

doc. dr. **Urša Stankovič Elesini**, univ. dipl. inž.<sup>1</sup>

**Emil Knez**, univ. dipl. inž. kem.<sup>2</sup>

mag. **Mirjam Leskovšek**, univ. dipl. inž.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: ursa.stankovic@ntftex.uni-lj.si; mirjam.leskovsek@ntftex.uni-lj.si;

<sup>2</sup> Aero d.d., Ipavčeva 32, SI-3000 Celje; emil.knez@aero.si;

## Vgrajevanje mikrokapsul v tekstilna vlakna

*Članek opisuje uporabo mikrokapsul v tekstilni industriji, osredotoči pa se tudi na probleme pri vgrajevanju mikrokapsul v tekstilna vlakna. V začetnem delu je sprva opisana definicija mikrokapsul, ki mikrokapsule predstavi kot mikronske delce, sestavljene iz tekočega, trdnega ali plinastega jedra in zaščitne stene (ovojnice), ki je glede na namen uporabe mikrokapsul lahko prepustna ali neprepustna. Na splošno so podani postopki tehnologije izdelave mikrokapsul ter pogoji, ki so potrebni, da se snov lahko mikrokapsulira. Potem se prispevek osredotoči na vgrajevanje aktivnih substanc v vlakna v kapsulirani in nekapsulirani obliki. Na kratko predstavi vgrajevanje mikrokapsul s PCM jedrnimi materiali v akrilna vlakna in vgrajevanje mikrokapsul v polipropilenska vlakna, izdelana na Oddelku za tekstilstvo Ljubljani. Pri vgrajevanju mikrokapsul v vlakna so hkrati navedeni problemi, ki se nanašajo na združevanje mikrokapsul v skupke in obstojnost mikrokapsul na visoko temperaturo ter pritisk. Prav tako je opisana aplikacija mikrokapsul na druge tekstilije v sklopu barvanja, tiskanja in plemenitenja. Predstavljeni so številni primeri.*

**Ključne besede:** mikrokapsule, tekstilije, vgrajevanje v vlakna, združevanje v skupke

### Incorporation of Microcapsules into Textile Fibres

*The paper presents the usage of microcapsules in the textile industry, and points to the problems occurring during incorporation of microcapsules into textile fibres. The article starts with the explanation of the definition of microcapsules: microcapsules are microscopic particles composed of a liquid, solid or gaseous core and a protective wall (sheath) which can be permeable or impermeable, depending on purpose. Technology processes of producing microcapsules and the conditions required for microencapsulation are presented. The paper deals with incorporation of active substances into fibres in encapsulated or non-encapsulated form and gives a short description of incorporation of microcapsules with PCM core materials into acrylic fibres and polypropylene fibres produced at the Textiles Department. Problems, which occur during incorporation of microcapsules into fibres, such as conglomeration of microcapsules and stability of microcapsules at high temperature and pressure are presented. At the end, the application of microcapsules on other textiles during dyeing, printing and finishing is described and many examples presented.*

**Key words:** microcapsules, textiles, incorporation into fibres, conglomeration

### 1.0 UVOD

Oblačilo, ki pod različnimi vplivi iz okolja spremeni barvo? Oblačilo, v katerem nas nikoli ne zebe

in nam ni nikoli prevroče? Zavesa, ki iz prostora odstranjuje vonj po cigaretah? Hlačne nogavice, ki razgrajujejo dlake? Obutveni vložki, ki oddajajo prijeten vonj?

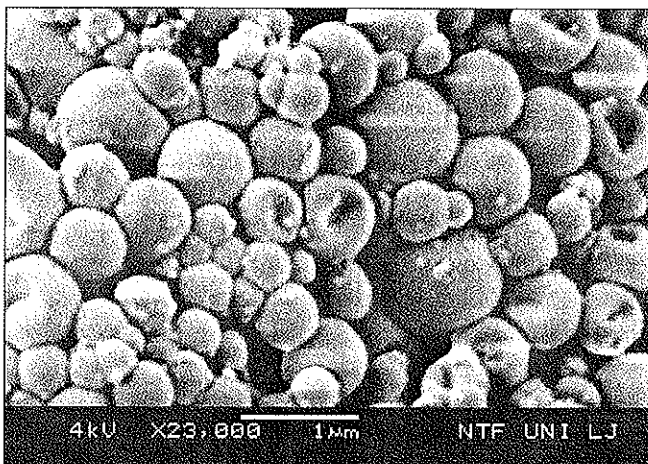
Vse to in še več je že realnost in je že na trgu. Razvoj inteligentnih tekstilij je z zahtevnostjo sodobnega potrošnika čedalje hitrejši in velikokrat temelji na povezovanju dveh, sprva na prvi pogled zelo različnih raziskovalnih področij, ki pa najdeta stičišče v posebnih izdelkih, za katere sta potrebna znanje in tehnologija obeh.

Inteligentne tekstilije (ang.: *smart textiles*) lahko v združujejo večnamenskost ali imajo določeno specifično lastnost, kar jim omogočajo različni dodatki (pigmenti, zaviralci ognja, antibaktericidna sredstva, dišave itd.), ki so naneseni na površino tekstilij ali vgrajeni v tekstilna vlakna. Takšni dodatki so tudi mikrokapsule.

Članek povzema primere aplikacij mikrokapsul na tekstilije in nekoliko podrobneje opiše prednosti in pomanjkljivosti vgrajevanja le-teh v tekstilna vlakna.

## 2.0 MIKROKAPSULE

Mikrokapsule so mikronski delci, sestavljeni iz tekoče, trdne ali plinaste snovi (jedro), ki je obdana z zaščitno steno (ovojnico) (slika 1). Odvisno od področja uporabe se mikrokapsule razlikujejo v velikosti, debelini in kemični sestavi ovojnice, mehanizmu sproščanja jedrnega materiala in tehnološkem postopku priprave [1].



**Slika 1:** Mikrokapsule (SEM posnetek, 23.000-kratna povečava).

Kadar ovojnica obdaja tekočo ali plinasto snov, so mikrokapsule okroglih oblik. Če je jedro iz trdnih snovi, pa so mikrokapsule grobe in ponavadi nepravilnih oblik.

Velikost mikrokapsul se giblje med 1 in 1000  $\mu\text{m}$ . Kapsule, ki so večje od 1000  $\mu\text{m}$ , se imenujejo makrokapsule, manjše od 1  $\mu\text{m}$  pa nanokapsule.

