

doc. dr. **Tatjana Rijavec**, univ. dipl. inž.
doc. dr. **Vili Bukošek**, univ. dipl. inž.
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta,
Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5; SI-1000 Ljubljana;
e-pošta: tatjana.rijavec@ntftex.uni-lj.si, vili.bukosek@ntftex.uni-lj.si

Nova vlakna za 21. stoletje

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

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

New Fibres for 21st Century

The article deals with the most prominent achievements in the field of fibres in the last years: nanofibres, man-made spider silk, genetically modified cotton fibres, fibres from polylactic acid, intelligent fibres, fibres with negative Poisson number, soyabean fibres, fibres from bird's feathers and new polyester fibres with latent elasticity.

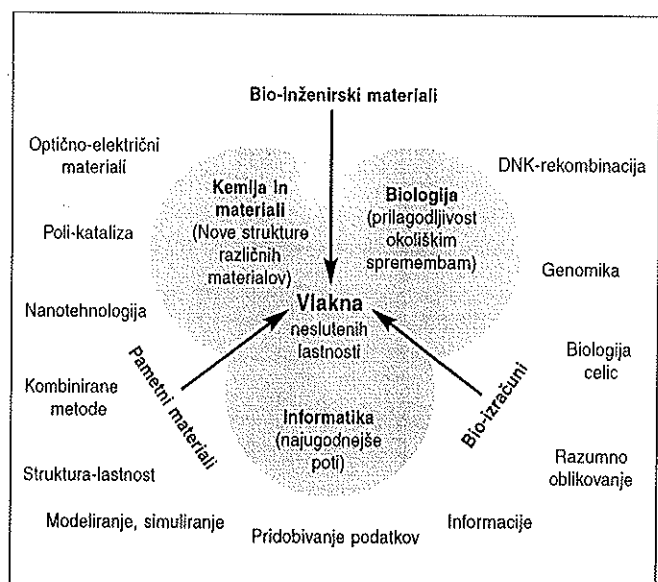
Key words: nanofibres, man-made spider silk, BioSteel, Bt cotton, polylactic acid, PLA, soyabean fibres, feather fibres, optic fibres, auxetic fibres, Corterra, Sorona, Securus, polybutylene terephthalate, PBT, polytrimethylene terephthalate, PTT, elasterell-p

1.0 UVOD

Razvoj novih in izboljšanje znanih vlaken v zadnjem desetletju temelji na razvoju novih tehnologij, od genskega inženiringa, biotehnologije, nanotehnologije, mikroelektronike in informacijske tehnologije, ki skupaj z interdisciplinarnim pristopom znanosti (slika 1) ustvarjajo vlakna novih možnosti.

Prva vlakna, ki so nastala na podlagi novih tehnologij, so že razvita, nekatera med njimi so tudi že na tržišču: nanovlakna iz različnih surovin, gensko spremenjena naravna vlakna (Bt-bombaž), kemična vlakna iz naravno obnovljivih surovin (poliestrska vlakna iz politrimetilentereftalata in polimlečne kisline), inteligentna vlakna, vlakna z negativnim Poissonovim številom idr.

Nekateri stranski proizvodi drugih tehnologij, kot je npr. živilska industrija, postajajo surovinska baza za nova vlakna (sojina vlakna, vlakna iz ptičjega perja).



