOYER, J. D. Process of treating kapok. *US Patent 2,142,160*. 3. januar 1939.
28. SAKAYANGI, S. Process of improving properties of kapok fiber and like fibers and textile materials made thereof. *US Patent 3,032,855*. 8. May 1962.
29. NAGAHARU, Y. and NORIO, A. Fiber structure mixed with kapok seed hair fiber and clothing product using the same. *JP 2001348743*, 21. December 2001.
30. ENSHENG, L., and LONGQUAN, X. A method for producing kapok scribbled by ring spinning. *EP 1867763 A2*, 19. December 2007.
31. MWAIKAMBO, L. Y. and ANSELL, M. P. (2002, June). Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 84, p. 2222–2234.

## 6 Conclusion

Kapok is a biodegradable organic fibre, which can compete with synthetic materials also in terms of price. Its good thermal insulating properties make kapok suitable for stuffing pillows, clothing, toys, etc., its good buoyancy on water makes it suitable for lifejackets, mattresses, and other water-safety equipment, and its good sorptivity and antimicrobial properties make it suitable for medical purposes. A high content of waxes, inorganic substances and acethyl groups in the primary cell wall imparts to kapok fibres hydrophobic properties, which are exhibited in a low contact angle with various oils and a high contact angle with water. The use of kapok for oil sorbents is possible without previous chemical treatment of fibres. Oil sorbents made of kapok are a price effective alternative to synthetic sorbents. A wide lumen (about 74% of a fibre) enables retention of high amounts of oils, which can be reused.

Kapok can be bleached and dyed. However, due to low strength, smooth surface, and too short length of its fibres, kapok has a low spinnability, and cannot be, in general, spun by using conventional spinning methods. No special technology for kapok processing is available. In addition to high flammability, brittleness, and lack of elasticity, it is also too short length and low cohesivity of fibres, which impedes wider use of kapok in the field of clothing.

32. MWAIKAMBO, L. Y. and ANSELL, M. P. The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok for composite reinforcement. *Angewandte Makromolekulare Chemie*, 1999, vol. 272, p. 108–116.
33. EICHHORN, S. J., BAILLIE, C. A., ZAFEIROPOULOS, N., MWAIKAMBO, L. Y., ANSELL, M. P., DUFRESNE, A., ENTWISTLE, K. M., HERRERA-FRANCO, P. J., ESCAMILLA, G. C., GROOM, L., HUGHES, M., HILL, C., RIALS, T. G., and WILD, P. M. Review. Current international research into cellulosic fibres and composites. *Journal of Materials Science*, 2001, vol. 36, p. 2107–2131.
34. MWAIKAMBO, L. Y. and BISANDA, E. T. N. The performance of cotton-kapok fabric-polyester composites. *Polymer Testing*, 1999, vol. 18, p. 181–198.
35. MWAIKAMBO, L. Y., MARTUSCELLI, E. and AVELLA, M. Kapok/cotton fabric-polypropylene composites. *Polymer Testing*, 2000, vol. 19, p. 905–918.
36. MASUO, K. Kapok plant fiber powder-containing food. *JP 2005013186*, 20. January 2005.
37. SUVACHITTANONT, S. and SUTTIPHONPARNIT, K. Microcrystalline cellulose from kapok. *The Fourth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technologies*, Mie, Japan, 8. May 2003.



# Doktorska dela s področja tekstilne tehnologije in oblikovanja v letu 2008

*Doctoral dissertations from the field of the textile technology and textile and clothing design in 2008*

Damjana Celcar

**Vpliv fazno spremenljivih materialov v poslovnih oblačilih na toplotno fiziološko udobje**

*The influence of phase change materials in business garments on thermo physiological comfort*

Disertacija obravnava vpliv fazno spremenljivih materialov, vgrajenih v poslovna oblačila na toplotno fiziološko udobje uporabnika v različnih klimatskih razmerah nošenja. Za vrednotenje toplotno fiziološkega udobja uporabnika pri nošenju poslovnih oblačil je bila izvedena analiza, ki je temeljila na raziskavah toplotnih lastnosti tekstilij in oblačil ter na raziskavah in vrednotenju poslovnih oblačilnih sistemov s testnimi osebami v simuliranih klimatskih pogojih nošenja oblačil.

Na podlagi rezultatov raziskave toplotno fiziološkega udobja pri nošenju poslovnih oblačil, izdelanih iz konvencionalnih ploskih tekstilij in tekstilij z vgrajenimi fazno spremenljivimi materiali, je ugotovljeno, da poslovni oblačilni sistemi v kombinaciji s fazno spremenljivimi materiali ne vplivajo pomembno na toplotno regulacijo telesa. Dalje je ugotovljeno, da oblačilni sistemi v kombinaciji s fazno spremenljivimi materiali kažejo kratkotrajni toplotni učinek, ki se odraža v rahlem povišanju ali znižanju temperature kože med nošenjem oblačil. Pri tem je ugotovljeno, da se zaznane razlike v vrednostih temperature kože gibljejo v povprečju okoli 0,5 °C.

Podani rezultati in zaključki disertacije predstavljajo pomemben prispevek na področju fiziologije oblačil in vrednotenja toplotno fiziološkega udobja, kot

tudi nova spoznanja o vplivu fazno spremenljivih materialov, vgrajenih v poslovna oblačila. Pomemben znanstveni prispevek predstavlja objektivno ovrednoteno toplotno fiziološko udobje pri nošenju poslovnih oblačil, na podlagi katerega je opredeljen vpliv fazno spremenljivih materialov v poslovnih oblačilih, kot tudi oblikovanje modela regresijskih izrazov za napoved optimalnega toplotnega upora oblačilnih sistemov. Poleg podanega znanstvenega prispevka imajo dobljeni rezultati tudi aplikativen značaj, saj so na podlagi rezultatov raziskave podani koristni predlogi, ki predstavljajo pomembno informacijo proizvajalcem oblačil pri načrtovanju oblačil z vidika zagotavljanja toplotno fiziološkega udobja kot enega od pomembnejših dejavnikov kakovosti pri izbiri oblačil.

DAMJANA CELCAR se je rodila 1. oktobra 1978 v Mariboru. Po končani Srednji tekstilni šoli v Murski Soboti se je leta 1997 vpisala na univerzitetni študij Tekstilstva, smer Oblačilno inženirstvo na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru, kjer je leta 2000 prejela Rektorjevo nagrado Univerze v Mariboru za najboljšo študentko na Fakulteti za strojništvo v študijskem letu 1999/2000. Diplomirala je 12. septembra 2002 in s tem pridobila naziv univerzitetne diplomirane inženirke tekstilstva. Istega leta je vpisala enovit doktorski študij tekstilne tehnologije na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Leta 2003 se je kot mlada raziskovalka v gospodarstvu zaposlila v Muri, Proizvodnji oblačil v Murski Soboti, kjer je trenutno zaposlena. V času podiplomskega študija se je osem mesecev strokovno izpopolnjevala v tujini pod mentorstvom dr. Harriet Meinander, na Tampere University of Technology, v laboratoriju SmartWearLab na Finskem, kjer je opravila del raziskovalnega dela za doktorsko disertacijo. Disertacijo z naslovom „Vpliv fazno spremenljivih materialov v poslovnih oblačilih na toplotno fiziološko udobje“ je izdelala pod mentorstvom red. prof. dr. Jelke Geršak in somentorstvom red. prof. dr. Igorja B. Mekjavića in jo uspešno zagovarjala dne 18. marca 2008. Poleg treh objavljenih znanstvenih prispevkov na konferenci in dveh strokovnih člankov je znanstvene rezultate objavila v dveh izvirnih znanstvenih člankih.

*The dissertation is dealing with the influence of phase change materials that had been built into business garments, on the thermo physiological comfort of the wearer in various climatic conditions. To evaluate the thermo physiological comfort of the user during wea-*

ring the garment, an analysis had been made, based on the research of thermal properties of textiles and garments, based on the research and evaluation of clothing systems on test persons at simulated climatic conditions of wearing.

On the basis of research of thermal physiological comfort of business clothing, manufactured from conventional textile materials and textile materials with incorporated phase change materials, it was concluded, that the business clothing system, in combination with phase change materials does not affect the thermal regulation of human body significantly. Furthermore, it was concluded that clothing systems in combination with phase change materials indicate a temporary thermal effect that is reflected in a slight rising or lowering of skin temperature while wearing garments. It was determined that the perceived differences in value of skin temperature range around 0.5 °C.

Given results and conclusions of the dissertation represent an important contribution in the field of physiology of clothing and evaluation of thermal physiological comfort, as well as new findings about the influence of phase change materials incorporated in business garments. The important scientific contribution represents an objectively evaluated thermal physiological comfort data at wearing business garments, which provides a basis to define the influence of phase change materials in business garments and represents development of a regression equations model to predict an optimum thermal resistance of clothing systems, as well.

Beside the scientific contribution, the gathered results also provide an applicative character, since the results of the research give useful suggestions representing important information for clothing manufacturers, for engineering of clothing systems from the point of view of assuring thermal physiological comfort as one of the more important factors of quality at choosing a collection of clothes.

Damjana Celcar was born on October 1, 1978 in Maribor. After finishing Secondary school of textile in 1997 she matriculated in the undergraduate programme of clothing engineering on the Faculty of Mechanical Engineering, at University of Maribor. After gaining her B. Sc. in clothing engineering on September 12, 2002 she matriculated in the postgraduate doctoral study of textile technology on the Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor. Since 2003 she has been employed as a young researcher of industry in Mura European Fashion Design, Mur-

ska Sobota. In the time frame of the graduate study she spent eight months as a visiting student and researcher in Finland at Tampere University of Technology, in the laboratory SmartWearLab under the supervision of Dr. Harriet Meinander. She elaborated the doctoral dissertation entitled "The influence of phase change materials in business garments on thermo physiological comfort" under the supervision of mentor Prof. Dr. Jelka Geršak and co-mentor Prof. Dr. Igor B. Mekjavić and successfully defended the thesis on 18th of March 2008. Along with three published scientific conference contributions and two published expert articles, she published her scientific results in two original scientific articles.

Rebeka Fijan

#### Fizikalno-kemijske lastnosti tiskarskih gostil po recikliranju

*Physico-chemical properties of printing thickeners after recycling*

Doktorska disertacija z naslovom „Fizikalno-kemijske lastnosti tiskarskih gostil po recikliranju“, ki je bila izdelana v angleščini pod mentorstvom red. prof. dr. Sonje Šostar-Turk in somentorstvom red. prof. dr. Romano Lapasina, predstavlja pomemben znanstveni prispevek na področju tehnologije tekstilnega tiskanja in varovanja okolja. Doktorska disertacija namreč obravnava recikliranje celotne palete polisaharidnih gostil za reaktivni tisk iz ostankov tiskarskih barvnih gošč in koncentratov odpadnih voda ter ponovno uporabo recikliranih tiskarskih gostil za tekstilni tisk z reaktivnimi barvili. Razlogi za nastajanje večjih količin ostankov tiskarskih barvnih gošč pri tiskanju tekstilij so namreč posledica čiščenja tiskarske opreme in posod pri vsaki menjavi barvila ter priprava presežka tiskarskih barvnih gošč v primeru primanjkljaja. Tiskarske barvne gošče, ki se zaradi visoke viskoznosti oprimejo na vso tiskarsko opremo, se pred izpiranjem z vodo lahko odstranijo s posebnimi strgalnimi sistemi. Ločeno zbiranje ostankov tiskarskih barvnih gošč tako omogoča ustrezen postopek „čiščenja“ le-teh in posledično recikliranje gostila.

V doktorski disertaciji so bile za pripravo ostankov tiskarskih barvnih gošč in odpadne vode po filmskem tisku bombaža z reaktivnimi barvili uporabljene natrijeve soli alginatnega, karboksimetiliranega guara in karboksimetiliranega celulozne-

ga gostila. Polisaharidna gostila so bila oborjena iz ostankov tiskarskih barvnih gošč (pripravljenih z originalnimi in enkrat recikliranimi gostili) in iz koncentratov odpadnih voda (ločenih s tehniko membranske filtracije) v vodni raztopini etanola, očiščeni, posušeni ter zmleti. Osnovnim raztopinam gostil in tiskarskim barvnim goščam so bile določene reološke lastnosti z rotacijskim reometrom s kontrolirano strižno hitrostjo. Povprečna molekulska masa in polidisperznost gostil so bila določena z metodo velikostno izključitvene kromatografije. Osnovna in reciklirana gostila so bila uporabljena kot reološki medij za ploski filmski tisk bombaža z reaktivnimi barvili ter določeni kakovostni parametri tiskanja.

Rezultati kažejo, da so opredeljene fizikalno-kemijske lastnosti polisaharidov, kot so povprečna molekulska masa in polidisperznost ter reološka karakterizacija, tesno povezane z izvedbo postopka ploskega filmskega tiska. Na splošno je značilno izrazitejšo povečanje viskoznosti in viskoelastičnih lastnosti recikliranih karboksimetiliranih guara in celuloznih gostil v primerjavi z recikliranimi alginatnimi gostili, ki kažejo le manjše spremembe v reoloških parametrih. Reološki modeli, ki ustrezno opišejo eksperimentalne podatke z matematičnim modelom, omogočajo kvantitativno opredelitev sprememb v reoloških lastnostih, ki so posledica sprememb v povprečju molekulske mase ( $\overline{M}_w$ ,  $\overline{M}_n$  in  $\overline{M}_z$ ) in porazdelitvi molekulske mase, izraženih kot polidisperzni indeks ( $\overline{M}_w/\overline{M}_n$  in  $\overline{M}_z/\overline{M}_n$ ), zaradi vpliva primarnega in sekundarnega recikliranja. Kakovostni parametri potiskanih vzorcev z uporabo recikliranih in osnovnih gostil so primerljivi, kar pomeni, da se „očiščena“ gostila lahko uporabijo za filmski tisk bombaža z reaktivnimi barvili z upoštevanjem reološke omejitve viskoznosti (7 Pas pri strižni hitrosti  $10\text{ s}^{-1}$ ) za tiskarske barvne gošče v območju enostavnega striga. Razlike, ki se pojavljajo pri rezultatih nanosa tiskarske barvne gošče in penetraciji, za tiskarske barvne gošče pripravljene z različnimi gostili, so rezultat razlik v reološkem obnašanju in imajo tudi indirektni vpliv na globino barvnega tona ter stopnjo fiksacije barvila. Tiskarske barvne gošče, pripravljene s karboksimetilirano guaro, ki kažejo močnejše elastične lastnosti in višjo ničelno viskoznost, kar se izraža kot manjši nanos tiskarske barvne gošče in zmanjšana penetracija, so uporabnejše za binarne mešanice gostil.

Izsledki raziskave kažejo, da se kljub zmernim spremembam v pretočnih in viskoelastičnih lastnostih, kot posledica sprememb v porazdelitvi molekulske mase in povprečju molekulske mase, reciklirana gostila lahko ponovno uporabijo za ploski filmski tisk bombaža z reaktivnimi barvili, saj rezultati kakovostnih parametrov tiskanja dajejo primerljive rezultate pri uporabi osnovnih in recikliranih gostil. Rezultati doktorske disertacije so zelo pomembni za industrijo, saj predstavljajo pomemben korak v reševanju okoljevarstvenih in tehnoloških problemov na področju tekstilnega tiska.