Postopek obdajanja jedrnega materiala z ovojnico se imenuje mikrokapsuliranje [2]. Postopki mi-

krokapsuliranja se kategorizirajo v tri glavne skupine [1]:

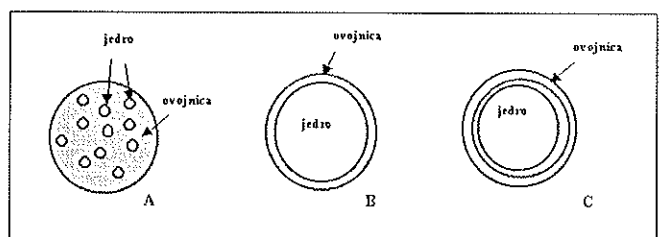
1. mehanski (razpršilno sušenje, centrifugiranje, koekstruzija itd.)
2. fizikalno-kemijski (koacervacijski)
3. kemijski (polimerizacijski ali polikondenzacijski)
  - medpovršinska polimerizacija / polikondenzacija (za pripravo mikrokapsul s poliamidno ali poliuretansko ovojnico)
  - »in situ« polimerizacija / polikondenzacija, ki daje zelo kakovostne mikrokapsule; takšen primer je postopek mikrokapsuliranja z melaminskimi smolami.

S kemijskimi postopki je mogoče mikrokapsulirati tako rekoč vsako jedro snov, če le zadošča naslednjim pogojem [1]:

- da ni topna v nosilnem mediju
- da kemijsko ne reagira s stenskim materialom ali vpliva nanj
- da se v nosilnem mediju ustrezno dispergira
- da prenese spremembe pH vrednosti, temperature in koncentracij pri postopku mikrokapsuliranja.

Glede na zgradbo ločimo tri vrste mikrokapsul (slika 2):

1. mikrokapsule z več jedri in enoplastno, neprekinjeno ovojnico [3]
2. mikrokapsule z enim jedrom in enoplastno, neprekinjeno ovojnico [3]
3. mikrokapsule z enim jedrom in večplastno ovojnico (prva plast uravnava prepustnost aktivnih sredstev z majhnimi molekulami, druga uravnava mehansko stabilnost, tretja plast ohranja združljivost med prvo in drugo plastjo). [4]



**Slika 2:** Različna zgradba mikrokapsul;

- A – mikrokapsula z več jedri in enoplastno ovojnico,  
 B – mikrokapsula z enim jedrom in enoplastno ovojnico,  
 C – mikrokapsula z enim jedrom in večplastno ovojnico.

Jedro mikrokapsule predstavlja 70–90 ut. % celotne mikrokapsule in je lahko sestavljeno iz ene ali več aktivnih substanc tekoče, trde ali plinaste snovi:

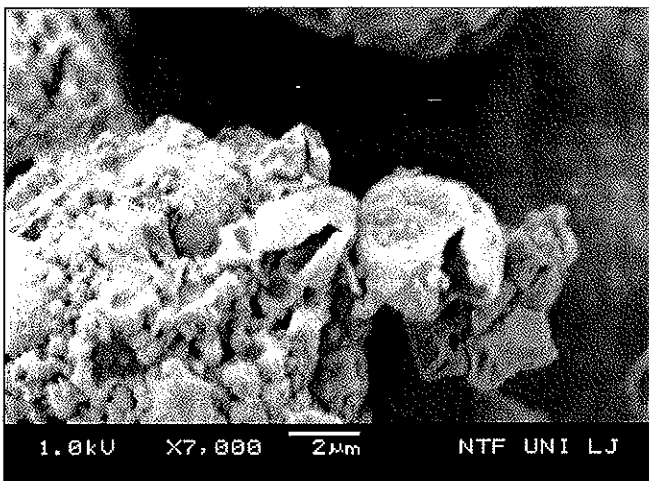
- topila (benzen, toluen, cikloheksan, parafini, estri, etri, alkoholi, voda ipd.)

- mehčala (ftalati -, klorirani ogljikovodiki, silikoni ipd.)
- kisline in baze (borova kislina, močne baze in amini ipd.)
- katalizatorji (oksidanti, reducirajoči agenti ipd.)
- barvila (pigmenti in barvila, predvsem leuko barvila za brezsajni kopirni papir ipd.)
- dišave (mentol, arome in druge dišave posebnih sestav ipd.)
- hrana (olja, maščobe, začimbe in dišave ipd.)
- sredstva, ki se uporabljajo v kmetijstvu (insekticidi, herbicidi, pesticidi ipd.)
- zdravila in druge sestavine, ki se uporabljajo v farmaciji (aspirin, vitamini, aminokislina ipd.) itd.[2].

Ovojnico mikrokapsul sestavljajo:

- naravni materiali (agar, guma, natrijev ali kalcijev alginat, maščobe in maščobne kisline, gluten, želatina idr.)
- polsintetični materiali (celulozni acetat, nitroceluloza, etilceluloza, hidrosipropilceluloza idr.)
- sintetični materiali (akrilni polimeri in kopolimeri, aluminijev monostearat, poliamidi, polikarbonati, poliestri, polistiren ipd.) [2]

Ovojnica mikrokapsul je lahko prepustna ali neprepustna. Neprepustne ovojnice mikrokapsul so lahko ali pa ne obstojne na zunanji pritisk (ovojnica poči, slika 3), visoke temperature (ovojnica se stali ali zgori), svetlobo (ovojnica se razgradi) ter topila ali vodo (ovojnica se izsuši ali raztopi). Glede na namen uporabe se izberejo mikrokapsule z ustrezno ovojnico. Tako se npr. za jedrne PCM materiale (ang.: *Phase Change Material*) uporabljajo mikrokapsule z ovojnico, ki je neprepustna, hkrati pa



Slika 3: Razpok ovojnice mikrokapsule (SEM posnetek, 7.000-kratna povečava).

tudi obstojna na mehanske poškodbe, višje temperature in biorazgradnjo. Nasprotno se za zdravila uporabljajo mikrokapsule z neprepustno ovojnico, ki se raztopi pri ustrezni pH vrednosti ter tako omogoči sprostitvev jedrnega materiala na mestu, kjer je zaželeno [5]. Pri prepustni ovojnici se aktivne substance jedra sproščajo počasi ali zadrževalno.

Prednosti mikrokapsuliranja je veliko:

- s tekočinami lahko ravnamo kot s trdimi snovmi,
- vonj in okus sta zakrita,
- jedrna substanca je zavarovana pred vplivi iz okolja,
- strupene snovi so varno shranjene v jedru,
- sproščanje zdravnih učinkov je kontrolirano in ciljno itd. [6]

### 3.0 PODROČJA UPORABE MIKROKAPSUL V TEKSTILNI INDUSTRIJI

Mikrokapsule so najprej uporabili v papirni industriji za proizvodnjo brezsajnega kopirnega papirja. Kasneje je razvoj novih postopkov mikrokapsuliranja omogočil uporabo mikrokapsul tudi na drugih področjih, kot so npr. agronomija, fotografija, prehrabna industrija, elektronika, telekomunikacije, farmacija, medicina, kozmetika itd.