Slika 1: Interdisciplinarnost znanosti bo omogočila razvoj novih vlaken

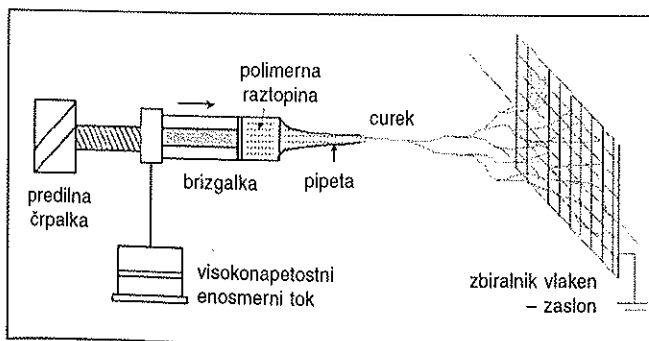
2.0 NANOVLAKNA

Nanotehnologija predstavlja napredno tehnologijo, ki bo v prihodnosti pomembno vplivala na razvoj celotne tekstilne tehnologije ter na vrsto in uporabnost izdelkov. Po pričakovanjih bo omogočala manjšo porabo energije, povečanje učinkovitosti in večjo čistost tekstilne proizvodnje. Vpliv in uporaba nanotehnologije bo zlasti velika na področju proizvodnje vlaken in barvil. Z uvedbo novih postopkov na površini tekstilij bo omogočila njihovo večfunkcionalnost s kombiniranjem različnih lastnosti: vodoodbojnosti, protibakterijske zaščite, zaščite proti plesnim, nanovlakna bomo uporabljali za senzorje in kamuflažo idr.

Že v naslednjih dveh do treh letih naj bi uporaba nanotehnologije na področju proizvodnje nanovlaken in tekstilne tehnologije dosegla 15 milijard \$ neto prometa [1].

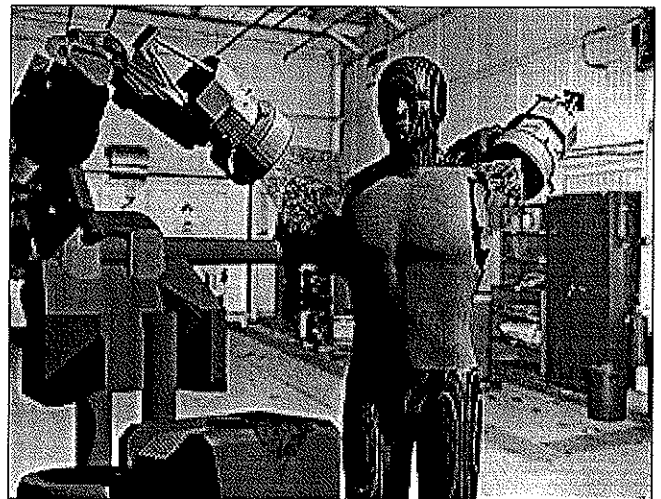
Nanovlakna [2, 3, 4] so ultrafina vlakna s premerom pod 100 nanometrov do nekaj 10 nanometrov. Do sedaj najfinejša mikrovlakna dosegajo premer pod 10 mikrometrov do nekaj mikrometrov in so po finosti primerljiva z degumirano pravo svilo; konvencionalna vlakna, na primer bombaž, volna in različna druga naravna ter kemična vlakna pa so premera nad 10 mikrometrov do nekaj 100 mikrometrov. Pri ekstremno finih nanovlaknih pridejo posebno do izraza velika specifična površina, gibkost in natezna trdnost vlaken. Te lastnosti se lahko učinkovito izkoristijo za filtracijo, v biomedicini, za zaščitni tekstil, jadra, nanokompozite in na področjih elektronike in optike. Nanovlakna omogočajo razvoj materialov, ki bodo do 10-krat močnejši in trpežnejši od jekla pri enaki masi.

Nanovlakna izdelujejo pretežno po postopku elektrospredanja (*electrospinning*) (sliki 2 in 3), ki je poceni in enostaven. Polimerno tekočino (raztopino ali talino) v cevki izpostavijo visoki električni napetosti. Ko je električna napetost polimerne tekočine dovolj visoka, da preseže njeno površinsko napetost, kovinska šoba ali igla brizgne tekoči curek proti kovinskemu zbiralniku, ki je elektroda nasprotnega naboja, in kjer se curek razprši v množico finih in najfinejših vlakenc. Med potjo so električno nabiti tekoči curki izpostavljeni upogibnim in razteznim deformacijam, zaradi česar se



Slika 2: Shema postopka elektrospredanja

stanjšajo v fina vlakna nanometrskih prečnih dimenzij. Za izdelavo kakovostnih nanovlaken stalnega premera in ravne, gladke površine je potrebno optimirati tehnološke parametre, to je: izbiro primerne polimera (vsi polimeri niso primerni za elektrospredanje nanovlaken), optimalna koncentracija in temperatura predilne tekočine ter električna napetost. Postopek elektrospredanja pa z izbiro ustreznih tehnoloških parametrov omogoča tudi neposredno izdelavo poroznih vlaken.