REBEKA FIJAN se je rodila 10. oktobra 1977 v Prestonu, Avstraliji in se leta 1983 preselila s starši v Slovenijo. Leta 1996 se je po končani gimnaziji vpisala na študijsko smer kemijske tehnologije na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru. Po končani diplomi, julija 2002 se je kot univerzitetna diplomirana inženirka zaposlila na Inštitutu za tekstilstvo Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru. Jeseni 2002 se je vpisala na podiplomsko študijsko smer tekstilne tehnologije za pridobitev magisterija znanosti na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. V času podiplomskega študija je kot raziskovalka sodelovala pri dveh znanstveno-raziskovalnih evropskih projektih („Minimization of water consumption in European textile dyeing and printing industry using innovative washing and water recycling technologies“ št. EVK1-CT-2000-00049 in „Development of an online-sensor-based WashControl system and water recycling for use in textile dyeing houses and laundries“ št. COOP-CT-2004-005864) ter pri dveh znanstveno-raziskovalnih bilateralnih projektih z Italijo. Jeseni 2005 se je kot mlada raziskovalka na podiplomski študijski smeri tekstilne tehnologije vpisala na direktni doktorski študij in 6. junija 2008 uspešno zagovarjala doktorsko disertacijo. Osebna bibliografija v obdobju od 2002 do 2008 zajema 23 enot, od katerih so najpomembnejši: trije izvirni znanstveni članki v revijah s faktorjem vpliva (pri dveh je prvi avtor), dva objavljena znanstvena prispevka na konferencah in pet objavljenih povzetkov znanstvenih prispevkov. Kot raziskovalka in mlada raziskovalka se je sedem mesecev skupaj strokovno izpopolnjevala pod mentorstvom red. prof. dr. Romano Lapasina na Univerzi v Trstu, na Oddelku za kemijski inženiring, okolje in materiale. Trenutno je kot asistentka zaposlena na Inštitutu za inženirske ma-

teriale in oblikovanje Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru.

Doctoral dissertation entitled: "Physico-chemical properties of printing thickeners after recycling", which was written in English and performed under the mentorship of full prof. dr. Sonja Šostar-Turk and comentorship of full prof. dr. Romano Lapasin, represents an important scientific contribution for the technological applications in the textile printing and in the field of environmental protection. The doctoral dissertation deals with the whole palette of polysaccharide thickeners for reactive printing, recycled from printing paste residues and waste water concentrates and with the reuse of recycled thickeners in textile printing with reactive dyes. The origin of large amounts of printing paste residues are a consequence of cleaning of printing equipment and containers at each colour change and are also due to preparation of excess paste to prevent shortfalls. Printing pastes that adhere to every implement due to their high viscosity can be removed with dry capture systems before rinsing with water. Such separate collection of printing pastes residues allows an appropriate "cleaning" treatment and consequently thickener recycling.

In this research sodium salts of alginate, carboxymethylated guar gum and carboxymethylated cellulose thickeners were used for the preparation of printing paste residues and waste water after screen printing of cotton with reactive dyes. Polysaccharide thickeners were precipitated from printing pastes residues (prepared with original and firstly recycled thickeners) and waste water concentrates (separated with membrane filtration technique) in a water-ethanol mixture, cleaned, dried and milled. Thickener matrices and printing pastes were studied via rheological measurements with a rotational controlled stress rheometer. Molecular weight averages and molecular weight distribution of thickeners were determined by size exclusion chromatography. Original and recycled thickeners were used as rheological media in flat screen printing of cotton with reactive dyes and qualitative parameters of printing were determined.

The research results show that the defined physico-chemical properties of polysaccharides, namely average molecular weights, polydispersity and rheological properties are strongly connected to the printing performance in screen printing of textiles. In general a more marked increase in the viscosity and viscoelastic properties of recycled carboxymethylated guar

gum and carboxymethylated cellulose thickeners are exhibited compared to recycled alginate thickeners that show only slight changes in rheological properties. Rheological models, which provide a satisfactory data fitting, enable a quantitative interpretation of the changes in rheological properties, which are strictly related to the changes in the polymer molecular weight averages ( $\bar{M}_w$ ,  $\bar{M}_n$  and  $\bar{M}_z$ ) and its molecular weight distribution described by polydispersity indices ( $\bar{M}_w$ ,  $\bar{M}_n$  and  $\bar{M}_z$ ), that result from primary and secondary recycling. Qualitative parameters of prints using recycled thickeners are comparable to those obtained with the original thickeners and thus "cleaned" thickeners can be easily reused for screen printing of cotton with reactive dyes, provided that the printing paste recipe is adjusted to fit a rheological constraint of equal viscosity (7 Pas at shear rate  $10s^{-1}$ ) in the steady shear conditions. The differences in the results of printing paste add-on and penetration, of printing pastes prepared with different thickeners arise from the diversities in the rheological behaviour of printing pastes, which also have an indirect impact on the colour depth and the degree of dye fixation. Printing pastes containing carboxymethylated guar gum thickeners that possess a stronger elastic character, and exhibit higher zero-shear viscosity, display lower paste add-on and penetration and are thus applicable for binary thickener mixtures.

The research results show, that despite of the moderate differences in the flow and viscoelastic properties, which are a direct result of changes in the molecular weight distribution and average molecular weights, recycled thickeners can be easily reused for flat screen printing of cotton with reactive dyes, since the qualitative parameters of printing show comparable results when using either original or recycled thickeners. The results of the doctoral dissertation are quite relevant in view of their industrial applications, since they represent an important step in solving environmental and technological problems in textile printing.

Rebeka Fijan was born on the 10th of October 1977 in Preston, Australia. In 1983 she moved with her parents to Slovenia. After grammar school (gymnasium), in 1996, she matriculated in the undergraduate program of chemical engineering at Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, University of Maribor. She graduated as a chemical engineer with university degree in July 2002 and got employed as a researcher at Institute of textiles, Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor. In autumn

2002 she matriculated in the postgraduate study of textile technology for a Master's degree at Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor. During postgraduate study she cooperated as a researcher in two scientific-research European projects ("Minimization of water consumption in European textile dyeing and printing industry using innovative washing and water recycling technologies" No. EVK1-CT-2000-00049 and "Development of an on-line-sensor-based WashControl system and water recycling for use in textile dyeing houses and laundries" No. COOP-CT-2004-005864) and bilateral projects with Italy. In autumn 2005 she continued employment as a young researcher and successfully defended her doctoral dissertation on the 6th of June 2008. Her personal bibliography includes altogether 23 bibliographic items, of which the most important are: 3 original scientific articles with impact factor (first author in 2 articles); 2 published scientific conference contributions and 5 published scientific conference abstract contributions. Currently she is employed as an assistant at the Institute for engineering materials and design, Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor.

Urška Vrabič

### Biorazgradljiva celulozna vlakna, njihova struktura in lastnosti

*Structure and properties of biodegradable cellulose fibres*

V okviru doktorske disertacije so bila raziskana biorazgradljiva celulozna vlakna, ki se med drugim lahko uporabljajo tudi za izdelavo medicinskih in higienskih visokovpojnih izdelkov. Izhodišče raziskave v okviru doktorske disertacije je bila raziskava tekstilno-tehnoloških, mehanskih in fizikalno-kemijskih lastnosti ter morfoloških in strukturnih karakteristik regularnih viskoznih vlaken in novih celuloznih vlaken, izdelanih iz molekul celuloze in hitozana, imenovanih Crabyon®. Cilj raziskave je bil s pomočjo različnih obdelav povečati vpojnost in zadrževanje vode regeneriranih celuloznih vlaken in z nanosom hitozana izboljšati protimikrobno učinkovitost viskoznih vlaken. Vlakna so bila obdelana z encimi, plazmo, ultrazvokom in hitozanom. Z merjenjem zadrževanja vode, absorpcije, vsebnosti vlage in tenziometrije so bile določene sorpcijske lastnosti. Meritve so pokazale, da se obdelanim

vlaknom poveča omočljivost, vpojnost in sposobnost zadrževanja vode. Ugotovljeno je bilo, da imajo vlakna, ki so obdelana s plazmo in nato s hitozanom, fizikalno-kemijske in mikrobiološke lastnosti, primerljive z neobdelanimi Crabyon® vlakni. Vsa obdelana Lenzing Viscose® vlakna, ki imajo nanesen hitozan, so v primerjavi s Crabyon® vlakni bolj trdna in raztezna.

Rezultati doktorske disertacije podajajo pomemben prispevek na področju obdelave vlaken in netkanih tekstilij. Z različnimi nanosi hitozana so se povečale protimikrobne lastnosti, ne da bi se pri tem bistveno spremenile oziroma poslabšale mehansko-fizikalne lastnosti.

URŠKA VRABIČ je bila rojena 30. oktobra 1978, v Slovenj Gradcu. Po končanem šolanju na Gimnaziji Ravne na Koroškem je nadaljevala študij na Naravoslovnotehniški fakulteti, Oddelku za tekstilstvo v Ljubljani (1998–2003). Med študijem je izdelala raziskovalno nalogo „Primerjava visokovpojnih viskoznih vlaken“ pod mentorstvom izr. prof. dr. Diane Gregor Svetec, za katero je leta 2002 dobila tudi fakultetno Prešernovo nagrado. Leta 2003 je uspešno zaključila študij z zagovorom diplomskega dela „Analiza viskoznih vlaken z Y in krpastim prerezom“, pod mentorstvom izr. prof. dr. Diane Gregor Svetec. Leta 2003 je vpisala podiplomski študij tekstilne tehnologije. V aprilu 2006 se je kot nagrajena podiplomska študentka udeležila mednarodne raziskovalne akademije netkanih tekstilij združenja EDANA v Franciji. Bila je tudi komentorica pri devetih diplomskih nalogah. V času podiplomskega študija je aktivno sodelovala pri različnih raziskovalnih projektih in se z 11 znanstvenimi prispevki udeležila številnih mednarodnih konferenc v Sloveniji, na Hrvaškem, v Angliji, Franciji, na Finskem in Poljskem. V času študija je rezultate raziskav objavila v dveh izvirnih znanstvenih člankih in v enem strokovnem članku. Doktorsko disertacijo z naslovom „Biorazgradljiva celulozna vlakna, njihova struktura in lastnosti“ je izdelala pod mentorstvom izr. prof. dr. Diane Gregor Svetec in somentorstvom izr. prof. dr. Majde Sfiligoj Smole in jo uspešno zagovarjala 30. 10. 2008.

*In the doctoral thesis, biodegradable cellulose fibres, which are also used in medical and hygiene products are studied. The main aspect of the research was to analyse textile, morphological, mechanical, physical and chemical properties of regular viscose fibres and new cellulose fibres with added chitosan, named*



Crabylon®. The objective of the research was to improve the absorption and water retention ability of regenerated cellulose fibres by different treatments, and to improve antimicrobial properties of viscose fibres by applying chitosan. Samples were treated with enzymes, plasma, ultrasound and chitosan.

The results of measurement show improvement of sorption properties for all treated fibres. Lenzing Viscose® fibres were treated with three different concentrations of chitosan and two different time of plasma treatment. Chitosan was also applied to fibres with ultrasound. By measuring water retention, absorption, content of moisture and tensile strength, the sorption properties were determined. The measurements have shown increase in wettability, absorption and ability of water retention in treated fibres. It has been shown, that fibres treated with plasma and chitosan have similar mechanical, chemical and microbiological properties as Crabylon® fibres. Increase in elastic modulus and specific stress at break was obtained for all Lenzing Viscose® fibres treated with chitosan. Microbiological analysis has shown accordance of Crabylon® fibres to Lenzing Viscose fibres treated with plasma and chitosan. The results provide an important contribution to the nonwovens field and to analyses of different treatments of fibres.

Urška Vrabič was born on October 30th, 1978 in Slovenj Gradec. After finishing grammar-school at Ravne na Koroškem, she continued study in the undergraduate program of textile technology at the Faculty of Natural Sciences and Engineering, at the University in Ljubljana. In 2002, during her study, she received the Faculty Prešeren Award for the research titled "Comparison of different high absorbent viscose fibres", which done under mentorship of Prof. Dr. Diana Gregor Svetec. In 2003, she finished her diploma thesis titled "Analysis of viscose fibres with Y and regular cross section" under mentorship of Prof. Dr. Diana Gregor Svetec. In April 2006, as a post-graduate student, she received the "Student Grant" award from EDANA organisation and collaborated at the international Nonwovens Research Academy in France. During 2003 and 2008, she was a co-mentor at 9 diploma theses and presented her work at 11 scientific conferences throughout Europe. She elaborated the doctoral thesis titled "Structure and properties of biodegradable cellulose fibres" under mentorship of Prof. Dr. Diana Gregor Svetec and co-mentorship of Prof. Dr. Majda Sfiligoj Smole on 30th of October 2008.

## Magistrska dela s področja tekstilne tehnologije in oblikovanja oblačil in tekstilij v letu 2008

*The master theses from the field of the textile technology and textile and clothing design in 2008*

Igor Nahtigal

**Numerično vrednotenje barvnih vzorcev  
s pomočjo optičnega čitalnika**

*Numerical evaluation of color samples using a flatbed scanner*

Merjenje in vrednotenje barve v tekstilni industriji je bistvenega pomena za nadzor proizvodnje in komuniciranje s kupci. Ker so profesionalni sistemi za barvno metriko zelo dragi, si jih v mnogih podjetjih ne morejo privoščiti. Sistem, ki bi omogočal relativno natančno merjenje in vrednotenje barve z običajnim, četudi dražjim skenerjem višjega kvalitetnega razreda, bi bil še zmeraj nekajkrat cenejši. Osnovni namen skenerja sicer ni merjenje barve, vendar bi pod določenimi pogoji in pri nekaterih omejitvah morda lahko koristil kot enostavna naprava za merjenje barve.

Sistemi za barvno metriko so namensko izdelani za merjenje barve in vsebujejo za ta namen razvite komponente. Klasični skenerji so namenjeni popolnoma drugim zadevam (zajemanje slike in besedila) in zato se pojavlja vprašanje, v koliki meri lahko zagotovijo potrebno natančnost izmerjenih vrednosti, saj delujejo na popolnoma drugačnih principih.

Omejitev predstavljajo svetlobni izvor v skenerju, transmisija barvnih filtrov in transformacija svetlobe v električno napetost na CCD enoti.