Tekstilna industrija je sprva zelo počasi raziskovala možnosti uporabe mikrokapsul, medtem ko je danes na tem področju agresivnejša. Sprva so v tekstilne namene mikrokapsulirali barvila in pigmente, mehčala, antistatična sredstva in zaviralce gorenja, kasneje pa so mikrokapsulirali tudi fotokromne in termokromne spojine, insekticide, antimikrobne in vodo-odbojne snovi, eterična olja in sintetične dišave, insekticide, PCM materiale itd. [7]

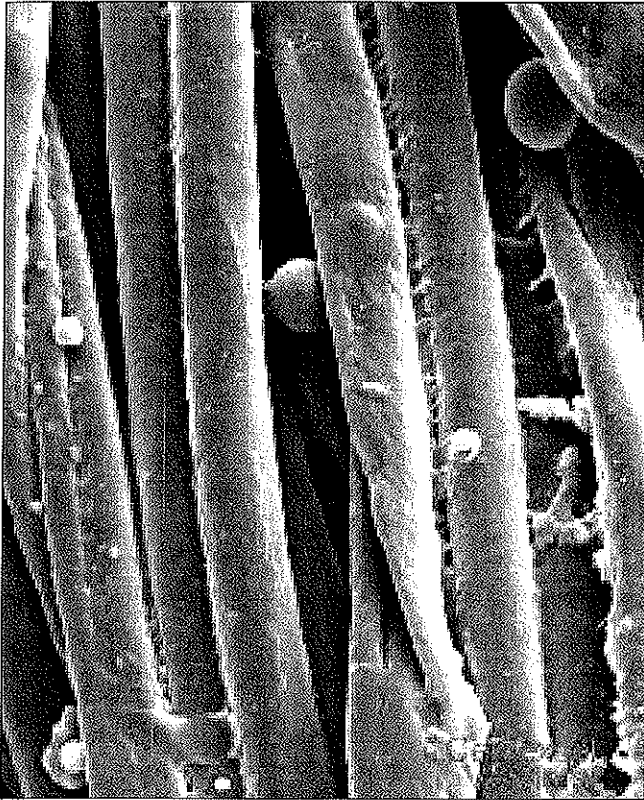
Mikrokapsule se vgrajujejo v tekstilna vlakna med izdelavo ali pa se na vlakna nanašajo z različnimi nanosi. Na druge tekstilije se mikrokapsule nanašajo v postopkih barvanja, tiskanja ali plemenjenja.

#### 3.1 Tekstilna vlakna

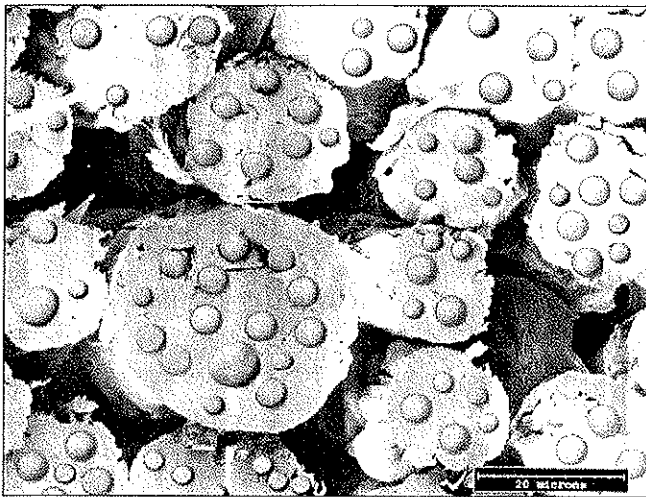
Za doseg želenih lastnosti lahko mikrokapsule nanesemo na vlakno ali pa jih v vlakno vgradimo (sliki 4 in 5).

Vgrajevanje mikrokapsul v vlakna ima pred nanosi določene prednosti [10]:

- mikrokapsule so trajno vgrajene v vlakno,
- vlakna z mikrokapsulami ne zahtevajo spreminjanja postopkov predenja, pletenja ali tkanja in barvanja,
- vlakna ohranijo svoje lastnosti,
- vlakna so večfunkcionalna.



Slika 4: Nanašanje mikrokapsul na tekstilna vlakna [8]

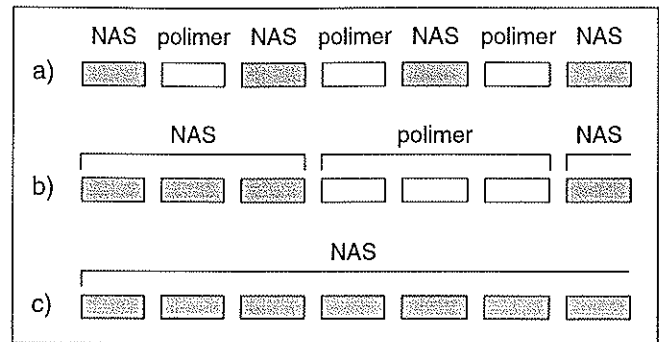


Slika 5: Vgrajevanje mikrokapsul v tekstilna vlakna (Outlast®) [9]

Aktivna substanca se v vlakna lahko vgrajuje v nekapsulirani ali kapsulirani obliki. Pri nekapsulirani aktivni substanci je izbira vrste vlaken kot osnovne matrice za vgradnjo substance veliko večja kot pri kapsuliranih oblikah.

### 3.1.1 Nekapsulirane aktivne substance

Nekapsulirane aktivne substance se vgrajujejo ali dispergirajo v jedro votlih vlaken ali impregnirajo na površino vlaken. Pri tem se lahko vgrajujejo samostojno ali kot kopolimer (slika 6).



Slika 6: Trije načini vgradnje nekapsulirane aktivne substance (NAS) v vlakna.

- a - kot izmenjavajoča se enota polimera,
- b - kot ponavljajoča se enota polimera,
- c - kot samostojni polimer.