Slika 3: Elektrospredanje z neposredno izdelavo oblčila s pomočjo lutke

Po postopku elektrospredanja se lahko izdelujejo nanovlakna iz polimerov, ki so topni v hlapnem topilu, in tudi iz polimernih talin. Tako izdelana nanovlakna se po morfologiji in lastnostih precej razlikujejo od mikrovlaken in konvencionalnih vlaken.

Nanovlakna so zaradi velike specifične površine, nizke gostote in visoke poroznosti zelo zanimiva za tekstilne namene. Lastnosti, ki jih omogočajo mikrovlakna, neprepustnost za vodo in veter, nanovlakna prekašajo.

Toray Industries Inc. iz Tokia je razvil poliamidno nanofilamentno prejo Miramatte skupne dolžinske mase 44 dtex z več kot 1,4 milijona nanofilamentov, finoče posameznih filamentov okrog 3 ntex in premera posameznih filamentov 20–200 nm. Z uporabo teh vlaken je Toray izdelal poliamidno tekstilijo, ki ima več kot 1.000-krat večjo površino, kot jo omogočajo konvencionalna poliamidna vlakna. Nova tekstilija iz te preje ima zato odlično vpojnost neprijetnih vonjev in 2–3-krat večjo sposobnost absorpcije vlage kot običajna poliamidna tekstilija, celo večjo kot bombaž! Zelo pomembno pa je tudi dejstvo, da imajo nanopoliamidna vlakna veliko sposobnost absorpcije vlage na površini (1.000-krat večjo kot konvencionalna poliamidna vlakna, ki imajo zanemarljivo sposobnost površinske absorpcije vlage in jo vežejo praktično v celoti v notranjosti vlaken. Razmerje med površinsko vezano vlago in v notranjosti vlaken vezano vlago je za poliamidna vlakna 1/1.000.)

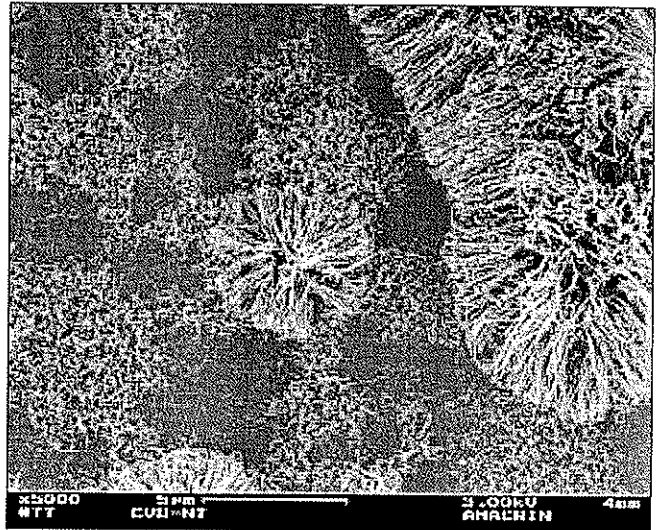
Vlakna Miramatte, ki jim dodajo trikrat večjo količino anorganskih delcev kot standardnim poliamidnim vlaknom, so neprosojna in neprepustna za UV svetlobo, zaradi česar so primerna za izdelavo zelo tankih tkanin. Anorganski delci niso razporejeni le v notranjosti vlaken, ampak tudi površinsko. To jim da posebno neenakomerno površino z značilnim otipom, ki spominja na otip finega ptičjega perja. Vlakna bodo uporabna za oblačila in različne tipe filtrov. Toray načrtuje trženje tekstilij iz PA nanovlaken v naslednjih 2–3 letih [5].