Skener je naprava, ki vse barve neke slike razdeli v merljive deleže barvnih komponent (rdeča (R), zelena (G) in modra (B)) in jih usmeri na foto senzor (CCD). Le-ta prejeta svetlobo transformira v ustrezno električno napetost. Digitalno-analogni



pretvornik transformira napetost v digitalno obliko, ki v računalniku tvorijo digitalno grafično podobo skenirane slike. Da bi skener lahko uporabili kot merilno napravo, ga moramo opredeliti, kar pomeni, da moramo definirati odvisnosti med RGB izhodnim signalom skenerja in vrednostmi referenčnega barvnega prostora (CIE  $L^*a^*b^*$ ). Postopek izvedemo s t.i. skener-kalibrirno tarčo (npr. IT 8.7/2), ki je definirana v standardu ISO 12641: 1997. Povezavo med RGB barvnim obsegom skenerja in CIE  $L^*a^*b^*$  barvnim prostorom ustvarimo, če barvno tarčo izmerimo s spektrofotometrom in nato še skeniramo. Ustrezni programi primerjajo izmerjene in skenirane vrednosti ter sestavijo t.i. ICC barvni profil vhodne naprave (skenerja), ki enolično opredeljuje matematični model pretvorbe med RGB barvnim obsegom skenerja in referenčnim CIE  $L^*a^*b^*$  barvnim prostorom. Za kakovostno rešitev zastavljene naloge je bilo potrebno izdelati barvno tarčo na substratu, ki smo ga skenirali (tekstilni material), izdelati je bilo potrebno tudi datoteko referenčnih vrednosti in seveda barvni profil.

V okviru magistrskega dela „Numerično vrednotenje barvnih vzorcev s pomočjo optičnega čitalnika“ je bilo ugotovljeno, da današnji namizni skenerji zaenkrat še ne omogočajo dovolj kakovostnega numeričnega vrednotenja barve, ki bi bilo praktično uporabno ali vsaj na določeni stopnji natančnosti primerljivo z rezultati uporabe namenske opreme za barvno metriko.

IGOR NAHTIGAL, diplomirani inženir tekstilne tehnologije se je rodil 13. maja 1967 v Mariboru. Do leta 1981 je obiskoval osnovno šolo „Boris Kidrič“ v Mariboru. Šolanje je nadaljeval na Tekstilni in frizerski srednji šoli Maribor.

Leta 1987 se je vrnil z obveznega služenja vojaškega roka in začel dodiplomski študij na Univerzi v Mariboru, Tehniška fakulteta, VTO Strojništvo – tekstilna tehnologija, smer tekstilno-kemijska tehnologija. Od januarja 1992 do julija 1992 je na tekstilni in frizerski srednji šoli v Mariboru delal kot predmetni učitelj matematike in fizike. Od julija 1992 do oktobra 1993 je kot tehniški sodelavec III na Tehniški fakulteti, VTO Strojništvo – tekstilna tehnologija pomagal pri vajah in skrbi za laboratorij pri predmetih teorija plemenitenja, plemenitenje tekstilij in barvanje tekstilij.

Leta 1993 je končal dodiplomski študij z diplomsko nalogo z naslovom „Optimiziranje ognjevarnega apretiranja bombažne tkanine“ ter postal diplo-

mirani inženir tekstilne tehnologije. Istega leta se je zaposlil v MTT Maribor in vpisal v prvi letnik podiplomskega študija na Tehniški fakulteti, Oddelek Tekstilna tehnologija. Do novembra 1998 je v MTT Maribor delal na različnih delovnih mestih, kot so: pomočnik vodje OE Priprava in barvanje tkanin, tehnolog razvojniki, vodja PE Oplemenitilnica, vodja programa I, vodja OE Tiskarna – gravura, OE Apretura – CMA – krojilnica in končno v. d. tehničnega direktorja.

Od novembra 1998 je zaposlen na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru kot učitelj večšin – koordinator strokovnih praks.

V tem času je pridobil veliko izkušenj in sposobnosti, kot so: komunikativnost in javno nastopanje, delo v skupini, poučevanje in organizacija, upravljanje različnih laboratorijskih naprav, komuniciranje s poslovnimi partnerji, vodenje in organizacija proizvodnje, izdelovanje receptur za barvanje tekstilij, naročanje barvil, kemikalij in pomožnih sredstev, skrb za varstvo pri delu, načrtovanje proizvodnje ter razporejanje del in nalog v proizvodnji in še koordiniranje ter organiziranje strokovne prakse.

Prvega junija 2006 je bil s sklepom dekana imenovan za „koordinatorja za program Leonardo da Vinci na Fakulteti za strojništvo“.

Magistrsko nalogo z naslovom „Numerično vrednotenje barvnih vzorcev s pomočjo optičnega čitalnika“ je izdelal pod mentorstvom izr. prof. dr. Bojana Dolška in somentorja doc. Vojka Pogačarja, akad. slikarja in jo uspešno zagovarjal v februarju 2008.

Igor Nahtigal je bil izvoljen v pedagoški naziv „asistent“ za predmetno področje *Plemenitenje tekstilij* in trikrat v naziv „učitelj večšin – koordinator strokovnih praks“ za predmetno področje *Strojništvo in tekstilstvo*. Pri dodatnem izobraževanju je opravil 30-urni tečaj „Podjetniška delavnica“, PIC GEA College in leta 1997 še osnovni tečaj REFA.

Osebna bibliografija za obdobje 1993–2008 vsebuje strokovni članek, objavljen znanstveni prispevek na konferenci, objavljen povzetek znanstvenega prispevka na konferenci in diplomsko delo.

*Measuring and evaluating of color in the textile industry is important for production control and for communication with customers. Conventional industrial color evaluation uses spectrophotometers, which are very expensive. A system, which would enable relatively precise color measurement and evaluation with standard, although more expensive scanner of higher quality class, would still be many times cheaper.*

Color measurement systems are purposely created from the parts, which are developed for the purpose of color measuring. A flatbed scanner, also called a desktop scanner, is a computer input device, much like a keyboard or mouse, except that it takes its input in graphical form. Here appears a question if flatbed scanners are precise enough because they operate on different principles.

Most scanners today use the single pass method. The lens split the image into three smaller versions of the original. Each smaller version passes through a color filter (either red, green or blue) onto a discrete section of the CCD (CCD-Charge Coupled Device) array. The scanner combines the data from the three parts of the CCD array into a single full-color image. The CCD converts the light to proportional voltage. This voltage is converted to digital form (binary bit pattern) by an A/D Converter (analogue to digital converter). These digital values are assigned to RAM where they make up the graphical image. The graphic can be saved on disk in standard graphic file format. Color scanners have also some limitations, such as not producing standard illuminant D65 by used lamps, transmission of color filters and repeatable transformation of light in proportional voltage on CCD.

To use the scanner as a measuring device, we have to define the relationship between the device 'color space' (RGB) and the CIE system of color measurement ( $L^*a^*b^*$ ). In other words, we have to characterize (profile) the scanner. Scanner profiles translate raw digital RGB values into a standard color space like CIELAB. The profile is generated by scanning an 'IT8' color target. Profiling software combines the digital scanner value with the data measured from target with the spectrophotometer to form a 'source' profile, which translates RGB values into CIELAB.

To convert a flatbed color scanner into a measuring device we have made a color target (similar to IT8.7/2 for photography) and a reference values file to create our own input profile for the textile materials. Multicolor fabrics were scanned and individual colors were colorimetrically evaluated.

According to the research within master's degree "Numerical evaluation of color samples using a flatbed scanner" it was found out, that today's flatbed scanners do not enable practical numerical color evaluation in comparable quality with the special equipment for color measurement.

Igor Nahtigal, graduated engineer of textile technology, was born on May 13, 1967 in Maribor. After at-

tending primary school Boris Kidrič in Maribor, he continued education at the secondary school of textile and hairdressing in Maribor.

In 1987 he completed military service and enrolled to the University in Maribor, Technical Faculty, VTO Mechanical Engineering – Textile Technology, course Textile and Chemical Technology. From January 1992 to July 1992 he worked at the secondary school of textile and hairdressing as a teacher of mathematics and physics. From July 1992 to October 1993 he assisted as a technical co-worker at practical laboratory work for the subjects Finishing Technology, Textile Finishing and Textile Dyeing.

In 1993 he graduated with the diploma thesis titled Optimisation of Fireproof Chemical Finishing of Cotton Fabric and obtained the title of a graduated engineer of textile technology.

The same year he started to work in MTT Maribor and enrolled in the first year of the postgraduate study at the Technical Faculty – Textile Technology Department. Until November 1998 he worked in MTT Maribor on different work positions, such as: the Fabrics Preparation and Dyeing Department Assistant Manager, Technologist – Developer, the Finishing Department Manager, Program I Manager, the Printing – Engraving Department Manager, the Chemical Finishing – CMA – Cutting Department Manager, and finally, Acting Technical Manager.

From November 1998 until now he has been employed at the Faculty of Mechanical Engineering in Maribor as a teacher of skills – coordinator of professional practices.

During these years he obtained lots of experiences and expertises, such as the ability to communicate and to appear in public, to work in team, to teach and organize, to manage various laboratory devices, to communicate with business partners, to manage and organize production, to prepare recipes for textile dyeing, to order necessary dyestuffs, chemicals and auxiliaries, to care about the safety at work, to plan production, to delegate works and tasks in production, and to coordinate and organize professional practices.

On June 1, 2006 he was appointed the coordinator for the Leonardo da Vinci program at the Faculty of mechanical engineering by the dean's decision.

Igor Nahtigal was once elected for a pedagogic title Assistant for the subject Textile Finishing, and three times for a pedagogic title Teacher of skills – coordinator of professional practices for the subject Mechanical Engineering and Textile Science.

*In the field of additional education he completed a 30-hour course titled Business Workshop, PIC GEA College and in 1997 a basic course of REFA.*

*His personal bibliography for the period 1993–2008 includes a professional paper, a scientific paper presented at the conference, the abstract of a scientific paper published at the conference, and the diploma thesis.*

Špela Udovič

### Metamorfoze – simbolni aspekt v tekstilnem oblikovanju

*Metamorphosis – the symbolic aspect in textile design*

Magistrsko delo Špele Udovič je sklepni del njene študija umetniške smeri na Oddelku za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete pri Univerzi v Ljubljani. Likovno raziskovalno in ustvarjalno delo z naslovom *Metamorfoze – simbolni aspekt v tekstilnem oblikovanju* preoblikuje podobe arhetipskih znakov v teksturalni zapis tekstilnega vzorca. Simbolno značilen, osebni značaj različnih oblik – likovnih znakov iz lastnih umetniških grafik avtorica podoživi še enkrat v drugačnem likovnem pristopu. Z variacijami likovnih spremenljivk, kot so velikost, ritem, ponavljanje, usmerjenost, količina in platenje, doseže povsem drugačno vizualno pripovednost, kot jo je prej raziskovala v svojih grafkah. Prvotne oblike, ki so zaživele v tehniki kolografije, je skenirala in jih prenesla v elektronsko obliko. Izolirala jih je iz ozadja, jih očistila motečih nepravilnosti in jih v programu Photoshop preoblikovala v vzorce, primerne za sitotisk tekstilij. Hkrati pa jih je abstrahirala, pomanjšala ali povečala ter jih priredila ponavljajočemu se vzorcu. Izkoristila je ponavljanje čim bolj podobnih, skoraj enakih oblik, ki delujejo kot opilki, jata ribic ali barvni milni mehučki. S ponavljajočim se tiskanjem in platenjem jih je kopičila in usmerjala po konvergentnih silnicah proti navideznim središčem. Nastale so enovite, a dinamične pokrajine sestavljene enobarvnosti. Oranžno in zeleno žarčenje, ki ju je najprej sestavila s ponavljajočim se ročnim sitotiskom, sta jo s svojo dinamiko in barvitostjo presenetili in navdušili, da je nadaljevala s podobnim strukturiranjem enobarvnih površin, a tokrat z digitalnim tiskom tekstilij. Nastala je serija različno sestavljenih tekstur v podobnih geometrijah, ki se z določene razdalje zlivajo v enobarvne površine pastelnih odtenkov.

Potiskane tekstilije je umestila v prostor in jih vizualno primerjala med seboj iz različnih zornih kotov. Fleksibilnost tekstilnega materiala jo je pritegnila, saj potiskanim slikarskim površinam daje posebno mehko in dodatno nežno reliefnost. Sestavila je celo niz ravnih in konveksno ali konkavno ukrivljenih abstraktnih slik. S primernimi razmiki med njimi je dosegla avtonomnost posameznih likovnih kompozicij. Na nevtralnem belem ozadju so veliki, barvno enoviti pravokotniki zaživele in navidezno lebdeči zanihali v prostoru.

Odločitev avtorice, da predstavi opus svojega magistrskega dela v izbranih galerijskih prostorih, najprej v klasičnih, a prostorsko povezanih sobah galerije Hest, sicer zgolj kratkotrajno – le za fotografiranje in pozneje v sodobnejši odprti avli in širšem, dobro osvetljenem hodniku pod streho v šestem nadstropju Oddelka za tekstilstvo, se je izkazala za celovito in likovno kakovostno, saj je edino tako lahko prikazala vso kompleksnost svojega likovnega razmišljanja.

Njen prispevek je osebno senzibilna in domiselna študija v okviru širokega nabora možnosti, ki jih ponuja abstraktna umetnost. Svoje odločitve je v teoretičnem delu smiselno in analitično navezala na priznane predstavnike optične umetnosti in minimalizma. Nanju je tudi oprla svoje videnje simbolnega vidika pri tekstilnem oblikovanju ter v razvoju magistrskega dela dokazala odločilno vlogo likovnih spremenljivk pri določanju in spreminjanju vizualne ali znakovne vloge tako posameznih elementov kot celotnega vtisa likovnega dela. Magistrsko delo je nastalo pod mentorstvom izr. prof. Marije Jenko.

ŠPELA UDOVIČ se je rodila 26. marca 1970 v Ljubljani. Srednjo šolo za oblikovanje in fotografijo je sklenila leta 1989 in se še istega leta vpisala na Pedagoško fakulteto v Ljubljani, kjer je leta 1995 diplomirala in pridobila naziv profesorica likovne pedagogike. Magistrski študij umetniške smeri na Oddelku za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete v Ljubljani je vpisala leta 2002 in pred kratkim, decembra leta 2008, pridobila naziv magistra oblikovanja tekstilij. Na Srednji medijski in grafični šoli v Ljubljani je zaposlena kot profesorica grafičnega oblikovanja in umetnosti s strokovnim nazivom svetovalke.

Na skupinskih študentskih razstavah Pedagoške fakultete je leta 1993 dvakrat širši javnosti predstavila svoja likovna dela v Mestni galeriji in v Šolskem muzeju v Ljubljani. Diplomsko delo – umetniške

grafike je leta 1995 samostojno razstavila v galeriji Doma španskih borcev v Ljubljani. Leta 2003 je sodelovala na 1. Bienalu vidnih sporočil, ki ga je v Narodni galeriji v Ljubljani organizirala Fundacija Brumen. Za oblikovanje črkovne vrste Mali človek je prejela Brumnovo priznanje odličnosti.