Votla vlakna sestavlja plašč, ki ga tvorijo naravni ali sintetični linearni polimeri. Jedro sestavljajo enaki materiali kot pri mikrokapsuliranju. Lahko je v celoti zgrajeno iz aktivnih substanc ali pa je sestavljeno iz homogenih faz, v katerih se aktivna substanca nahaja v obliki raztopine ali suspenzije. Jedro ima za doseganje dobrih mehanskih lastnosti lahko tudi kompozitno strukturo. [11]

Za nanašanje nekapsuliranih aktivnih substanc na površino votlih vlaken se uporabljajo enake substance kot za vgrajevanje v votla vlakna, medtem ko je izbor vlaken, primernih za premazovanje, širši (bombaž, merceriziran bombaž, regenerirana celulozna vlakna, volna, poliamidna vlakna, polipropilenska vlakna, akrilna vlakna itd.). [12]

### 3.1.2 Kapsulirane aktivne substance

Literatura [13] navaja različne vrste aktivnih substanc, ki jih lahko v kapsulirani obliki vgradimo v tekstilna vlakna. Med navedenimi so danes najodmevnejši PCM materiali, tekoči kristalini polimeri, antibakteriološka sredstva, zaviralci ognja itd.

Mikrokapsulirani PCM materiali (npr. nasičeni linearni ogljikovodik eikozan) in tekoči kristalini polimeri (npr. 2,2-dimetil-1,3-propandiol (DMP) in 2-hidroksimetil-2-metil-1,3-propandiol (HMP)) se v obliki disperzije vgrajujejo v osnovne polimerne materiale, kot so poliester, poliamid, poliakrilnitril in modakril. Vlakna se oblikujejo po suhem in mokrem postopku oblikovanja iz raztopine ali z ekstrudiranjem taline. Lastnost PCM materialov je toplotno-regulacijski učinek. PCM mikrokapsule je v poliakrilnitrilna vlakna začel vgrajevati ameriški proizvajalec toplotno-regulacijskih tekstilij Outlast® [14].

V nadaljevanju so prikazani nekateri primeri različnih jedrnih substanc mikrokapsul pri njihovi aplikaciji na / v vlakna [6].

Kanebo je razvil dišeča, deodorantska vlakna Esprit de Fleurs. Mikrokapsule, velike 5-10  $\mu\text{m}$ , ki v jedru vsebujejo različne dišave, se ob ustreznem pritisku pri uporabi razpočijo, prijetna dišava pa posledično sprosti iz jedra. Mikrokapsule se na vlakna nanašajo z vezivom, ki ne vpliva na otip vlaken oz. izdelka. Po podatkih iz literature [15], vlakna Esprit de Fleurs, ki so bila sprva namenjena izdelavi ženskih hlačnih nogavic, kasneje pa se je njihova uporaba razširila na puloverje, jopice, kravate, majice, robčke, nogavice, kimono itd., omogočajo sproščanje arome še dve leti po večkratnem ročnem ali mehanskem pranju ali kemičnem čiščenju.

Za doseganje določenih lastnosti vlaken se v kopel oblikovanja vlaken iz raztopine dispergirajo različni modifikatorji vlaken, kot so npr. ognjevarna, mehčalna in antistatična sredstva ter UV absorberji. Kopeli se doda sredstvo, ki tvori mikrokapsulirano ovojnico na površini dispergiranih modifikatorjev. Z opisanim postopkom se v kopel raztopine za oblikovanje viskoznih vlaken dodaja zaviralec ognja, etilendiamin. Postopek oblikovanja sintetičnih vlaken z vgrajenimi modifikatorji je patentiral japonski proizvajalec Exlan Co. Postopek oblikovanja je soroden postopku oblikovanja poliakrilnitrilnih vlaken iz raztopine, vendar pa se lahko uporablja tudi v proizvodnji poliamida, poliestra in vinilnih polimerov ter celuloznih vlaken.

Na Oddelku za tekstilstvo v Ljubljani smo po postopku oblikovanja iz taline uspešno izdelali polipropilenska vlakna z vgrajenimi mikrokapsulami (slika 7), ki jih izdeluje Aero, d. d. Jedro mikrokapsul sestavlja parafin s tališčem 50 °C. Oblikovanje je potekalo na laboratorijski predilno–raztezalni napravi Extrusions Systems Limited in je zahtevalo posebno pripravo vhodnih komponent za napajanje predilno raztezalne naprave [5].



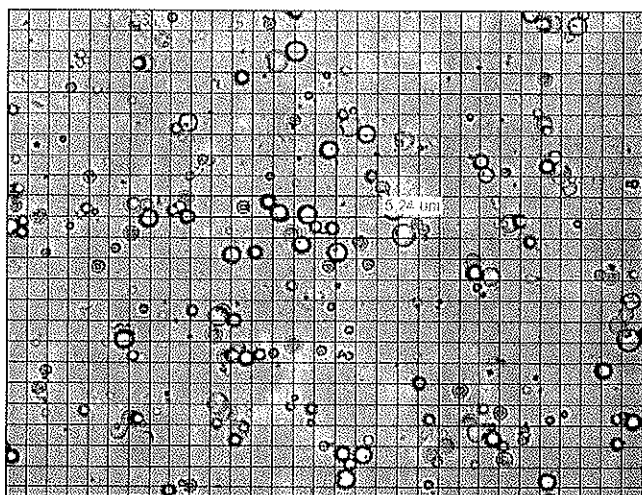
**Slika 7:** Vzdolžni razcep PP vlaken z vgrajenimi mikrokapsulami (SEM posnetek, 2.700-kratna povečava).

### 3.1.3 Težave pri vgrajevanju mikrokapsul v vlakna

Poleg prednosti, ki jo dajejo v vlakna vgrajene mikrokapsule, pa imajo te tudi nekaj pomanjkljivosti. Med najpomembnejšimi je težnja po združevanju v skupke, ki motijo izdelavo vlaken, njihove lastnosti in končni videz. Poleg združevanja v skupke je vprašljiva tudi vzdržljivost mikrokapsul med oblikovanjem, kjer se pojavljata tako visoka temperatura kot tudi visok pritisk. Na omenjene pogoje so občutljive predvsem PCM mikrokapsule, kjer morata tako jedro kot ovojnica mikrokapsule ostati nepoškodovana, saj v nasprotnem primeru lahko pride do izteka in razgradnje jedrnega materiala in s tem do zmanjšanja toplotno-regulacijskega učinka vlaken [5].