Na novi patentirani tehnologiji za izdelavo specialnih vlaken bo z nadzorom nanostrukture, to je molekulske orientacije na nanonivoju z optimiranjem pogojev tečenja, Toray raziskal možnosti izdelave nanofilamentnih prej iz poliestra (PES), polipropilena (PP) in novih polimerov, kot je polimlečna kislina (PLA) [6].

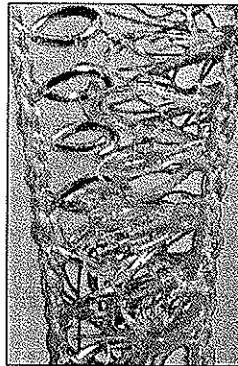
Celulozna nanovlakna za industrijske vlaknovine za suho in mokro filtracijo, za zaščitna oblačila, za poljedeljske izdelke kot so absorbenti pesticidov in gnojil ter za biorazgradljive kompozite, razvijajo na ameriški Cornell University; izdelavo nanovlaken premera pod 100 nm visoke trdnosti omogoča postopek elektropredenja z uporabo novih topil za celulozo; surovina so lahko tudi odpadki bombažnih predilnic [7, 8].

Nanos nanovlaken na tekstilno blago (*nanocoating*) omogoča 100-odstotno neprepustnost za vodo. Ameriško podjetje Nano-Tex je z nanašanjem nanovlaken (nanoviskerjev) na bombažno oziroma sintetično blago doseglo odbojnost tekstilnih materialov za vodo oziroma olja, ki pa so prepustni za vodno paro, so odporni proti drgnjenju in se ne mečkajo. Za nanos potopijo blago v vodno raztopino nanovlaken, ki se vežejo na blago. Nad kosmičasto nanovlakensko površino blaga nastane zračna blazina, ki odbije vodo ali druge tekoče nečistoče. Mehanizem spominja na imitacijo odboja vode s površine gosjega perja [9].

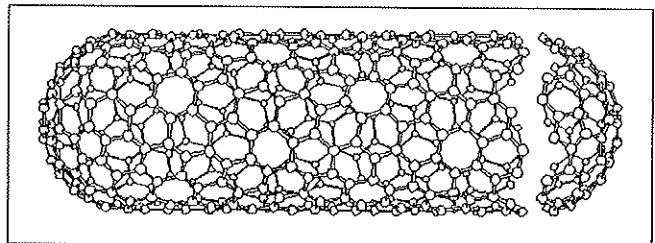
Ogljikova nanovlakna so pomembna za različna področja uporabe – od filtracije, izdelave kompozitov, za zaščitna oblačila idr. Otip ogljikovih nanovlaken spominja na bombaž, le barva je črna. Trdnost ogljikovih nanovlaken je lahko za več 100-krat višja od trdnosti jekla. Odkritje postopka izdelave votlih ogljikovih nanovlaken (*carbon nanotubes*) (slika 4) leta 1991 je pospešilo razvoj ogljikovih nanovlaken. Votla ogljikova nanovlakna namenjajo za polnila v kompozitih za izboljšanje mehanskih lastnosti, za električne vodnike, toplotne vodnike in tudi za super močna sprijemna zapenjala (velcro, slika 5) [10]. Votla ogljikova nanovlakna so ekstremno fina z izrednimi mehanskimi lastnostmi, visoko električno prevodna, so visoko toplotno prevodna in kemično stabilna, kar je posledica kemične sestave in popolne heksagonalne urejenosti kovalentno vezanih ogljikovih atomov. Ogljikovi atomi so urejeni v koncentrično oblikovane grafitne plasti (slika 6).