*The artwork of Špela Udovič represents the conclusion of her master's level study. Her creative research in the field of visual art, entitled Metamorphosis – the symbolic aspect in textile design, deals with the transformation of archetypical images into textures and textile patterns. Typical symbolism, deriving from the personal character of various forms in her previous graphic work, was revisited in a different artistic approach. With variations of visual changeability, such as scale, rhythm, repetition, orientation, quantity and overlapping, she created a completely different visual appearance as it was explored in her original graphic arts.*

*The original forms that became alive in a technique of colography, similar as etching, have been scanned and transformed into electronic shapes. In the process of metamorphosis she isolated certain shapes from their surroundings, refined them and created different patterns, suitable for silkscreen printing. Various modes of abstraction, diminishing or magnifying were used to create further repeating patterns. Different repetitions of similar, almost equal elements that look something like iron filings or a school of tiny fish were first printing by hand. Hundreds of silkscreened overprints – overlapping the same forms on top of one another – accumulated deliberately in a swirling motion that converged to the apparent centres of the composition. Finally, several unique and quite dynamic abstract “landscapes” appeared in their stunning simplicity and with a special mixture of colours. Orange and green radiations were created with repeated hand printing, along with further compositions using digital textile printing. An interesting series of oscillating monochrome surfaces in harmonised pastel tones emerged. The farther from the work the viewer would stand, the more homogeneous the colours would become.*

*Ultimately, the printed textiles were arranged in an exhibition space. The flexibility of the textile material was seductive with the special smoothness or gentle roughness of its surface and the characteristics of the patterns enticing. Špela even tried to curve her printed textile surfaces in the empty space, from flat into concave and convex shapes. With proper distances*

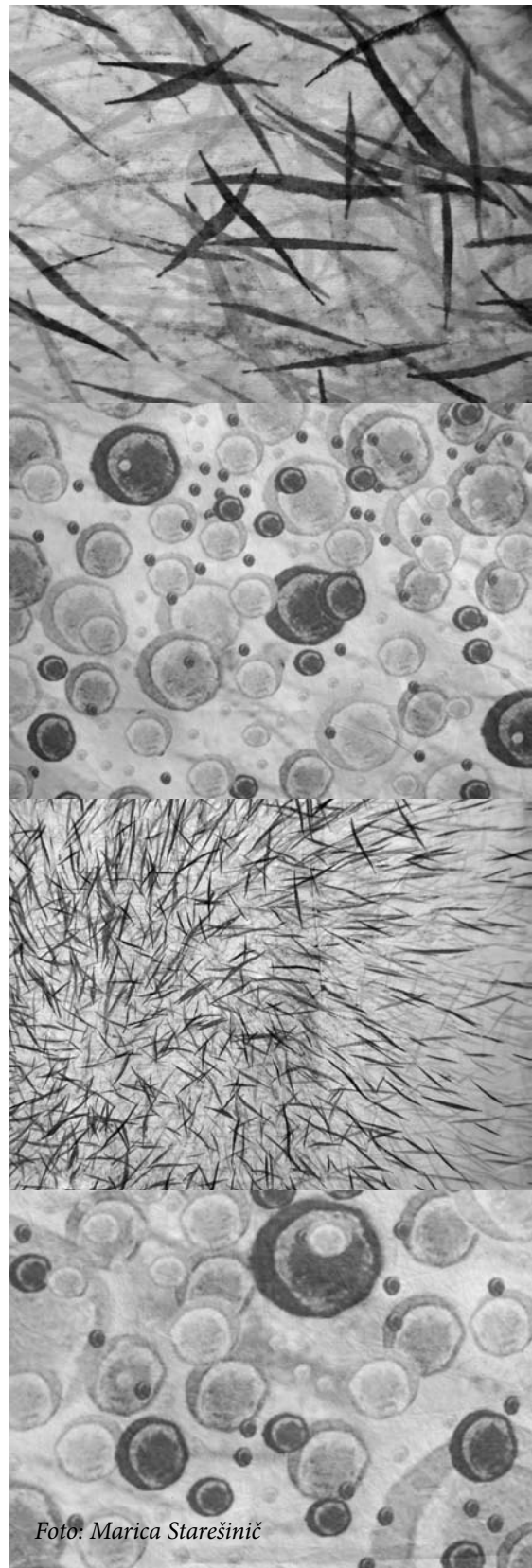


Foto: Marica Starešinič

*between the works she managed to give each one its own individuality. Suddenly, the colourful rectangles came to life against the neutral white background and seemed to be floating in the room.*

*To opt to make an exhibition of her artwork was a crucial decision on the part of Špela Udovič, since only with a proper exhibition she would be able to demonstrate the richness of her visual and creative thinking. Initially only for the purposes of photography, she first set up a temporary exhibition in a gallery with classical, but freely connected rooms; later, a more modern setting for the actual exhibition ended up being the bright and open loft space on the sixth floor of the Department of Textiles.*

*The master's degree work of Špela Udovič is a personally sensitive and visually innovative contribution within the wide range of possibilities that abstract art offers. In the theoretical part of her work, she considered many examples of optical art and minimalism. These two streams then formed the basis for her personal vision of certain symbolic aspects in the textiles she produced which later in the process played a significant role in the visual mutability of her work, in the definition or change of a visual element or sign that then affected the entire composition.*

*She elaborated her master's degree work under the mentorship of assoc. prof. Marija Jenko.*

*Špela Udovič was born on 26 March 1970 in Ljubljana. She completed her basic studies at the Secondary School of Design and Photography in Ljubljana in 1989 and then enrolled at the Faculty of Pedagogy in Ljubljana, graduating in 1995. In 2002, she started on her art-oriented postgraduate degree in the Department of Textiles of the Faculty of Natural Sciences and Engineering at the University of Ljubljana. She concluded her studies in December 2008 with a master's degree in textile design. She is employed as a professor – counsellor for graphic design and art at the Secondary School of Media and Graphics in Ljubljana.*

*In 1993, she exhibited her artwork in public twice as part of student exhibitions of the Faculty of Pedagogy, both at the City Gallery and at the Scholastic Museum in Ljubljana. Her diploma work in graphic arts was exhibited in 1995 in the "Dom španskih borcev" cultural centre in Ljubljana. In 2003, she participated in the First Biannual of Visual Communication in Ljubljana's National Gallery, organized by the Brumen Foundation. Her design of typography *Small human being* has been granted with the Brumen's award of excellence.*

Sonja Toplak Kociper

**Prostor – časje prepletanj**

*Space – Time of Interlacing*

Magistrsko delo *Prostor – časje prepletanj* je v oblikovalskem, umetniškem, filozofskem ter duhovnem nadgradnja dela, ki se je začelo že v dodiplomskem obdobju. Ker je platenje bistvena prvina avtoričnega ustvarjalnega principa, je tudi magistrsko delo sestavljeno iz štirih plasti – projektov, ki so nastajali med študijem, doma in v tujini. Prvi del naloge raziskuje vpliv ženskega dela na razvoj tekstilne umetnosti danes. Delanje ženskih oltarjev (religioznih, umetniških) skozi zgodovino je tesno povezano s samim začetkom umetnosti, kakor tudi mitologija, ročna dela, obrt. Sledi kratka predstavitev intimnih ženskih oltarjev v obliki fotografij. Osrednji del naloge vsebuje recikliranje zavrženih tekstilij skozi tkanje in polstenje. Poudarek je na samem materialu in na procesu dela. Material ni obravnavan le kot objekt, temveč priključuje osebno poetično podobo. Nastali izdelki so kot intimne hiške, zapisi spominov, prikazani v plasteh. Slednji projekt se ukvarja s spoznavanjem snega kot sredstvom likovnega izražanja v tekstilni umetnosti. Jezik tekstilij je poln življenja in mistike, ki spominja na starodavne modrosti in tradicijo, na poetiko in prisposodbe v naravi.

SONJA TOPLAK KOCIPER je bila rojena 21. julija 1978 v Murski Soboti. Končala je Srednjo tekstilno šolo v Murski Soboti. Leta 1997 je začela s študijem oblikovanja tekstilij in oblačil na Naravoslovnotehniški fakulteti, kjer je leta 2003 tudi diplomirala pod mentorstvom doc. Marjete Godler. Istega leta je vpisala magistrski študij na NTF smer oblikovanje tekstilij. Leta 2004 je prejela Erazmovo štipendijo na School of Design and Crafts v Göteborgu na Švedskem. Dodatno se je izpopolnjevala na Vysoki školi umeleckoprumslova v Pragi. Živi in ustvarja v Prekmurju in ima dva otroka.

Sodelovala je na naslednjih skupinskih razstavah:

Mesto žensk, skupni projekt: „Kdo se boji čarovnic?“, Ljubljana, 1999;

BREAK 21, 4. mednarodni festival mladih neodvisnih ustvarjalcev, Ljubljana, 2000;

„Z veseljem“, skupne modne revije, Ljubljana, Sarajevo, 2001;

Mittelmoda, mednarodna modna revija, Gorizia, Italija, 2001;

Projekt za mladinski dom „Celica“, Metelkova, Ljubljana, l. 2003;

14. Ljubljanski pohištveni sejem, FORMA, Ljubljana, 2003;

Skupinska potujoča razstava: „Memorial Tapestry“, ZDA, Italija, Poljska, 2004;

4th International Biennial of Mini-Textiles, „The open letter“, Vilnius, Litva, 2005;

TEXTILE 05 – Kaunas Art Biennial, Kaunas, Litva, 2005;

„Stoli za doječe matere“, projekt za Pediatrično kliniko v okviru Mesta žensk, 2005;

„Ustvarjala sem. Ljubila in sanjala.“, skupinska razstava, Galerija Loterija, Ljubljana, 2005;

„Mladi ustvarjalci Pomurja“, skupinska razstava, Galerija Murska Sobota, 2008.

*In the designing, artistic, philosophic and spiritual sense the master's thesis titled Space – Time of Interlacing is the upgrade of the work started already during the undergraduate study. Since layering is an essential element of the author's creative principle, the master's thesis is composed of four layers - four projects, which came into existence during the time of her studies at home and abroad. In the first part of the thesis the impact of a women's work on development of textile industry today is researched. Manufacture of women's altars (religious, artistic) through the history is very closely connected with the beginning of the art itself, as well as the mythology, handicrafts, craft. A short presentation of intimate women's altars in photos follows the first part. The central part of the thesis deals with recycling of rejected textiles through weaving and felting. The emphasis is put on materials and work processes. Material is not treated as an object only but it is calling for a personal poetic image. The products are like intimate houses, memory notes, shown in different layers. The last project is dealing with recognition of snow as the means of fine arts expression in textile art. The language of textile is full of life and mystics, which reminds of ancient wisdom and tradition, of poetry and metaphors in the nature.*

Sonja Toplak Kociper was born on the 21st of July 1978 in Murska Sobota. After graduating from the secondary school of textiles in Murska Sobota in 1997, she continued with the study of the textile and clothing design at the Department of Textiles at the Faculty of Natural Sciences in Ljubljana. In 2003 she graduated with the diploma thesis under the mentorship of assist. prof. Marjeta Godler. In the same year she enrolled in the first year of the postgraduate study programme of the textile design and she finished the study in Decem-

ber 2008 with her master's thesis titled Space – Time of Interlacing. In 2004 she received the Erasmus's scholarship at the School of Design and Crafts in Göteborg, Sweden. She gained additional training at Vysoka škola umeleckoprumslova in Prague.

She contributed at the following group exhibitions: City of Women, the joint project: "Who is afraid of Witches?", Ljubljana, 1999;

BREAK 21, 4., Young Independent Creators International Festival, Ljubljana, 2000;

"With Pleasure", Collective Fashion Shows, Ljubljana, Sarajevo, 2001; Mittelmoda, International Fashion Show, Gorizia, Italy, 2001; Project for the Youth Hostel Celica, Metelkova, Ljubljana, 2003; 14th Ljubljana Furniture Fair FORMA, Ljubljana, 2003;

"Memorial Tapestry", a road group exhibition, USA, Italy, Poland, 2004; 4th International Biennial of Mini-Textiles, The Open Letter, Vilnius, Lithuania, 2005;

TEXTILE 05 – Kaunas Art Biennial, Lithuania, 2005; "Nursing Mothers Chairs", the project for the Pediatric Clinique in the framework of City of Women, 2005; "I have created. I have loved and dreamt." – a collective exhibition, Galerija Loterija, 2005;

"Young creators of Pomurje", a collective exhibition, Galerija Murska Sobota, 2008.



Foto: Sonja Toplak Kociper



# Prešernove nagrade študentom Oddelka za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete v Ljubljani

*Fakultetne Prešernove nagrade*

Gorazd Krumpak

**Izdelava uporabniškega vmesnika za program Argyll CMS**

Gorazd Krumpak se je rodil 23. marca 1984 v Celju, sicer pa je njegov kraj otroštva Rogaška Slatina. Je diplomant univerzitetnega študija grafične tehnologije, ki ga je uspešno končal septembra 2008. V svojem diplomskem delu z naslovom *Izdelava uporabniškega vmesnika za program Argyll CMS*, ki je nastalo pod delovnim somentorstvom Andreja Javorška, univ. dipl. inž., je obravnaval razvoj in izdelavo grafičnega uporabniškega vmesnika (UV) za odprtokodni računalniški program Argyll CMS.

Gorazd Krumpak se je v diplomskem delu posvetil razvoju grafičnega vmesnika, ki omogoča izdelavo barvnega profila za monitor, tiskalnik, optični bralnik in digitalno kamero. Vsebinsko strukturiran vmesnik vodi uporabnika skozi posamezne korake, zna prilagoditi dodatne opcije, vezane na predhodne izbire, ter onemogoča vnose, ki lahko negativno vplivajo na izdelavo barvnega profila. Izdelan je v označevalnem jeziku HTML in skriptnem jeziku JavaScript. Med njegovimi odlikami sta tudi neodvisnost od operacijskih sistemov in dostopnost v vseh najnovejših brskalnikih.

Čeprav je bilo treba v končnem izdelku žrtvovati nekatere značilnosti pravega grafičnega UV na račun prenosljivosti in drugih izhodiščnih zahtev, pa je delo z njim zelo preprosto.

Diplomant Gorazd Krumpak je pokazal izjemno samoiniciativnost in delavnost, zato je današnja nagrada več kot zaslužena. Delo je nastalo pod mentorstvom doc. dr. Tadeja Muck.

Alja Kupec

**Izolacija električno prevodnih vlaken**

Alja Kupec se je rodila 15. junija 1981 v Slovenj Gradcu. Osnovno šolo je obiskovala v Preboldu, šolanje pa na celjski I. Gimnaziji. Na NTF se je leta 2002 vpisala na Oddelek za tekstilstvo in diplomirala z nalogo *Izolacija elektroprevodnih vlaken*, katere eksperimentalni del je opravila ob svojem polletnem obisku Znanstvenega inštituta EMPA v Švici. Je tudi absolventka študijske smeri grafična tehnologija. Trenutno je zaposlena na Oddelku za elektronsko keramiko na IJS kot asistentka raziskovalka na področju materialov za elektronske komponente. Izobraževanje nadaljuje z doktorskim študijem feroelektričnih tankih plasti v programu Nanoznanost in nanotehnologija na Mednarodni podiplomski šoli „Jožefa Stefana“.