#### 3.1.3.1 Združevanje v skupke

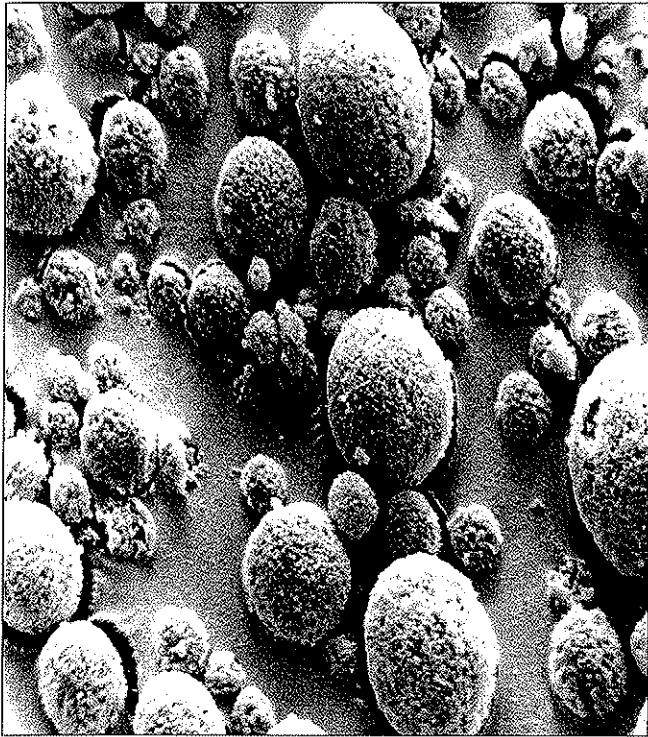
Za ohranitev strukture oblikovanega vlakna velikost skupkov mikrokapsul v vlaknih ne sme presežati 10 odstotkov premera vlaken [4]. Pri oblikovanju polipropilenskih vlaken z vgrajenimi mikrokapsulami je bilo ugotovljeno, da imajo mikrokapsule veliko težnjo po združevanju v skupke. Prvotna vodna disperzija z mikrokapsulami je sicer brez skupkov (slika 8), vendar pa le-ta ni ustrezna za izdelovanje polipropilenskih vlaken. V ta namen je bilo treba mikrokapsule posušiti na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. Žal je bilo s sušenjem povezano tudi združevanje mikrokapsul v skupke (slika 9) [5].



**Slika 8:** Posamezne mikrokapsule v vodni disperziji (optični mikroskop, 1000-kratna povečava).

Postopek zmanjševanja skupkov v delce sprejemljive velikosti teoretično vključuje tri stopnje [16]:

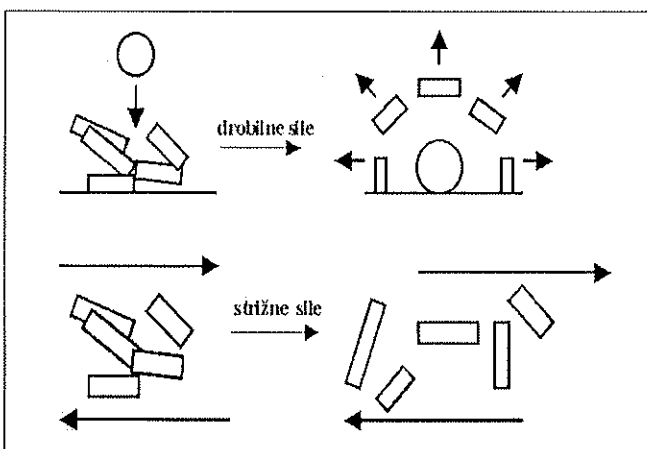
1. *Omakanje površine skupkov* z izbranim tekočim medijem, pri čemer se mejna ploskev med trdnim in zrakom nadomesti z interakcijami tipa trdo-tekoče; zadostno omakanje se doseže z



Slika 9: Združevanje mikrokapsul v skupke po sušenju (SEM posnetek, 630-kratna povečava).

močnimi intermolekularnimi silami med površino delcev in medijem, v katerem je snov.

2. *Mehanska ločitev skupkov* pomeni razbitje skupkov v manjše skupke in primarne delce; pri tem odigrata glavno vlogo dve vrsti sil (slika 10): drobilne in strižne sile. Drobilne sile povzročijo projektile v različnih mlinih ali drobilnikih. Strižne sile nastanejo zaradi tlaka, ki se pojavi znotraj visokoviskozne tekočine in povzročijo razbitje skupkov. Za zadosten strig je potreben laminaren tok skozi tekočino. Kaotično gibanje, ki ga povzroča turbulentni tok, sicer vodi do zadostnega mešanja, vendar obenem zaradi pomanjkanja strižnih sil, ki jih daje turbulenca, ne daje zadovoljive disperzije.



Slika 10: Mehanska ločitev skupkov z uporabo različnih sil

3. *Stabilizacija*. Visoka energija površine disperzije finih trdih delcev v tekočem mediju je termodinamično nestabilna, zato teži k ponovnemu združevanju ali kosmičenju delcev. Ponovno združevanje prepreči stabilizacija disperzije. Najpogostejši način stabilizacije je sterična stabilizacija. Dispergiranje skupkov se pogosto izboljša tudi s posebno obdelavo njihove površine, saj tedaj, ko je površina dodatkov močno polarne narave (hidrofilna, kot v primeru mikrokapsul), le-ta, še posebej če gre za proizvodnjo suhega prahu z odstranitvijo vode s sušenjem, vodi do združevanja delcev.

### 3.1.3.2 Obstoynost mikrokapsul na temperaturo in pritisk

Parametri, ki negativno vplivajo na obstojnost mikrokapsule med oblikovanjem iz taline, so temperatura, tlak in čas. K zadrževanju jedrnega materiala v mikrokapsuli pripomore vzdržljivost ovojnice, na katero se pri povišani temperaturi zaradi povečanja segretega volumna jedrne substance (npr. parafina) poveča pritisk. Za izračun napetosti v ovojnici mikrokapsule lahko uporabimo membransko enačbo [6] (en. (1)):

$$N = \frac{p \cdot d}{4x} \quad (1)$$

kjer je  $N$  napetost v steni mikrokapsule (bar),  $p$  tlak v jedru (bar),  $x$  debelina stene mikrokapsule ( $\mu\text{m}$ ) in  $d$  premer mikrokapsule ( $\mu\text{m}$ ).

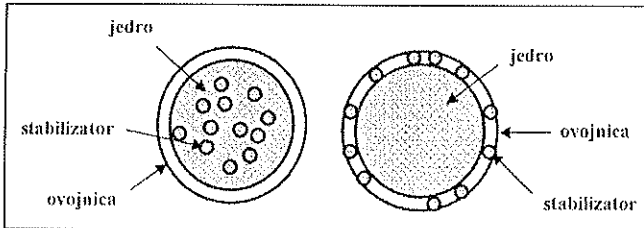
Ker je po podatkih izdelovalca mikrokapsul stena mikrokapsule vsaj deloma termoplastična in raztegljiva, se pod vplivom visoke temperature raztegne, tako da so napetosti v steni precej manjše od same trdnosti stene, ki jo ponuja enačba. Do porušitve stene mikrokapsule teoretično torej ne pride.