Slika 4: Votla ogljikova nanovlakna



Slika 5: Sprijemna (velcro) zapenjala iz nanovlaken



Slika 6: Struktura votlega ogljikovega nanovlakena

3.0 RAZVOJ VLAKEN Z UPORABO GENSKE TEHNOLOGIJE

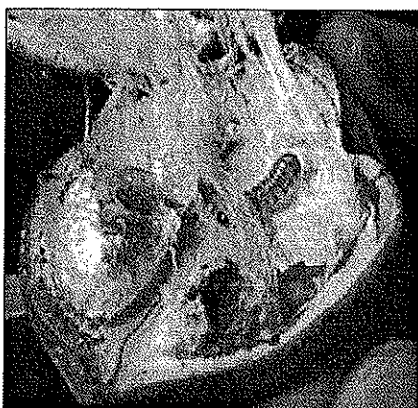
3.1 Gensko spremenjen bombaž

V 80-ih letih prejšnjega stoletja je ameriška multinacionalna Monsanto začela z gensko tehnologijo razvijati bombaž, ki naj bi bil odporen proti škodljivcem [11] (slika 7). Gensko spremenjeni bombaž, Bollgard bombaž (Bt bombaž), so dobili z uvedbo insekticidnega proteina gena *cry1Ac* iz bakterije *Bacillus thuringiensis* v bombažno seme za povečano odpornost proti škodljivcem. *Bacillus thuringiensis* je aerobna gram pozitivna bakterija v zemlji, ki je sposobna proizvajati štiri vrste toksinov v kristalni proteinski obliki, med katerimi je delta-endotoksin najpomembnejši. *B. thu-*

ringiensis je bil leta 1961 v ZDA registriran kot mikrobnno pesticidno sredstvo. Z razvojem genskega inženiringa je bilo možno izolirati dejavni gen in prenesti sekvence tega gena v genski material drugih organizmov, tudi bombaža. Gensko spremenjeni bombaž vsebuje v genomu *cryIAC* gen in je sposoben sam proizvajati kristalni toksični protein. Bombaževčeva uš ali molj pri požiranju delov bombaževca vnese v telo tudi omenjeni toksin, ki povzroči njeno smrt. Toksin ni strupen za čebele, zelene mrežekrilce in pikapolonice. Rastlino zavaruje pred specifičnimi vrstami gosenic, ne pa pred listnimi ušmi.

Za vzgojo Bt bombaževca je potrebno za okrog 50 % manj pesticidov, s čimer je zagotovljeno manjše onesnaževanje zemlje, vode in zraka. Manjša poraba pesticidov bo dolgoročno vplivala tudi na manjše alergične reakcije kmetovalcev [12]. Pridelek Bt bombaža je za povprečno 10–15 % do celo 25–30 % večji od gensko nespremenjenega bombaža (Non-BT) pri istem hibridu.

Bt bombaž se zaradi manjše potrebe po pesticidih in večjega pridelka zelo dobro uveljavlja [13, 14]. Od leta 1996 ga sejejo v ZDA, Argentini, Avstraliji, na Kitajskem, v Mehiki in Južni Afriki. Svetovni delež setvenih površin z Bt bombažem je bil leta 1996 le 12 %, leta 1998 že 23 %, leta 2000 pa 39 %.

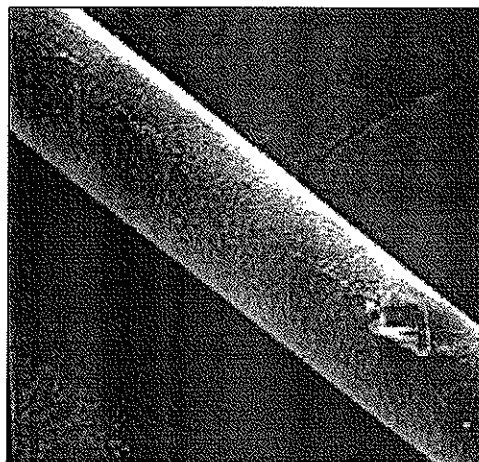


Slika 7: Odprti bombažni plod z gosenico bombaževčevega molja *Pectinophora gossypiella*

3.2 Kemična pajkova svila BioSteel®

V kanadski firmi Nexia Biotechnologies Inc. in US Army Soldier Biological Chemical Command so leta 2002 uspeli razviti prvo kemično pajkovo svilo (*man-made spider silk*), ki so jo zaščitili z blagovno znamko BioSteel® (slika 8) [15, 16, 17, 18]. Industrijski postopek predenja vlaken BioSteel razvija Acordis Speciality Fibres Ltd., Coventry iz Velike Britanije.