V nalogi *Izolacija električno prevodnih vlaken* je nagrajenka Alja Kupec s plazemsko tehnologijo pripravila električno prevodne PA in PES monofilamente. Temeljna ugotovitev njenega dela je, da je mogoče pripraviti električno prevodne filamentne iz klasičnih PA in PES za uporabo pri „inteligentnih“ tekstilih. Raziskava Alje Kupec, ki presega obseg rednega študijskega programa, je privedla do spoznanj, ki imajo praktično uporabno vrednost za industrijsko proizvodnjo elektroprevodnih vlaken z združitvijo metaliziranja s plazemskim postopkom in nanosom zaščitnega polimera v neprekinjen proces.

Delo je nastalo pod mentorstvom izred. prof. dr. Vilija Bukoška.

Mojca Friškovec

**Analiza urbanega okolja in oblikovanje maskirnega vzorca**

Mojca Friškovec se je rodila 15. novembra 1983 v Celju. Na Oddelku za tekstilstvo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani se je za študijsko leto 2002/2003 vpisala na univerzitetni študij Tekstilne in grafične tehnologije, smer grafična tehnologija. Študij je končala junija 2008.

Raziskovalno delo z naslovom *Analiza urbanega okolja in oblikovanje maskirnega vzorca* je nastalo pod mentorskim vodstvom izr. prof. dr. Barbare Simončič in somentorstvom doc. dr. Helene Gabrijelčič v okviru ciljnega raziskovalnega programa Znanje za varnost in mir 2006–2010, ki ga je razpisalo

Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije. Teoretične osnove dela so obdelale zgodovinski in vojaški pomen kamuflažnih vzorcev, njihov namen in možnost uporabe. Eksperimentalni del je vključeval zajemanje, selekcijo in obdelavo digitalnih fotografij z različnih področij slovenskega urbanega okolja. Slikovna analiza ploskovno in konturno poenostavljenih oblik je pokazala prisotnost treh večjih skupin oblikovnih elementov, in sicer geometrijsko pravilne elemente, geometrijsko nepravilne organske elemente in mikroelemente. Naslednja faza je bilo načrtovano sestavljanje oblik, ki je vključevalo kompozicijsko in slikovno analizo poenostavljenih slik, teorijo fraktalov, teorijo psihofizičnega dojetja oblik in vzorcev (Gestalt psihologijo), optiko človeškega vidnega sistema in nekatera dognanja preliminarnih raziskav. Oblikovanje vzorca je temeljilo tudi na zahtevi po možnosti detekcije oblik vzorca ter zlivanju barv in elementov vzorca v enotno in oblikovno neprepoznavno površino na natančno določenih razdaljah opazovanja. Rezultat raziskave sta bila baza različnih digitalnih vzorcev za potrebe Slovenske vojske in izbor optimalnega kamuflažnega vzorca, ki ustreza vsem načrtovanim tehničnim, oblikovnim in maskirnim zahtevam.

Marta Kosturska

#### Miselni vzorci – tekstilni vzorci

Marta Kosturska se je rodila 30. marca 1978 v Nišu. Je makedonske narodnosti. Marta Kosturska se odločila za drugačno, za oblikovanje tekstilij netipično predstavitev svojih zamisli. Izbrala je avtorsko, umetniško zvrst – animacijo fotografij, risb in vzorcev. Najprej pa jo je zanimalo, kaj vzorci sploh so, kako nastajajo, čemu so namenjeni, v kakšnem odnosu so do drugih vsebin, na kaj nas spominjajo, kaj so kot samostojne likovne kvalitete, kako se povezujejo v večje pomenske celote, kakšni so v mirovanju ali gibanju. Odločila se je soočiti temeljni likovni kvaliteti, prostoročno risbo in fotografijo. Ker je v osnovi obema tuja razkošna barvitost, se je raje osredinila na svetlo-temne odnose med likovnimi prvinami, barvo pa je pritajila, zatekla se je le k modrini – ostri, hladni in neskončni. Marta Kosturska je torej namesto klasične izvedbe tekstilnih vzorcev pripravila virtualno predstavitev, ki se je oplemenitila zgolj s projekcijo in združevanjem likovnih vsebin, plasti, zaslonov in filmskih kadrov. Da bi razširila obzorje mogočega

v tekstilnem oblikovanju, je posegla po likovnih stajnih, ki so blizu filmu, ilustraciji in animaciji. Dosegla je prelivanje likovnih vsebin. Abstraktne likovne prvine – črto, ploskev in barvo je nadgradila z vzporednimi vsebinami, ki so jih poetično ponudile fotografije – portreti, tihožitja in pokrajine.

Delo je nastalo pod mentorstvom izr. prof. Marije Jenko in somentorstvom asist. dr. Tanje Nuše Kočevar.

Neli Štrukelj

#### Multifunkcionalna torba

Neli Štrukelj se je rodila leta 1982 v Šempetru pri Novi Gorici. Od leta 1997 je dobivala Zoisovo štipendijo za nadarjene študente. Med študijem na Naravoslovnotehniški fakulteti se je kot modna oblikovalka in kostumografinja odlikovala s številnimi mednarodnimi aktivnostmi: opravila je tečaj kostumografije na Central Saint Martins School of Art and Design v Londonu; bila je na Erasmus izmenjavi na Faculdade de Arquitectura, departamento de Arte e Design, v Lizboni na Portugalskem; sodelovala je na Bienalu mladih ustvarjalcev Evrope in Sredozemlja v Puglii v Italiji in na European's way of life v Nantesu v Franciji.

Letos je dobila nagrado za perspektivno mlado oblikovalko, ki jo podeljuje Zavod Big na Mesecu oblikovanja.

V svojem delu je razvila večnamensko torbo, ki se spreminja po funkciji, velikosti in obliki glede na trenutne potrebe uporabnika, pri čemer je posebej upoštevala ekološki dejavnik. Za različne kategorije kupcev je omogočila inventivnost in individualnost pri izbiri videza zunanje torbe strain, ki ga je mogoče menjavati in tako spreminjati glede na oblačila in trenutno razpoloženje. K oblikovanju grafičnega dizajna za torbe je pritegnila tudi druge avtorje v okviru projekta in razstave Urbani nomadi.

Delo je nastalo pod mentorstvom izr. prof. Karin Košak in somentorstvom mag. Barbare Prinčič z ALU-O.

Iva Renčelj

#### Studijska fotografija – fotografija hrane

Iva Renčelj, univ. dipl. inženirka grafične tehnologije, se je rodila 30. maja 1983 v Ljubljani. Po končani osnovni šoli Hinka Smrekarja v Ljubljani se je

leta 1998 vpisala na Gimnazijo Poljane v Ljubljani in jo z maturo končala leta 2002, ko se je vpisala na študij Tekstilstvo in grafična tehnologija, smer grafična tehnologija, kjer je 1. julija 2008 diplomirala z nalogo *Studijska fotografija – fotografija hrane*. V tej nalogi je raziskala vplive svetlobe na različne predmete in s tem vzorčne karakteristike v fotografiji in njeno uporabo v studiu pri fotografiranju hrane. Za razumevanje in spoznavanje studijske fotografije je bilo treba v ta namen raziskati in opredeliti sam studio, studijsko opremo in način postopne gradnje studijske osvetlitve z vsemi pripomočki in triki, ki se uporabljajo pri tem. Prav tako je bilo treba ovrednotiti stiliziranje hrane, tehnike fotografiranja in metode osvetljevanja hrane. Pri tem je kandidatka proučila tehnike fotografiranja steklovine in pijače ter možnosti postavitve lastnega improviziranega začasnega studia s čim manj stroški in z možnostjo doseganja solidnih rezultatov fotografije hrane, kar je v končni obliki tudi dosegla skupaj z ovrednotenjem rezultatov ter definiranjem ugotovitev in problemov, ki so nastali med delom.

Raziskovalno delo nagrajenke je po oceni njenega mentorja izjemno kakovostno in izvirno, saj je dokazala, da lahko s preprostim, improviziranim in doma narejenim fotostudiom ter z iznajdljivostjo in nadarjenostjo za fotografijo dosežemo zavidljive uspehe pri fotografiranju hrane.

Delo je nastalo pod mentorstvom red. prof. Darka Slavca.

#### *Zahvale in priznanja najboljšim študentom za leto 2008 z Oddelka za tekstilstvo*

Letos so prvič doslej podelili tudi zahvale za sodelovanje študentom, ki so izvedli različne projekte in raziskovalne naloge v okviru tem za Prešernove nagrade študentom v letu 2008, in sicer:

Maji Krapš za delo: *Maskirni tisk bombažnih tkanin za mestno okolje*

Mentorica izr. prof. dr. Petra Forte Tavčer, somentorica izr. prof. dr. B. Simončič

Alenki Kljun za delo: *Dinamično mehanska analiza (DMA) PA6.6 kordov za avtomobilske pogonske jermene*

Mentor izr. prof. dr. Vili Bukošek

Meti Krajnc za delo: *Primerjava naravne in umetne osvetljave pri fotografiranju ženskega subjekta*

Mentor red. prof. Darko Slavec

Tadeji Horvat za delo: *Doživljanje Prekmurja skozi fotografski objektiv*

Mentor red. prof. Darko Slavec

Ivani Čatović za delo: *Ustvarjanje in promocija lastne blagovne znamke „Living Cells“*

Mentor red. prof. Darko Slavec

Študentom 4. letnika Oblikovanja tekstilij in oblačil 2007/08 za delo: *Plečnik in modni eksperiment*

Mentorji: red. prof. Metka Vrhunc, red. prof. Marija Jenko, doc. Elena Fajt

Ob tej priložnosti so izbrali tudi najboljše študente različnih smeri in programov v okviru Naravoslovnotehniške fakultete. Tako sta na Oddelku za tekstilstvo prejela priznanje kot najboljša študenta:

*Boris Beja*, absolvent visokošolskega strokovnega programa Grafična tehnika na tehnološki smeri, in *Nika Torkar*, študentka 2. letnika univerzitetnega programa Oblikovanje tekstilij in oblačil na umetniški smeri.



Foto: Maruša Šerovič

# Diplomska, magistrska in doktorska dela

Univerza v Ljubljani  
Naravoslovnotehniška fakulteta  
Oddelek za tekstilstvo

## Visokošolski strokovni študij grafične tehnike

COLNAR, Anja. *Numerično vrednotenje beline*. Ljubljana, oktober 2008. Mentorica doc. dr. Sabina Bračko.

MARINČIČ, Aleš. *Forenzična fotografija*. Ljubljana, oktober 2008. Mentor red. prof. Darko Slavec.



Foto: Maruša Šerovič

PILIPOVIČ, Sanja. *Obdelava in montaža digitalne fotografije*. Ljubljana, oktober 2008. Mentor red. prof. Darko Slavec.

SULIČ, Tanja. *Promocija in oblikovanje čebelarških izdelkov*. Ljubljana, november 2008. Mentor red. prof. Darko Slavec.

MALEC, Martin. *Vpliv UV svetlobe na sušenje odti-  
sov v ofsetnem tisku na pločevino*. Ljubljana, novem-  
ber 2008. Mentor v. pred. mag. Gorazd Golob.

KUZMA, Jan. *Primerjava jpeg in raw grafičnega  
formata pri zajemu slike v digitalni fotografiji*. Lju-  
bljana, november 2008. Mentor red. prof. Darko  
Slavec.

BLATNIK, Alenka. *Zagotavljanje poiskusnega od-  
tisa za standardni ofsetni tisk*. Ljubljana, november  
2008. Mentor v. pred. mag. Gorazd Golob.

POPOV, Jelena. *Evropski politični plakat*. Ljubljana,  
november 2008. Mentor red. prof. Dušan Kirbiš.

PLETERSKI, Maja. *Vpliv vlage na trdnost spoja pla-  
sti v higienskih izdelkih*. Ljubljana, december 2008.  
Mentorica izr. prof. dr. Diana Gregor-Svetic.

KREFT, Nina. *Fotoknjiga kot primer web to print  
tehnologije*. Ljubljana, december 2008. Mentor v.  
pred. mag. Gorazd Golob.

JASAR MIKLAVČIČ, Aleksandra. *Digitalna pri-  
prava turističnega kataloga Kompas poletje 08*.  
Ljubljana, december 2008. Mentor doc. dr. Bojan  
Petek.

BERTONCELJ, Igor. *Priprava interaktivne 3D vsebi-  
ne z uporabo avtorizacijskega orodja*. Ljubljana, de-  
cember 2008. Mentor doc. dr. Bojan Petek.

KLEMEN, Matic. *Delovne izkušnje izvedbenega obli-  
kovalca pri izdelavi noveletnega programa Tobačne  
Ljubljana 2007*. Ljubljana, december 2008. Mentor  
red. prof. Dušan Kirbiš.

ŠKARJA, Dejan. *Celostna grafična podoba podjetja  
Vini d.o.o.* Ljubljana, december 2008. Mentor red.  
prof. Dušan Kirbiš.

UGRIN, Ana. *Tipografija in tank*. Ljubljana, decem-  
ber 2008. Mentorica doc. dr. Možina Klementina.

TIMPRAN, Branka. *Poročna fotografija*. Ljubljana,  
december 2008. Mentor red. prof. Dušan Kirbiš.

## Visokošolski strokovni študij tekstilne tehnike

ARAMBAŠIČ, Saša. *Priprava vodoodbojne aperture  
po SOL-gel postopku*. Ljubljana, oktober 2008. Men-  
torica izr. prof. dr. Barbara Simončič.

ŠALAMUN, Maja. *Vpliv pranja na spremembo la-  
stnosti tkanin za moške poslovne srajce*. Ljubljana,  
december 2008. Mentorica doc. dr. Tatjana Rijavec.

**Visokošolski strokovni študij konfekcijske tehnike**  
BOŽIČ, Tanja. *Obstojnost laminiranih tekstilij za bolnišnično posteljnino pri gospodinjskem pranju*. Ljubljana, oktober 2008. Mentorica izr. prof. dr. Diana Gregor-Sveteč.

PREVOLNIK, Vanja. *Simbolika barve skozi letne čase*. Ljubljana, november 2008. Mentorica doc. Marjeta Godler.

#### Univerzitetni študij tekstilne tehnologije

KLJUN, Alenka. *Raziskava udobja nošenja vrhunsko obdelanih Tencel® in bombažnih tkanin*. Ljubljana, december 2008. Mentor doc. dr. Andrej Demšar.

#### Univerzitetni študij tekstilstva in grafične tehnologije – smer tekstilstvo

SVENŠEK, Lidija. *Cinkov citrat dihidrat kot antimikrobno sredstvo na bombažnih tekstilijah*. Ljubljana, november 2008. Mentorica izr. prof. dr. Marija Gorenšek.

KRŠIČ, Žana. *Vpliv dejavnikov na lastnosti ognjevarne aperture*. Ljubljana, november 2008. Mentorica izr. prof. dr. Marija Gorenšek.

#### Univerzitetni študij tekstilstva in grafične tehnologije – smer grafika

SEDOVŠEK, Robert. *Programska podpora mobilnemu učenju na osnovi EMAPPS*. Ljubljana, oktober 2008. Mentor doc. dr. Bojan Petek.

UDIR, Nina. *Analiza regulatorov in iz njih izdelanih polimernih ploščic ter njihova potiskljivost*. Ljubljana, november 2008. Mentorica izr. prof. dr. Diana Gregor-Sveteč.