Pri povišani temperaturi ali tlaku je jedrni material (za primer PCM mikrokapsul) izpostavljen toplotno inducirani razgradnji ali izomerizaciji ter oksidaciji. Taki pogoji se ustvarjajo predvsem pri oblikovanju vlaken z mikrokapsulami iz taline, manj pa pri oblikovanju iz raztopine. Z oksidacijo jedrnega materiala lahko parafini v prisotnosti atmosferskega kisika v temperaturnem območju med 80 in 120 °C oksidirajo v organske produkte, kot so estri, alkoholi, aldehidi, kisline, peroksidi ali voda. Produkti oksidacije se prav tako obnašajo kot nečistoče oziroma tujki in zato zmanjšujejo učinkovitost jedrnih materialov.

Opisani pojavi razgradnje jedrnega materiala pri povišanih temperaturah in tlaku vplivajo na celoten proces oblikovanja vlaken iz taline. Produkti,

ki nastanejo pri izomerizaciji ali oksidaciji, lahko reagirajo z osnovnim materialom, kar vodi do degradacije samega polimera in posledično do razgradnje oblikovanih vlaken (oslabljenost ali slabša obarvanost vlaken ipd.) [17].

Za doseg optimalnega postopka, kjer se dosega visoka temperatura in tlak (talilni postopki), je tako pomembna ustrezna priprava oziroma zgradba mikrokapsul. Zaščita pred degradacijskimi pojavi je mogoča z vkomponiranjem stabilizacijskih sredstev, kot so antioksidanti in termični stabilizatorji, v jedro substanco ali ovojnico (slika 11) [17].



**Slika 11:** Stabilizacija mikrokapsul z dodatkom stabilizacijskega sredstva

Antioksidanti preprečujejo ali zmanjšujejo nastanek produktov (estri, alkoholi, aldehidi, kisline, peroksidi, voda itd.), ki pri povišanih temperaturah in pritisku oblikovanja vlaken nastanejo pri reakciji materiala z atmosferskim kisikom ali kisikovimi prostimi radikali.

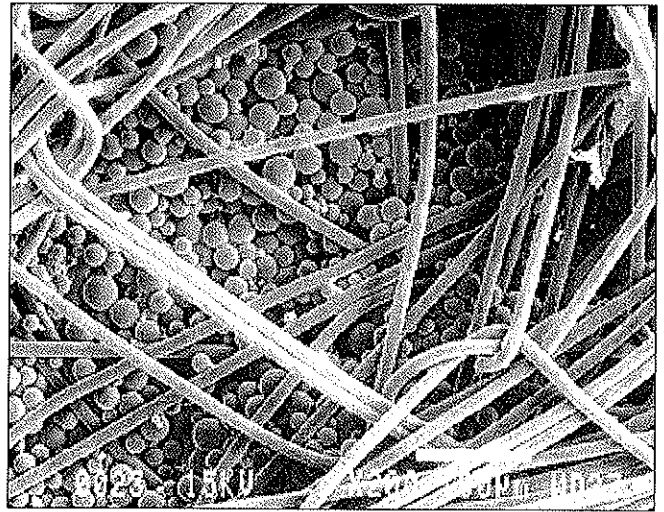
Toplotni stabilizatorji preprečujejo ali zmanjšujejo termično dekompozicijo ali izomerizacijo materiala, ki se prav tako lahko pojavi pri povišani temperaturi in tlaku oblikovanja vlaken. Kot vrste termostabilizatorjev literatura navaja organske substance, ki vsebujejo fosfor (fosfidi in fosfonidi) [17].

### 3.2 Druge tekstilije

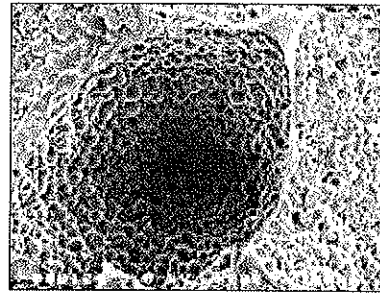
Na tekstilije (tkanine, pletiva in netkane tekstilije) se mikrokapsule v postopkih barvanja, tiskanja in plemenitenja nanašajo v obliki nanosov, premazov ali impregnacij (slike 12–15). Ovojnica mikrokapsul je sicer tanka, a dovolj močna, da v mokrem stanju prenese določene obremenitve (npr. pri kalandriranju) in višje temperature (npr. v sušilnih komorah) [1].

Uporabo mikrokapsul je na področju barvanja in tiskanja ploskih tekstilij prva predstavila japonska industrija, medtem ko število patentov na omenjenem področju v Evropi in ZDA raste čedalje hitreje.

Najprimernejša barvila, ki se uporabljajo za mikrokapsuliranje, so disperzna barvila, kar so v zgodnjih 70-ih letih ugotovili v japonskem podjetju Matsui Shikiso Chemical Company in jih poslali na tržišče pod tržnim imenom Colour N Type. Te mikro-



**Slika 12:** Impregniranje netkane tekstilije z mikrokapsulami (Outlast®) [18]

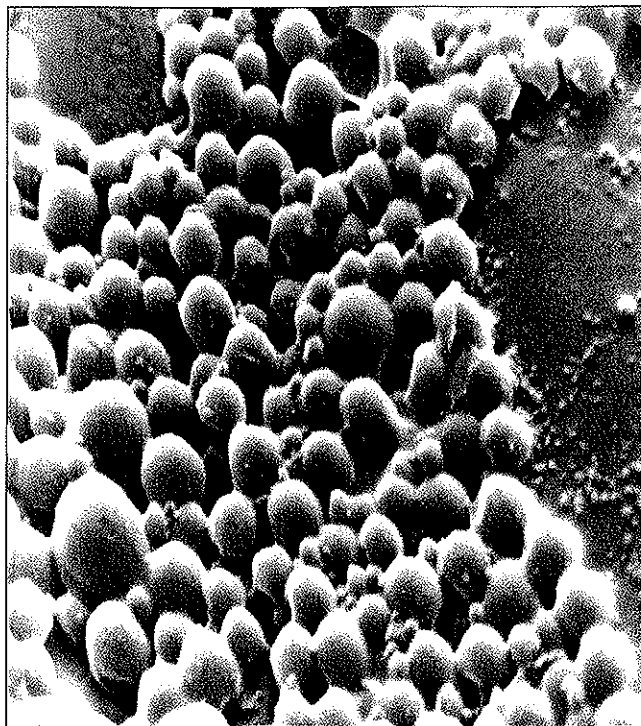


**Slika 13:** Mikrokapsule v disperziji pene, nanesene na tekstilni substrat [14]



**Slika 14:** Impregniranje netkane tekstilije z mikrokapsulami (SEM posnetek, povečava 190x).

kapsule se uporabljajo za barvanje poliestrnih substratov. Mikrokapsulirana disperzna barvila se uporabljajo tudi za »speck« barvanje in tiskanje tekstilij s pikčastimi vzorci s postopki brizganja, impregni-



**Slika 15:** Premaz tkanine z mikrokapsulami (SEM posnetek, povečava: A - 190x, B - 1900x).

ranja, premazovanja ali tiskanja. Pri tem se uporablja pasta, ki vsebuje v vodi netopne delce disperznega barvila velikosti 10–200  $\mu\text{m}$  in v vodi netopno smolo ali vosek. Tekstilni material se nadalje termofiksira in opere.