Tehnologija izdelave kemične pajkove svile temelji na genski tehnologiji rekombinacije pajkove svile, tako da so segment DNA za beljakovine pajkove svile uvedli v genski material celic mlečnih žlez koze. Mlečne celice so prevzele gene za pajkovo svilo in začele proizva-



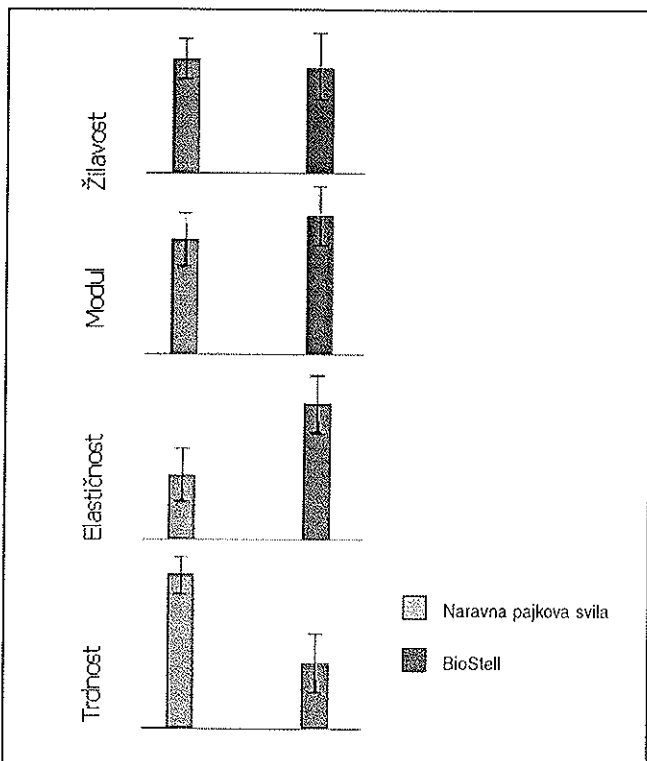
Slika 8: Vzдолžni videz vlakna BioSteel

jati zelene proteine v mleku. Kasneje so z metodo *in vitro* vbrizganja uvedli individualne pajkove gene v celico kozjega jajčeca. Tako so dobili gensko spremenjeno kozo, katere mleko je vsebovalo beljakovine pajkove svile. Iz vodne raztopine rekombiniranih beljakovin pajkove svile so izdelali vlakna, primerljivega modula elastičnosti in žilavosti, kot je naravna pajkova svila, a so bolj elastična ter za okrog polovico nižje trdnosti (slika 9). Poleg genske rekombinacije pajkove svile vključujejo pri proizvodnji vlaken tudi modifikacije v predilnem procesu. Tako dobijo vlakna neenakomerne vzdolžne debeline in tudi z različnimi dodatki.

Vlakna BioSteel so visokotrдна in raztegljiva vlakna z modulom elastičnosti 40–45 GPa, so žilava, nizke gostote in netopna v vodi. Stabilizirana so proti gorenju in UV svetlobi. V nateznem poskusu se pri začetnem obremenjevanju obnašajo togo, ker imajo visok modul elastičnosti, podobno kot aramidna vlakna, toda tik pred polziščem postanejo zelo raztegljiva in zniža se jim upor proti raztezanju; končno nastopi pretrg pri raztezk, ki je primerljiv s pretržnim raztezkom poliamidnih (PA 6.6) vlaken.