ŽEBRE, Špela. *Uporabnost različnih enačb za barvne razlike pri vrednotenju fasadnih barv*. Ljubljana, december 2008. Mentorica doc. dr. Sabina Bračko.

#### Univerzitetni študij oblikovanja tekstilij in oblačil

TOMIČ, Ivana. *Od mikročipov do nove kože*. Ljubljana, oktober 2008. Mentorica red. prof. Metka Vrhunc.

MOTOH, Urška. *Svetloba ujeta v štiri elemente*. Ljubljana, oktober 2008. Mentorica doc. Marjeta Godler.

MUŽIČ, Neža. *Parkour*. Ljubljana, december 2008. Mentorica izr. prof. Almira Sadar.

FAGANEL, Matevž. *Robogeneza*. Ljubljana, december 2008. Mentorica izr. prof. Almira Sadar.

KRANJC, Ana. *Tekstilna telesa*. Ljubljana, december 2008. Mentorica red. prof. Marija Jenko.

RAVNIK, Nika. *Dekonstrukcija vojaške uniforme*.

Ljubljana, december 2008. Mentorica izr. prof. Almira Sadar.

#### Magistrsko delo s področja tekstilstva

UDOVIČ, Špela. *Metamorfoze, simbolni aspekt v tekstilnem oblikovanju*. Ljubljana, december 2008. Mentorica red. prof. Marija Jenko.

TOPLAK KOCIPER, Sonja. *Prostor – časje prepletanj*. Ljubljana, december 2008. Mentorica doc. Marjeta Godler.

#### Magistrsko delo s področja grafike

COCEJ MINATTI, Nedelko. *Hibridizacija tehnologije, družbe in umetnosti v digitalnem videu*. Ljubljana, november 2008. Mentor doc. dr. Bojan Petek.

Univerza v Mariboru  
Fakulteta za strojništvo  
Oddelek za tekstilne materiale in oblikovanje

#### Visokošolski strokovni študij tekstilstva

RENGEO, Suzana. *Modeliranje in izdelava kostumov za premiero filma „Vinopiri“*. Maribor, december 2008. Mentorica v. pred. mag. Marta Abram Zver.

SERŠEN, Suzana. *Čiščenje odpadne vode z bio-diskom*. Maribor, november 2008. Mentorica red. prof. dr. Sonja Šostar Turk.

TOMPA, Jasna. *Spremljanje brezformaldehidnega zamreženja viskoznih vlaken z uporabo fizikalno-kemijskih metod*. Maribor, december 2008. Mentorica doc. dr. Olivera Šauperl.

#### Univerzitetni študij tekstilstva

PEČOVNIK, Martina. *Statistična analiza procesa plemenitenja filamentnega sukanca*. Maribor, december 2008. Mentorica doc. dr. Tatjana Kreže.

**46. TEKSTILIADA**  
7. marca 2009 v Kranjski Gori, na smučišču Dolenčev rut

**Organizatorja**  
Svilanit, d.d.  
Društvo inženirjev in tehnikov tekstilcev Kamnik

**Predsednica organizacijskega odbora**  
Mojca Šubic



## Sejem igrač v Nürnbergu

### Uvod

Nürnberg v Nemčiji je znan po povojnih procesih, pa tudi po muzeju igrač in tradicionalnem sejmu, ki vsako leto februarja oblikuje utrip mesta. Letošnji sejem igrač bo šestdeseti po vrsti; v znamenju obletnice bodo tudi spremljajoče prireditve. V času sejma v mestnem jedru vsako leto oživi izložbe z igračami, na policah trgovin so predstavljene iste novosti kot na sejmu. Z igračami živi vse mesto. Sejem je namenjen poslovnem, prebivalci in otroci do 16. leta starosti nimajo vstopa. V letu 2008 je sejem obiskalo okrog 80.000 ljudi iz 120 držav in 2676 razstavljalcev iz 61 držav. Razstavljenih je bilo približno milijon izdelkov, med katerimi je bilo približno 70.000 novosti. Sejem je urejen na 160.000 kvadratnih metrih. Brez kataloga in načrta razstavnih prostorov preprosto ne gre. Na nürnberškem sejmu igrač najdete didaktične igrače, knjige, lutke, mehanske in elektronske igrače, izdelke za hobije, družabne igre, kreativne igrače, okraske, pustne kostime in še vrsto drugih igralnih pripomočkov. Velik del sejma je namenjen modelarstvu, osrednji del zasedajo tudi lesene in tekstilne igrače. Sejem gre seveda v korak s časom. Ko so na trg prodrle novoletne smrečice iz umetnih materialov, jih je bilo na nürnberškem sejmu za celo razstavno dvorano. Zdaj niso več novost in jih je le še za vzorec. Tudi izdelki za hobije in kreativni izdelki, ki zahtevajo ročno spretnost, so bili nekoč predstavljeni v dveh razstavnih dvoranah. Razstavljalci so na svojih razstavnih prostorih prikazovali, kako s pomočjo ročnih spretnosti kreativno uporabljati barve, lepila, razne gnetljive mase, lesene in steklene sestavljanke in podobno. Zdaj je takšnih predstavitev le še za vzorec. Opaziti pa je izrazito povečevanje ponudbe z Daljnega vzhoda; sejem so napolnili tudi drobni izdelki, ki bolj spadajo med okraske kot med igrače.

### Učenje z igranjem

Zadnja leta je opaziti poudarjanje pomena kreativnosti in vzgojnosti igrač. To je bilo na lanskem sejmu izraženo s sloganom „Učenje z igranjem“.

Slogan so podprli s številnimi demonstracijami, igralno kavarno in forumom. Raziskava, ki naj bi poudarila pomen učenja z igranjem, je pokazala, da 96,6 odstotka staršev meni, da je najpomembnejši vidik pri izbiri igrač praktičnost. Šele na drugem mestu sta spodbujanje razvoja in vzgojnost. Raziskave med izdelovalci igrač so pokazale, da jih ima 53,9 odstotka med njimi obširno znanje o igralnih navadah otrok, 52,5 odstotka pa o stopnjah otrokovega razvoja. Le 28,7 odstotka jih je bilo na tekočem z najnovejšimi razvojnimi dosežki na področju vzgojnih igrač.

### Tekstilne in druge mehke igrače

Tekstilne igrače obvladujejo kar precejšnji del sejma. Dolga leta je bil največja paša za oči razstavni prostor nemškega izdelovalca igrač Steiff (<http://www.steiff.de>). Steiffove plišaste igračke iz različnih zgodb in različnih stilov so bile glavne na velikanski pravljlični sceni: prikazovale so junake znanih pravljic, ki so na odru plesali, žagali, se gugali ipd. Paul Steiff si je leta 1908 izmislil prvega govorečega medvedka, dandanes pa je mogoče kupiti njegovo izboljšano repliko. Steiff v zadnjem času torej ne predstavlja le otroških tekstilnih igrač, temveč tudi replike nekdanjih priljubljenih igrač, igrače za zbiralce v omejenih izdajah ter izdelke za dojenčke in pripomočke za male otroke.

Drugi najbolj opazen razstavni prostor je dolga leta pripadal Sigikidu (<http://www.sigikid.de>). Filozofija podjetja temelji na prepričanju, da je tip pomembno čutilo, zato so tekstilije za Sigikidove igrače še posebno skrbno izbrane. Skladno s sloganom „Prvi razred za otroke“ pri Sigikidu ne prodajajo le izdelkov, temveč predvsem prijetne občutke, saj menijo, da je „crkljanje“ med temeljnimi potrebami. Veliko pozornosti namenjajo tudi celoviti kakovosti in oblikovanju. Slovenski potrošniki morda bolj kot plišaste igrače visokega cenovnega razreda Steiff in Sigikid poznajo igrače blagovne znamke Trudi (<http://www.trudi.com>). Tudi Trudi gre v korak s časom, ponuja izdelke za dojenčke in opremo otroških sob, galanterijo, na primer nahrbtnike in ovitke za knjige, pa tudi tradicionalne „pliškice“ Trudi.

Učinkovito se predstavljajo tudi druge, do zdaj manj odmevne blagovne znamke, npr. britanska Mamas & Papas (<http://www.mamasandpapas.com>). Poleg igrač ponujajo še opremo za dojenčke.

Prav ta se je na sejmu močno razširila. Poleg igral za dojenčke in majhne otroke je na sejmu mogoče občudovati celo vrsto punčk dojenčkov ter oblačil, vozičkov, odejic in druge tekstilne opreme zanje. O (lesenem) kuhinjskem pohištvu in gospodinjskih aparatih za male bodoče mamice in gospodinje pa sploh ni treba izgubljeni besed. Ker brez elektronike ne gre, so sodobne tekstilne igrače opremljene z dodatki, ki omogočajo zvočne efekte (jokanje dojenčkov, brundanje medvedkov, kopitljanje konjev ipd.), pa tudi nenavadne vidne učinke, npr. pordelost lic Zafpovega dojenčka, ki mu menda rastejo zobje. Pred leti so se največji izdelovalci tekstilnih igrač bahali z domiselno opremljenimi razstavnimi prostori, dandanes pa so njihove kultne igrače na ogled v bolj zaprtih, labirintom podobnih prostorih.

### *Varnost igrač*

Varnost igrač je dolga leta ena osrednjih tem sejma v Nürnbergu. Predstavniki trgovske inšpekcije že vrsto let pregledujejo razstavljene igrače in ocenjujejo njihovo varnost. Na sejmu se predstavljajo tudi preskuševalne ustanove, npr. ANALITICON Instruments, LGA QualiTest, Modern Testing Services Germany, Oxford Instruments, Hong Kong Standards and Testing Centre in TÜV Süd, ki ponujajo informativno gradivo ter obveščajo o novih predpisih in preskuševalnih metodah. Lani je bil v okviru foruma organiziran posvet *Varnost igrač – nova priložnost za industrijo?* Sejem ponuja informacijsko podporo industriji igrač glede varnostnih vprašanj, seveda pa je odločitev glede strategije varnosti in kakovosti igrač v rokah vsakega posameznega izdelovalca. Predstavniki sejma menijo, da je večina izdelovalcev problem varnosti igrač zelo dolgo in zavestno po-metala pod preprogo.

Pomemben dejavnik za zagotavljanje varnosti igrač je upoštevanje evropskih direktiv. Varnost igrač je označena na podlagi usklajenih standardov in z znakom CE. Preskušanje varnosti igrač vključuje preskušanje električne in mehanske varnosti ter kemijske in mikrobiološke preskuse. Poleg odpornosti na različne obremenitve se preskušajo tudi gorljivost igrač, odpornost proti slini in znoju, vsebnost težkih kovin, biocidov, formaldehida in plastifikatorjev ipd. Ocenjujejo tudi trdnost šivov izdelka, velikost in dolžino sestavnih delov, ostrino robov in pritrjenost štrlečih delov.

Tekstilne igrače se pogosto preskušajo za pridobitev certifikata eko-tex, čedalje več ozaveščenih izdelovalcev pa poudarja tudi humanost proizvodnje.

### *Intelektualna lastnina*

Sejem igrač se vsako leto ukvarja s pomenom avtorskih pravic, raziskuje piratstvo in plagiatstvo ter občasno ob boku originalnih izdelkov celo prikaže plagate, ki najbolj bodejo v oči. Izdelovalec, ki na sejmu odkrije plagiatorja svojega izdelka, se lahko posvetuje s Svetom za pravice intelektualne lastnine, ki je bil v okviru sejma ustanovljen leta 2007 in deluje kot arbitražna komisija. Sestavlja jo ga trije strokovnjaki s področja prava in trženja igrač.

### *Nacionalne predstavitve*

Lani je bilo na sejmu prvič opaziti izrazit trend nacionalnih predstavitev. Posamezne države ali skupine držav so svojo industrijo igrač predstavile celovito, na primer Toys from Spain ali Toy Russia. S tem se je sicer začel podirati sistem lokacijske delitve po skupinah izdelkov, a so bile zato nacionalne predstavitve praviloma bolj opazne, saj so se mali izdelovalci, ki bi se s svojim skrčenim razstavnim prostorom sicer izgubili v množici konkurentov, predstavili celovito in povezano na večjem, praviloma dobro organiziranem in informacijsko dobro podprtem razstavnem prostoru. Tako so Čehi poleg predstavitve svojih tradicionalno lepih in kakovostnih tekstilnih in lesenih igrač ter marionet promovirali še svojo prestolnico in gospodarstvo svoje države na splošno.

Nacionalne predstavitve izdelkov je zadnje čase opaziti tudi na drugih panožnih sejmih, torej gre za trend. Na sejmu igrač v Nürnbergu je na vsakem koraku mogoče slišati slovensko besedo. Sejem obišče veliko slovenskih poslovnežev, pa tudi nekaj razstavljalcev. Izdelovanje igrač in sorodnih izdelkov ima v naši državi dolgoletno tradicijo. Slovenija nedvomno spada na sejem igrač. Se bodo slovenski mali in veliki izdelovalci igrač ob podpori obrtne in gospodarske zbornice znali povezati, da se bo tudi Slovenija zmogla predstaviti celovito in odmevno na enem razstavnem prostoru?

**Alenka Pavko Čuden**

## Do novih znanj, praktičnih izkušenj in poslovnih povezav tudi z majhnimi koraki

*Leonardo da Vinci, program  
Vseživljenjsko učenje – sektorski program*

Zdi se, da smo evropske projekte mobilnosti pod okriljem programa Leonardo da Vinci, ki v Sloveniji potekajo že od leta 2000, doslej razumeli predvsem kot projekte izmenjave študentov, dijakov in zaposlenih na izobraževalnih ustanovah. Vendar pa so ti projekti, namenjeni praktičnemu usposabljanju v partnerskih ustanovah in podjetjih, prav tako uporabni in dobrodošli za podjetja iz različnih dejavnosti. Toda vprašanje je, koliko podjetij to sploh ve.

Dejstvo je, da je nacionalni Center za mobilnost in evropske programe izobraževanja in usposabljanja (CMEPIUS) kot prvi pri nas začel že v letu 1999 (takrat še pod imenom Služba za programe EU) izvajati programe Evropske unije s področja izobraževanja in usposabljanja. Toda v te programe, ki jih razpisujejo vsako leto oktobra, so se doslej vključevale predvsem srednje poklicne šole in univerze, ki so predstavljale kar tri četrtine prijaviteljev, podjetja, ki so očitno posegala predvsem po razpisanih projektih na ministrstvu za gospodarstvo, pa so se za projekte Leonardo da Vinci prijavljala le izjemoma. Na Centru za mobilnost in evropske programe sicer ugotavljajo, da se je v zadnjih treh letih zanimanje podjetij začelo povečevati. Da bi dosegli čim pestrejšo paleto udeležencev v teh projektih in olajšali pripravo projektov za prijavo, Center organizira delavnice, kjer skupaj z udeleženci pregledajo prijavno dokumentacijo, si razjasnijo izpolnjevanje zahtevanih obrazcev in navajanje določenih podatkov. Tudi Gospodarska zbornica Slovenije si prizadeva čim bolj promovirati ta program in o njem obveščati svoje članke. Kajti tako na Centru kot na GZS so prepričani, da tak način vključevanja v evropske programe, sicer z majhnimi koraki, podjetjem vendarle odpira možnosti za vključevanje v evropski raziskoval-

ni prostor, saj se tako seznanijo z različnimi tujimi partnerji sorodne dejavnosti in njihovim načinom opravljanja določenih del in organiziranostjo; tako sodelovanje lahko prinaša tudi novo poslovno priložnost. Ko organizacije in podjetja enkrat tako začnejo sodelovati z ustreznimi tujimi ustanovami in organizacijami ter dobijo tudi izkušnje pri pripravi prijavnih dokumentacij, se pozneje nedvomno veliko lažje lotijo tudi zahtevnejših in kompleksnejših mednarodnih projektov.