Za doseg večbarvnih učinkov na poliestrskih, bombažnih, akrilnih, poliamidnih in volnenih ploskih tekstilih so v podjetju Hayashi Chemical Co. razvili mikrokapsulirano barvilo, pri katerem je ovojnica mikrokapsul sestavljena iz visokomolekulskih hidrofilnih polimerov, kot so želatina, pektin, agar, metilceluloza ali poliakrilonitril, jedro pa sestavlja disperzno barvilo. Tako imenovano barvilo MCP HP ob stiku s tekstilnim substratom in po ustrezni obdelavi razvije barvaste pike s premerom 50–3000  $\mu\text{m}$ . Podjetje je razvilo tehnologijo patentiralo. Gre za obojestransko tiskanje tkanin z večbarvnim učinkom.

V podjetju Sandoz so razvili postopek elektrostatskega barvanja in tiskanja ploskih tekstilij z mikrokapsulami, ki vsebujejo barvila v tekočini z visoko dielektrično konstanto. Pripravki za barvanje so v obliki delcev, ki vsebujejo visoko obstojne polimere visoke molekulske mase kot nosilce, v katerih sta mikrokapsulirano barvilo in tekočina visoke dielektrične konstante. Polimer pri tem ne nabreka in deluje kot dispergirno sredstvo in topilo. Pripravki se na tekstilni substrat nanesejo s pomočjo elektrostatskega polja in fiksirajo.

Nemško podjetje Rotring-Werke Riepe KG je za barvanje tekstilnih substratov razvilo postopek mikrokapsuliranja, ki je neodvisen od vrste jedr-

nega barvila. Po nanosu mikrokapsul na tekstilni substrat se ovojnica mikrokapsul stali in tako omogoči sprostitvev jedrnega barvila. Postopek zagotavlja dobre obstojnosti barvil na vlaknih različne surovinske sestave, zagotavlja majhno migracijo barvila in poveča obstojnost substrata na pranje in drgnjenje.

V podjetju Fuji Photo Film so v postopku tiskanja ploskih tekstilij preprečili migracijo barvila z mešanjem mikrokapsul, ki vsebujejo barvilo, in mikrokapsul, ki vsebujejo sredstva za obstojnost barvil [2].

Mikrokapsule se uporabljajo tudi pri plemenitju tekstilij za doseganje antimikrobnih, baktericidnih, termo-regulacijskih lastnosti, boljših barvnih obstojnosti in obstojnosti na drgnjenje, odišavljenih površin itd. V nadaljevanju so navedeni nekateri primeri [1, 2, 14].

S klasičnim koacervacijskim postopkom se na netkane tekstilije nanašajo različne mikrokapsulirane dišave. Pri normalnih obremenitvah tekstilije je mikrokapsula odporna na pritisk, pri drgnjenju pa ovojnica počne, kar omogoča sprostitvev dišave. V ta namen se za končne izdelke (darilni trakovi, robčki, serviete, kravate, zavese in celo pohištvo) v ovojnico iz želatine in arabske gume mikrokapsulirata sivkino in borovo olje.

Mikrokapsuliranje eteričnih olj različnih rastlin se uporablja tudi pri aromaterapiji, pri kateri z različnimi dišavami vplivamo na boljše psihično in čustveno počutje ljudi. Kanebo je dišeče mikrokapsule impregniral na puloverje, kravate, majice ipd. Sproščanje vonja eteričnih olj na tekstilih



deluje na principu poroznosti akrilnega ovojnega materiala mikrokapsule in se ohrani tudi po desetkratnem pranju.

Proizvajalca Procter & Gamble sta razširila uporabo dišečih mikrokapsul tudi na žensko spodnje perilo.

Nanašanja mikrokapsuliranih sredstev proti moljem na volnene preproge se poslužuje tudi industrija tekstilnih talnih oblog.

Za doseganje boljših obstojnosti na drgnjenje, pranje in nošenje tkanin, izdelanih iz bombažnih ali regeneriranih celuloznih vlaken, se uporabljajo nanosi mikrokapsul, katerih ovojnica je zgrajena iz etilceluloze, jedro pa vsebuje smole, zamreževalna sredstva in /ali katalizatorje. Različna vezivna sredstva, kot so akril, poliuretan, silikon, škrob in druga, mikrokapsule fiksirajo na tkanino ter tako podaljšajo življenjsko dobo izdelka [6].

Obutveni vložek z dolgotrajnim deodorantnim, fungicidnim in bakteriocidnim delovanjem je dosegljiv tudi slovenskemu kupcu (slika 16).



**Slika 16:**  
Obutveni deovložek, ki ga izdeluje Aero, d.d. [19].

V podjetju Aero, d.d., so izdelali mikrokapsule z jedrnim eteričnim oljem in jih s premazovanjem z zračnim nožem ali žičnim strgalom nanesli na netkano poliestrno tekstilijo. Pri uporabi obutvenega vložka se vsebina mikrokapsul sprošča zaradi mehanskega pritiska. Testiranje sproščanja eteričnih olj žajblja, sivke in rožmarina iz mikrokapsul je pokazalo, da po 225 dneh ostane več kot 50 odstotkov prvotne količine eteričnih olj. Po dveh mesecih uporabe vložkov 8 ur na dan so še vedno prisotne nepoškodovane mikrokapsule, po enem mesecu pa jih nepoškodovanih ostane približno 30 odstotkov. Poleg obutvenih vložkov, ki so v prodaji, pa je Aero v sodelovanju s slovenskimi tekstilnimi proizvajalci nanašal mikrokapsule tudi na bombažne in viskozne tkanine ter frotir [19].