Po podatkih mag. Majde Širok, direktorice nacionalne agencije CMEPIUS, je bilo od leta 1999, ko so začeli sodelovati v evropskih programih, do vključno leta 2008 za program Leonardo da Vinci med slovenske organizacije in ustanove razdeljenih nekaj več kot 14,9 milijona evrov evropskih sredstev. Za leto 2009 pa pričakujejo, da bo za ta program namenjeno skoraj 2,3 milijona evrov evropskega denarja. Po besedah mag. Majde Širok je naša država v okviru programa Leonardo da Vinci uvrščena med najboljše porabnice, saj končna poraba sredstev, kar pomeni pregledano in potrjeno tudi pri Evropski komisiji, znaša povprečno več kot 90 odstotkov; zadnji dve leti je izkoriščenost teh sredstev celo 94-odstotna. Vsako leto v okviru nacionalne agencije sicer razdelijo vsa načrtovana in odobrena programska sredstva, izbranih pa je v povprečju 40 odstotkov vseh prijaviteljev. Izbor temelji na oceni zunanjih ocenjevalcev, metodologija ocenjevanja projektov pa je določena enako za vse sodelujoče države na ravni EU. Projekti morajo torej predvsem izpolnjevati cilje vseživljenjskega učenja, ustrezati ciljem sektorskega programa Leonardo da Vinci in razpisnim prioritetam (ki so ponavadi dodatne točke razpisa). Sicer pa mag. Širokova pravi, da je vse navedeno v povabilu k prijavi in ni nekega splošnega „recepta“ glede prijav; zato v nacionalni agenciji svetujejo interesentom, da se udeležujejo njihovih predstavitev razpisov v okviru delavnic.

V okviru programa Leonardo da Vinci se torej iz evropskih sredstev sofinancirajo tri skupine projektov s področja usposabljanja in poklicnega izobraževanja:

*Mobilnost posameznikov*, prijavitelj je pravna oseba (dijakov, vajencev, oseb na trgu dela, strokovnih delavcev v poklicnem in strokovnem izobraževanju). Namen je, da posamezniki izvedejo prakso in se usposabljujejo v podjetjih in drugih organizacijah v tujini, da bi pridobili nova poklicna znanja, iz-

kušnje, spretnosti, spoznali nove delovne navade in organizacije, ljudi. Sodelujejo lahko vsi, ki se želijo usposabljeni za svoj poklic ali pridobiti nova znanja. Višina sofinanciranja usposabljanja je odvisna od ciljne skupine, trajanja usposabljanja in države, kjer poteka usposabljanje.

Druga skupina projektov je *prenos inovacij*, ki podpirajo prenos inventivnih in kakovostnih rešitev, vsebin, novih učnih pripomočkov, metod in praks v poklicnem izobraževanju in usposabljanju (prenos inovacij v eno ali več držav) in ki navsezadnje pripomorejo k privlačnosti poklicnega izobraževanja.

V okviru tega projekta se najprej določijo in analizirajo potrebe uporabnikov poklicnega usposabljanja v neki dejavnosti in se potem izberejo tiste inventivne vsebine in rešitve, ki ustrezajo tem potrebam; nove vsebine in rešitve se morajo prilagoditi potrebam uporabnikov in ciljnim skupinam v posameznih državah, da bi bile prenosljive. In namen tega projekta? Tako naj bi med drugim dobili izboljšane izobraževalne programe in nove ter certificirane programe usposabljanja, dosegli boljšo povezanost med izobraževalnimi centri, podjetji in socialnimi partnerji in seveda spodbudili nove oblike sodelovanja.

V letu 2008 pa je bila v program Leonardo da Vinci vključena še ena oblika projektov – *partnerstva*, ki bodo povezovala izobraževalne organizacije, podjetja in socialne partnerje, ki so sicer administrativno manj zahtevni, pripeljejo pa do oprijemljivih rezultatov, ki so lahko uporabljani tudi pozneje, kot so npr. dolgoročneje oblike sodelovanja med partnerji, izdelava skupnih izdelkov – npr. konstrukcije, tehnične naprave, stroji, skupni programi izobraževanja in poklicnega usposabljanja v neki dejavnosti in izdelava skupnih študij. Vsebina takega projekta se mora nanašati na tematiko poklicnega in strokovnega izobraževanja in usposabljanja. Partnerstvo mora biti zatorej raznoliko, ne sme vključevati samo šol, temveč mora povezovati tudi podjetja, socialne partnerje in druge organizacije (lahko tudi združenja, zbornice in nevladne organizacije). V partnerstvo morajo biti vključene vsaj tri organizacije iz vsaj treh različnih držav, ki sodelujejo v programu Vseživljenjsko učenje. Vsaka od partnerskih organizacij se prijavi na nacionalno agencijo v svoji državi. Za ta projekt se priznajo pavšalni zneski financiranja, kar je odvisno od števila mobilnosti.

Vsi trije tipi projektov trajajo lahko najdlje dve leti.

Po končanem usposabljanju udeleženci dobijo certifikat ali drugo ustrezno potrdilo o uspešno opravljenem usposabljanju oz. praksi. Po mnenju nacionalne agencije CMEPIUS postanejo udeleženci, ki so si pridobili praktične izkušnje v okviru teh projektov usposabljanja, lažje zaposljivi in konkurenčni pri iskanju zaposlitve. Vsaka organizacija, ki prijavlja projekt, mora imeti osebo, koordinatorja, ki pripravi projekt mobilnosti, poišče ustrezno organizacijo v tujini, ki bo sprejela udeležence, ter sodeluje pri pripravi programa usposabljanja. Po odobritvi projekta koordinator poskrbi tudi za pripravo udeležencev ter spremlja potek usposabljanja. Pri iskanju ustreznega tujega partnerja – organizacije, ki bo sprejela udeleženca na usposabljanje oz. prakso, lahko našim organizacijam pomaga tudi naša nacionalna agencija CMEPIUS.

Na Gospodarski zbornici Slovenije je v okviru Centra za konkurenčnost za obveščanje o vseh javnih razpisih ter javnih naročilih odgovorna Jadranka Marasovič, ki spremlja objavo številnih razpisov, zanimivih za podjetja iz različnih dejavnosti; seznam razpisov z ustreznimi informacijami razpisov in njihov vsebin ter javnih naročil je sproti objavljen na spletni strani GZS (<http://www.gzs.si/slo//38649>). Ravno zaradi gornje ugotovitve –, da se podjetja premalo poslužujejo projektov mobilnosti iz programa Leonardo da Vinci, Marasovičeva pravi, da bo GZS te projekte še bolj promovirala med svojimi članicami in skupaj s strokovnjaki nacionalne agencije v okviru delavnic, ki bodo potekale na GZS, približala podjetjem vsebino, cilje in možnosti projektov. V ta namen je tudi sistematično strnila, uredila in prevedla zahtevano razpisno dokumentacijo, potrebno za program Leonardo da Vinci.

Tudi v nekaterih tekstilnih podjetjih, ki smo jih povprašali, ali vedo o možnostih vključevanja v projekte Leonardo da Vinci, o tem niso bili seznanjeni; po besedah njihovih kadrovikov pa bi z veseljem izkoristili možnosti praktičnega in strokovnega usposabljanja v tujih organizacijah za svoje zaposlene.

Podrobnejša predstavitev omenjenih projektov v okviru programa Leonardo da Vinci je objavljena na spletni strani nacionalne agencije CMEPIUS (Center za mobilnost in evropske programe iz-

obraževanja in usposabljanja Slovenije): [www.cmepius.si](http://www.cmepius.si). Podjetja se lahko v zvezi s konkretno oz. operativno pripravo prijave na omenjene projekte Leonardo da Vinci obrnejo tudi na gospo Jadranko Marasović, GSZ, Center za konkurenčnost, tel.: 01 589 84 84; e-naslov: [jadranka.marasovic@gzs.si](mailto:jadranka.marasovic@gzs.si).

Anica Levin

## Prejeli smo: Življenjskemu jubileju prof. dr. Antona Peterlina na rob

Ko sem v prejšnji številki *Tekstilca* zasledil zanimiv prispevek V. Bukoška ob 100. obletnici rojstva slovenskega fizika Antona Peterlina, mi je prišlo na misel zanimivo srečanje s tem našim mednarodno uveljavljenim strokovnjakom, ki sem ga doživel sredi 70. let prejšnjega stoletja v ruskem mestu Kalinin (zdaj Tver). Udeležil sem se odmevnega mednarodnega simpozija o kemičnih vlaknih, ki ga je organiziral tamkajšnji zvezni inštitut za umetna vlakna.

Med številnimi udeleženci iz vsega sveta je posebno pozornost zbujala delegacija iz ZDA, ki je ni vodil nihče drug kot prav prof. dr. Anton Peterlin. Ko sem na seznamu udeležencev zagledal njegovo ime, sem takoj vedel, kdo je to. Sloko postavio profesorja z visokim čelom in sivimi, na prečo počesanimi lasmi sem dobro poznal še iz študijskih časov. Ko sem ugotovil, da sva med nekaj sto udeleženci edina Slovenca, sem sklenil, da se mu moram približati in ga vsaj pozdraviti, čeprav je v meni še ostalo nekaj strahospoštovanja do nekdanjega strogega profesorja.

Do prof. Peterlina ni bilo lahko priti, ker je veljal za najuglednejšega gosta na simpoziju in je bil zato ves čas obdan s številnimi predstavniki gostitelja, do njega pa je želelo priti tudi veliko tujcev. Izkoristil sem priložnost in se mu drznil približati, ko si je med nekim odmorom pripravljaval diapozitive za predavanje, ki je sledilo. „Dober dan, gospod profe-

sor!“ sem ga pozdravil v jasni slovenščini. Malo je manjkalo, da mu niso padli diapozitivi iz rok, s takim presenečenjem se je obrnil proti meni. „Ja, kdo ste pa vi?“ me je povprašal v lepem maternem jeziku. „Eden tistih nefizikov, ki so se pred leti na Jamovi ulici precej prepotili, da ste jim dali šestico iz fizike,“ sem odgovoril v nekoliko šaljivem tonu (V mojih časih je bilo namreč znano, da je pri strogem profesorju Peterlinu imela iz fizike večina tistih, za katere je bil to stranski predmet, le dve možnosti: ali si padel ali pa si dobil šestico). Led je bil prebit: profesor se mi je na široko nasmehnil in se takoj spustil z mano v živahen pogovor, tako da so ga organizatorji morali vljudno opomniti, da se bliža začetek predavanja.

Obljubiti sem mu moral, da se po izteku programa tistega dne dobiva v njegovem hotelu in se tam v miru pogovoriva o vsem, kar naju je zanimalo: mene njegove raziskave s področja nadmolekularne strukture kemičnih vlaken, njega pa praktične izkušnje iz proizvodnje poliamidnih vlaken, ki sem si jih nabral v Julonu. Ne vem, kako mu je uspelo prelistati člane protokola gostitelja, ki so ga spremljali skoraj na slehernem koraku. „Sem se jih vsaj malce rešil,“ mi je z zadovoljstvom priznal, ko me je pozdravil na vratih svoje hotelske sobe. Opravičil se je nad sila skromnim standardom sicer najboljšega hotela v provincialnem Kalininu (ni mi mogel z ničimer postreči, iz okornih PVC-napeljav v sanitarijah je ves čas curljala voda ...), kar pa naju potem, ko sva se hitro zatopila v dolg, živahen pogovor, ni nič več motilo.

Sogovornik je priznal, da ga je najprej razveselilo že to, da se je po daljšem času lahko spet razgovoril v domačem jeziku, močno pa se mu je razvezal jezik tudi potem, ko je dokaj podrobno razlagal o vzornem timskem delu, ki ga je bil deležen na inštitutu CLD, kjer so razvili takrat že mednarodno uveljavljen mikrofibrilni model strukture vlaknotvornih polimerov. Godilo mu je, ko sem mu povedal, da so te njihove raziskave dokaj dobro poznane tudi pri nas, in kako lepo bi bilo, če bi takrat, ko smo v vsakodnevnih problemih vlaknarske proizvodnje nič kolikokrat naleteli na teoretično ne dovolj pojasnjene „sive cone“, imeli pri sebi strokovno tako visoko podkvano skupino, kot je bila njegova v ZDA. Priznal je, da bi bilo to zanimivo tudi zanj, saj se je večina dognanj, ki so jih dosegli, odvila na laboratorijski ravni, premalo pa so imeli možnosti za njihovo preverjanje v industrijski praksi.



Na koncu sva se dogovorila, da se ob prvi priložnosti, ko bo prišel spet domov, srečava tudi v Ljubljani, kar bi lahko bilo v obojestransko strokovno korist.

Žal se to pozneje ni zgodilo. Profesor Peterlin je namreč takrat, ko sva se srečala v Kalininu, že zapustil omenjeni inštitut v Severni Karolini („Potem, ko smo strokovno veliko dosegli in se nekako ‚izpeli‘, smo se mirno razšli,“ je dejal.) in se preselil na Nacionalni biro za standardizacijo v Washingtonu, kjer pa mu delo v večtisočglavi zbirokratizirani ustanovi ni bilo preveč pri srcu.

Osebnostno mi je ostalo srečanje z velikim znanstvenikom trajno v spominu ne le zato, ker mi je v Kalininu takrat, ko je okolica uvidela, da se z uglednim gostom skorajda prijateljsko pogovarjam v njim sicer ne povsem razumljivem jeziku, precej zrasel ugled, temveč bolj zato, ker sem se lahko zblížal s človekom slovenskega rodu, ki so mu v tujini uspeli strokovni dosežki na visoki mednarodni ravni.

Štefan Trajbarič

## Dan akreditacije 2008

Dan akreditacije je letno srečanje strokovnjakov in sodelavcev s področja akreditacije. Letošnje, že 10. po vrsti, se je odvijalo 12. novembra na Brdu pri Kranju. Naslov posveta, ki se ga je udeležilo med 200 in 300 strokovnjaki s tega področja, je bil *Paket za proizvode*. Organizator 10. Dneva akreditacije je bila – tako kot vsako leto – Slovenska akreditacija (SA), ki je srečanje organizirala z največjo možno mero profesionalnosti in strokovnosti. Na dogodek so povabili deset predavateljev, od tega osem iz Slovenije (mag. Vinka Soljačič, MG; dr. Boštjan Godec, SA; dr. Nineta Majcen, MIRS; mag. Jure Čizman, SA; mag. Tanasko Tasić, Metrel; dr. Katja Otrin Debevc, SA; Gorazd Opaškar in Jožica Škof Nikolič, SIST) ter po enega iz Belgije (dr. Philip Taylor, IRMM) in Avstrije (dr. Aleš Fajgelj, IAEA). Izbor predavateljev je bil nekoliko ponesrečen, saj mnogi izmed njih niso imeli zadostnega znanja retorike, ki je za podajanje tako zahtevne teme ključnega pomena. Udeleženci posveta pričakujejo jasno in razumljivo predstavitev novosti. Mnogi izmed predavateljev na tem akreditacij-

skem dnevu pa so govorniški oder zasedali neupravičeno ali pa je bila njihova tema zanimiva le za zelo ozek del stroke, najpogosteje je bil to kemijski laboratorij.

Med vsemi strokovnjaki, ki so se zvrstili za govorniškimi pultom, pa je treba predstaviti svetlo izjemo. To je bila dr. Nineta Majcen z Urada RS za meroslovje (MIRS), ki je kljub ozkosti področja predavanje naredila zanimivo in interaktivno, za kar zasluži vse pohvale. Predavanje dr. Ninete Majcen z naslovom *Prispevek akreditacije k zagotavljanju merilnih rezultatov ustrezne kakovosti* je vsebovalo precej izzivalnih prosojnic, ki so poslušalce ves čas držale v negotovosti, in mnogi so iskali pravilni odgovor na zastavljeno vprašanje. Bistvo predavanja je bilo, da višja merilna negotovost ni nujno vedno tudi najboljša. Časovno je potratna in cenovno dražja, predvsem pa nesmiselna v primerih, ko je naročnik analize niti ne zahteva. Popolno nasprotje dobrega in zanimivega prispevka dr. Majcnove je bil nastop mag. Vinke Soljačič z Ministrstva za gospodarstvo, Direktorata za notranji trg. Glede na dobro zastavljeni naslov predavanja *Paket za proizvode – akreditacija* si je slušatelj predstavljal, da bo v tem delu dobil konkretne in predvsem uporabne informacije o poteku potrjevanja usklajenega besedila COREPER 1 in pisma o EP-IMCO, sprejetega in potrjenega dne 13. 2. 2008. Lahko si mislim, da so tovrstni sestanki naporni in da zahtevajo takšne teme od posameznika veliko mero prizadevnosti. Toda pri omenjeni strokovnjakinji je primanjkovalo jasnih in uporabnih informacij. Uporabne informacije so tisto, kar vodi nekoga, da se udeleži strokovnega srečanja. To je še posebno velikega pomena, če je za tako srečanje treba plačati kotizacijo.

Mnogi se verjetno ne boste strinjali z napisanim. Spoštovana gospa in tudi njen naslednik na govorniškem odru, mag. Tanasko Tasić, s predavanjem, ki je imelo sicer zanimiv in obetaven naslov *Programska oprema v laboratorijih: validacija & verifikacija – zakaj, kaj, koliko in kdaj (če sploh)*, udeležencem posveta vsekakor nista podala pričakovanih informacij. Tovrstna predavanja pri nadaljnjem delu na področju akreditiranja zagotovo nikomur niso v prav veliko pomoč.

Celotni program in predavanja z 10. Dneva akreditacije so dosegljivi na spletnem naslovu <http://www.sa.gov.si/teksti-1/slo/da2008.htm> (24. 11. 2008). Še enkrat pa bi rad poudaril, da ima od tega,

kar je ponudil organizator, uporabno vrednost le predavanje že omenjene avtorice dr. Ninete Majcen, ki je tudi edina dosledno uporabljala knjižno slovenščino. Na žalost so drugi slovenski predavatelji večinoma uporabljali tujke, neposredno prevedene iz angleščine ali katerega izmed drugih svetovnih jezikov. Vendar pa to še niti ni tako zelo sporno kot dejstvo, da se na strokovnem posvetu s področja zagotavljanja kakovosti povabljeni predavatelji ne potrudijo niti toliko, da bi predstavitev prevedli iz angleščine v slovenščino oz. odpravili slovnične napake in s tem dvignili raven kakovosti predavanja oz. samega posveta. Predavanje v slovenskem jeziku, med katerim pa je v ozadju predstavitev na prosojnicah v angleškem jeziku, je moteče, predvsem pa nestrokovno in nespoštljivo do poslušalcev. Pri takšnem predavanju je že na prvi pogled jasno, da je avtor to predstavitev uporabil že na mnogih srečanjih s podobno tematiko, tudi v tujini. Predavatelju bi to moralo celo pomagati, da bi s svojim znanjem lahko oblikoval kakovostnejše in bolj zvezno predavanje, z bolj jasnim pregledom nad celoto. To predavanje pa je bilo ena sama velika improvizacija, katere davek smo plačali poslušalci in iskalci oprijemljivih informacij. Takšno predavanje se običajno razvleče čez dodeljeni čas in postane dolgočasno, kar je mogoče zaznati kot povečevanje hrupnosti v dvorani, saj se udeleženci začnejo pogovarjati med seboj, nekateri celo po mobilnih telefonih, ne da bi predhodno zapustili kongresno dvorano [1]. Mnoga vprašanja, na katera sem pričakoval odgovore na tem posvetu, so ostala nepojasnjena. Tako npr. nismo izvedeli niti, kaj je akreditacija, za kaj se uporablja, komu je namenjena, kaj obsega, kakšen vpliv ima na trg ipd. Odgovori na zastavljena vprašanja so navedeni v nadaljevanju in pojasnjujejo osnovne termine, zbrane na enem mestu. Obenem pa bodo v pomoč vsem tistim, ki se s področjem akreditacije šele seznanjate in od vas pričakujejo, da že na začetku veste vse, kar je povezano z omenjeno tematiko. Nekaj podobnega se je pred leti zgodilo meni.

### *Kaj je akreditacija?*

Akreditacija je po definiciji proces, v katerem overimo oz. potrdimo merodajnost, ugled ali verodostojnost storitev, npr. zanesljivost in ponovljivost izvedenih meritev. Akreditacija je sistem uradne prepoznavnosti, ki ga organizacija (npr. laboratorij) ima oz. si ga pridobi s postopkom, izvedenim

z notranjimi in zunanji sodelavci Slovenske akreditacije – v primeru usklajenosti s predpisi, zakoni in standardi. Akreditacija je postopek, namenjen nenehnemu izzivu in izboljšanju, npr. laboratorijskih postopkov, in to tako s periodičnimi procesi notranje presoje kakovosti sistema kot tudi z ustreznim preventivnim ukrepanjem. Akreditacija obsega vse vidike laboratorijskih operacij, vključujoč delo vodstva in osebja, znanstvenoraziskovalno dejavnost ter opremo. Laboratoriji v EU-ju so podvrženi številnim nacionalnim, državnim in lokalnim zahtevam, ki so izjemno zapletene ter so težko nadzorljive in obvladljive. Pojem akreditacije zajema neke vrste zemljevid, ki nas vodi skozi omenjeni labirint dokumentacije in postopkov, ter obenem zagotavlja učinkovitejši nadzor trga, predvsem s stališča zaščite potrošnikov in uporabnikov pred nevarnimi in zdravju škodljivimi vplivi proizvodov. Hkrati akreditacija tudi pozitivno vpliva na povečevanje kredibilnosti in jasnosti označevanja z oznako CE. Vzvodi zagotavljanja kakovosti so bili zasnovani predvsem zaradi vzpostavitve odgovornosti in zaupanja v opravljene meritve oz. storitve ter predstavljajo osnovo tržnega gospodarstva, odprtega za vzajemno delovanje, in varujejo potrebe gospodarstva ter skupnosti [2]. V Evropski uniji in njeni okolici je registriranih 38 akreditiranih teles. Izstopata predvsem Nemčija, ki ima kar štiri (DACH, DAP, DKD, TGA), in Italija s tremi (SINAL, SINCERT, SIT – Servizio di taratura in Italia) akreditacijskimi telesi. To je zanimiv podatek, če vemo, da je na nacionalni ravni lahko le en akreditacijski organ, medtem ko so preostali certifikacijski [3]. Osnovo vsem akreditacijskim telesom predstavljajo naslednji zakoni in standardi:

- Zakon o akreditaciji (ZAKr),
- laboratoriji ISO/IEC 17025, ISO 15189,
- nadzor ISO/IEC 17020,
- overitev proizvodov EN 45011 (ISO-vodilo 65),
- overitev osebja ISO/IEC 17024,
- overitev QMS (Quality Management Scheme) in ISO/IEC 17021,
- overitev EMS in ISO/IEC 17021,
- nadzor in uredba EMAS (Environmental Management and Audit Scheme).

Prednosti akreditacije imajo: [4]

- *vladne organizacije*: akreditacija je preferenčni mehanizem za zagotavljanje zaupanja javnosti v zanesljivost in učinkovitost vladnih resorjev,

kot so zdravstvo, javni blagor, finančna in osebna varnost ter okolje. Akreditacija se v naštetih primerih uporablja za legitimacijo pristojnih organov, ki izvajajo vladne uredbe, predpise in zakone;

- *industrija*: akreditacija predstavlja v industriji ključni dejavnik pri sprejemanju tveganih odločitev vodstva. Organizacija lahko na podlagi akreditacije prihrani čas in denar, posledično pa postane na trgu poznana kot zanesljiv dobavitelj s sklicem „testirano ali potrjeno enkrat, priznано oz. odobreno povsod“. Točnost meritev, opravljenih v skladu z najboljšo možno prakso, omeji izpad in nadzor proizvodnje, stroškov ter pospeši razvoj intelektualne lastnine, zapisane v patentih;
- *akreditacijske organizacije*: akreditacija je objektivni dokaz, da organizacija izpolnjuje zahteve najboljše prakse. Sistem je mednarodno priznan in poznan ter se uporablja za zagotavljanje visokega nivoja kakovosti in učinkovitosti;
- *potrošniki*: akreditacija povečuje potrošnikovo zaupanje in nenehno rasto nivoja kakovosti proizvodov ali storitev.

Pojem akreditacije kljub vsakoletnemu posvetu ostaja bolj ali manj nepojasnen – to pa zato, ker ima vsakdo izmed udeležencev svojevrstne težave pri usklajevanju dnevne prakse s standardi, predpisi, uredbami, direktivami in zakoni o akreditaciji, kar pa ne sme biti vodilo, da se je ne lotimo in je ne poskušamo vpeljati v delovno organizacijo.

#### Literatura in viri

1. *Slovenska akreditacija*. Zbornik predstavitev in predavanj, 10. posvetovanje o akreditaciji, Dan akreditacije '08, Brdo pri Kranju, 12. 11. 2008.
2. PAVLIN, B. Akreditacija je čedalje pomembnejša. *Delo FT, FT-TEMA: Kakovost*, 30. 6. 2008, str. 21.
3. European co-operation for Accreditation, <<http://www.european-accreditation.org/content/database/Links.mpi>>, 26. 11. 2008.
4. European co-operation for Accreditation, *Confidence in competence*, <[http://www.european-accreditation.org/content/communication/EA\\_Brochures/Brochure\\_European%20co-operation\\_approved.pdf](http://www.european-accreditation.org/content/communication/EA_Brochures/Brochure_European%20co-operation_approved.pdf)>, 28. 11. 2008.

Klemen Možina

## 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 jedrnato. 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., NIKOLIČ, 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 plemenite-*

*nja 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>>.

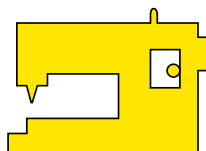
#### Spletne strani

- 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/>





**RIGO d.o.o.** Komen, Slovenija

**PRODAJA – SERVIS ŠIVALNIH STROJEV IN OPREME**

Komen 59, 6223 Komen • Tel.: +386 5 731 85 10, +386 5 731 85 12, +386 5 731 85 13 • Fax: +386 5 731 85 18  
E-mail: info@rigo.si, rigo@siol.net • Web site: www.rigo.si



SWF/E-T1201C

## NOVO

### VEZILNI AVTOMATI SWF

Dosedanjemu prodajnemu programu vezilnih avtomatov smo dodali še kompletan asortiman strojev SWF. Stroje odlikuje predvsem dobra kakovost in zelo konkurenčna cena. Preizkušeni so na evropskem tržišču. Zagotovljen servis in rezervni deli!

*Predstavitev SWF na [WWW.RIGO.SI](http://WWW.RIGO.SI)  
(vezilni avtomati)*

### NEKAJ OSNOVNIH MODELOV STROJEV:

- **SWF-E** – klasičen cilindrični vezilni avtomat (1, 2, 4, 6 in 8 glav)
- **SWF-E-C small** – verzija cilindričnih strojev (majhne dimenzije stroja)
- **SWF-DUAL** – cilindrični vezilni stroj z dvojnimi delovanjem „dual sistem“
- **SWF-E-W** – klasičen „flat“ – raven stroj brez možnosti vezanja na kape
- **SWF-E-W-SMALL** – „flat“ vezilni stroji majhnih dimenzij
- **SWF-MA-6** – 1 glava, 6 igel, specialni stroj za majhne proizvodnje

## NOVO

SWF, serija DM – stroj s 1500 obrati, najhitrejši stroj na svetovnem tržišču.



DUAL-E-UH-1506D-45





www.imb-cologne.com

# IMB 2009

## WORLD OF TEXTILE PROCESSING

with IMB FORUM  
KÖLN,  
21. – 24. APRIL 2009

**Prihranite čas in denar!**

Registrirajte se in kupite sejemsko  
vstopnico online: [www.imb-cologne.com](http://www.imb-cologne.com)

### Spoznajte, kaj se dogaja v tej gospodarski panogi!

Svet tekstilne predelave je tako raznolik, kompleksen in inventiven, kot ni bil nikoli doslej. Zatorej obiščite vsekar globalni vodilni sejem IMB 2009 v Kölnu, saj boste tam dobili celovit vpogled v novosti, ki so pomembne za to gospodarsko panogo. V Kölnu bodo vsi izdelovalci iz celotne tekstilne in konfekcijske panoge našli najboljšo ponudbo tehnologije in vseh storitvenih dejavnosti za obdelavo spremenljivih materialov.

Izkoristite številne

inovacije, informacije in interakcije, ki vam jih nudi zavidljiv okvirni program z naslednjimi poudarki:

- Kongres «IMB forum» z začetno manifestacijo «future talk»
- Speakers' Corner
- IMB Innovation Award

Discover new horizons – dobrodošli na IMB 2009!

Discover new horizons!

**+++ Fashion, Technical Textiles, Leather +++ Information Technology, Logistics +++**

Vse dodatne informacije, Generalno predstavništvo Koeln Messe za Hrvaško, Slovenijo, Bosno in Hercegovino ter Makedonijo  
BRANDT d.o.o., Prof. Jasna Brandt, Reljkovičeva 2, HR-10000 ZAGREB  
Tel. 00385/1/37 70 333, Fax 00385/1/37 02 173  
[brandt@inet.hr](mailto:brandt@inet.hr), [brandt-info@mail.inet.hr](mailto:brandt-info@mail.inet.hr)

 koelnmesse  
we energize your business