#### 4.0 SKLEP

V tekstilstvu se mikrokapsule uporabljajo na različnih stopnjah izdelave tekstilij: pri oblikovanju vlaken, barvanju, tiskanju in plemenitenju tekstilij, kjer se mikrokapsule nanašajo v obliki apreture, premazov ali impregnacij. Slabost površinskega prekrivanja tekstilij z mikrokapsulami je v tem, da se njihov učinek pri večkratni uporabi in pranju ter kemičnem čiščenju zmanjša zaradi izpiranja in obrabe, čemur se izognemo z vgrajevanjem mikrokapsul v vlakna. Vgrajevanja mikrokapsul v vlakna se zaradi težavnosti tehnologije postopka veliko proizvajalcev še vedno ne poslužuje. To velja predvsem za oblikovanje vlaken z mikrokapsulami po taličnem postopku, ki zahteva od polimera in dodatkov oblikovanja trdo obliko, za kar pa v vodni emulziji izdelane mikrokapsule niso primerne. Zato jih je treba sušiti v prah ter jih enakomerno porazdeliti v talini polimera. V nasprotju s taličnim postopkom je oblikovanje vlaken z mikrokapsulami iz raztopine prav zaradi tekočih medijev oblikovalne raztopine in mikrokapsul lažje ter dopušča hitrejši razvoj vlaken z mikrokapsulami, kar dokazujejo tudi tržno uspešna Outlastova® vlakna in njihovi izdelki.

Osvojitev tehnologije vgrajevanja mikrokapsul v vlakna ne prinaša dokončnih uspehov, saj je učinek končnega izdelka odvisen od »preživetja« mikrokapsul skozi obdelovalni postopek. Ovojnica mora zadržati aktivno jedro v notranjosti mikrokapsule, poleg tega pa je treba preprečiti degradacijo jedrnega materiala, ki se lahko pojavi pri visokih temperaturah in pritisku.

Glede na opisano je postopek mikrokapsuliranja na tekstilnem področju zelo uporaben. Seveda pa naštetih primeri v članku ne pomenijo omejitve pri izdelavi novih tekstilnih izdelkov, ki so odvisni predvsem od izdelave novih in izpopolnjenih starih vrst mikrokapsul.

Ob poplavi različnih inteligentnih tekstilij na tržišču, se največja možnost za uspeh ponuja na področju tekstilij s termično regulacijskim učinkom, tekstilij za medicinske namene in tehnični tekstil. Kljub zagotovljenemu uspehu pa bo treba razvoj usmeriti predvsem na ekonomsko dostopnejši postopek izdelave mikrokapsul in s tem ponuditi inteligentne tekstilije širši skupini potrošnikov, kar pa bo za zahtevno tehnologijo pri izdelavi inteligentnih tekstilij velik izziv.

#### 5.0 VIRI

- [1] KUKOVIČ, M., KNEZ, E. in PIPAL, V. Mikrokapsule za tekstilno industrijo. *Tekstilec*, 1998, let. 41, št. 7/8, str. 225–230.

- [2] AGGARWAL, AK., DAYAL, A. in KUMAR, N. Microencapsulation processes and applications in textile processing. *Colourage*, 1998, vol. 45, no. 8, p. 15–24.
- [3] THIES, C. Survey of Microencapsulation Processes. V *Microencapsulation : methods and industrial applications*. Edited by Benita, S. New York : M. Dekker, 1996.
- [4] HOMŠAK, T. *Poskusi izdelave polipropilenskih vlaken z mikrokapsulami : diplomsko delo*. Ljubljana, 2001.
- [5] LESKOVŠEK, M. *Izdelava vlaken z mikrokapsulami po talilnem postopku : magistrsko delo*. [M. Leskovšek], 2003.
- [6] *The art and science of microencapsulation* [online]. Southwest Research Institute, 1995 [citirano 20.01.2004]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.swri.org/3pubs/ttoday/summer95/microeng.htm>>.
- [7] BOH, B., HODŽAR, D., KNEZ, E., KUKOVIČ, M., PIPAL, V. in VODA, K. Razvoj mikrokapsul za tekstilne aperture. V *Zbornik referatov s posvetovanja. Slovenski kemijski dnevi 1999*. Uredila Glavič, P. in Brodnjak-Vončina, D.. Maribor : Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru, 1999, str. 762–767
- [8] Diffusion des sciences à l'Université de Liege [online]. Université de Liege [citirano 29.1.2004]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.ulg.ac.be/sciences/metiers/chimie/centex3.htm>>.
- [9] Outlast® temperature regulation [online]. Outlast-jp, 2000 [citirano 29.1.2004]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.outlast-jp.com/products/fiber.html>>.
- [10] COX, R. Synopsis of the new thermal regulating fiber Outlast. *Chemical Fibers International*, 1998, vol. 48, p. 475–479.
- [11] *Fiber with reversible enhanced thermal storage properties and fabrics made therefrom* [online]. The European Patent Office, 2000 [citirano 21. 7. 2000]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://12.espacenet.com/espacenet/viewer?PN=US4756958&CY=ep&LG=en&DB=EPD>>.
- [12] *Temperature adaptable textile fibers and method of preparing same* [online]. The European Patent Office, 2000 [citirano 14.2.2003]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://12.espacenet.com/espacenet/viewer?PN=US4851291CY=ep&LG=en&DB=EPD>>.
- [13] *Microcontainers* [online]. The European Patent Office, 2000 [citirano 14.2.2003]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://12.espacenet.com/espacenet/viewer?PN=GB1392508&CY=ep&LG=en&DB=EPD>>.
- [14] ZHANG, X. Heat – storage and thermo-regulated textiles and clothing. V *Smart fibres, fabrics and clothing*. Edited by Xiaoming, T. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2001, p. 35–57.
- [15] HONGU, T. in PHILHIPS, G. *New fibers*. Edited by T.J. Kemp in J.F. Kennedy. Chichester : Ellis Horwood Limited, 1990, p. 73–74.
- [16] CHRISTIE, RM., MATHER, RR. in WARDMAN, RH. V *The chemistry of colour application*. Oxford : Blackwell Sciences, 2000, p. 253–265.
- [17] *Stable phase change materials for use in temperature regulating synthetic fibers, fabrics and textiles* [online]. The European Patent Office, 2000 [citirano 14.2.2003]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://12.espacenet.com/espacenet/viewer?PN=WO0224830&CY=e p&LG=en&DB=EPD>>.
- [18] Outlast®. Adaptive comfort. Värmeväxlaren! [online]. BEER, 2003 [citirano 29.1.2004]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.jofama.se/2003/eng/index.htm>>.
- [19] *Proizvodni program: Mikrokapsultrani izdelki* [online]. Aero d.o.o. [citirano 14.4.2004]. Dostopno na svetovnem spletu: [http://www.aero.si/ps/prg\\_mikrokap.htm](http://www.aero.si/ps/prg_mikrokap.htm)

Prispelo/Received: 03-2004; sprejeto/accepted: 05-2004