Poleg izjemnih mehanskih lastnosti ne gre pozabiti, da so vlakna BioSteel biorazgradljiva. Vse te lastnosti skupaj z biodružljivostjo so dobrodošle pri uporabi vlaken BioSteel v medicini za fine šive, kirurške mreže, umetne kite in vezi (izdelki BioSteel-M). Ocenjujejo, da se bo z BioSteelom kirurško šivanje izboljšalo in da bodo šivi varnejši v primerjavi s sedanjimi iz svile, poliamidnih oziroma polipropilenskih vlaken, a istočasno dovolj trdni in brazgotine ran bodo manjše.

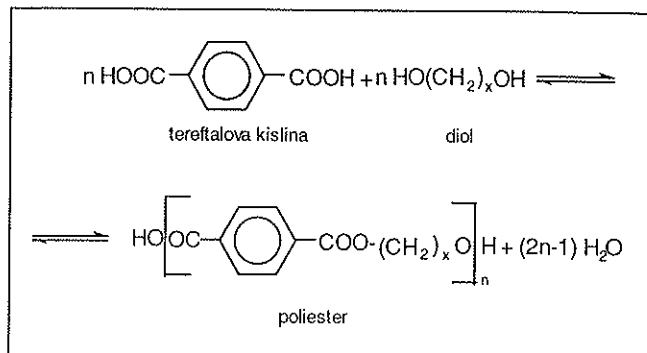
Za tehnične namene je potrebno vlakna BioSteel dodatno zaščititi, da se njihove lastnosti dalj časa ohranijo nespremenjene. V ta namen bodo vlakna BioSteel vgrajevali v ustrezne matrice, ki jih bodo varovale pred nezaželenimi učinki iz okolja. Za ribiške mreže razvijajo dvokomponentna vlakna z jedrom iz vlaken BioSteel in plašča iz ksilana, ki bo zaščitil BioSteel pred vodo. Zaradi odlične žilavosti načrtujejo uporabo vlaken BioSteel tudi v vojaške namene za protibalistične oklepe.



Slika 9: Primerjava lastnosti naravne pajkove svile z BioSteelom

3.3 Corterra® in Sorona® poliestrska politrimetilentereftalatna vlakna

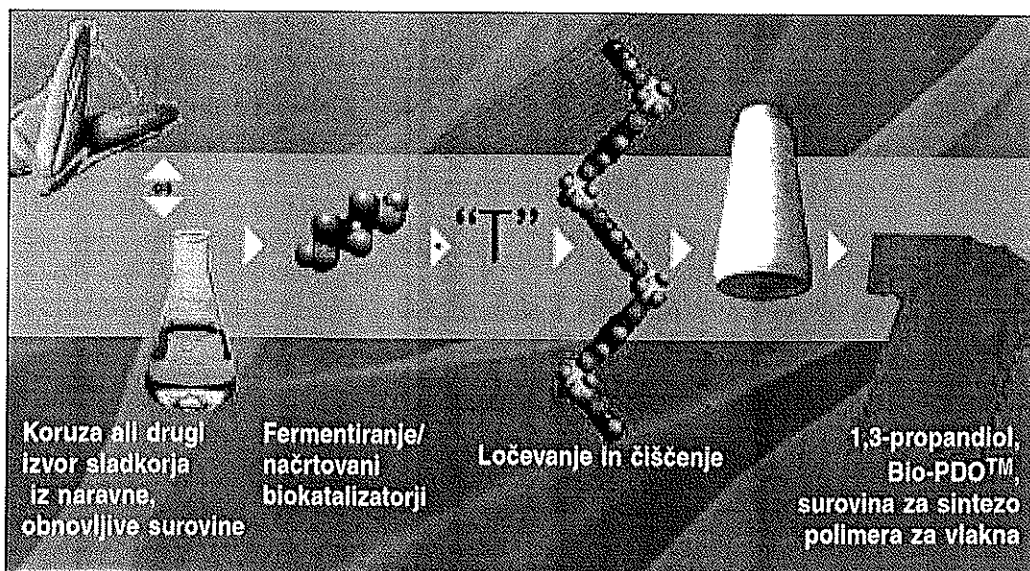
Poliestrska vlakna iz politrimetilentereftalata (PTT) so začeli proizvajati konec 90-ih let. Sinteza polimera je bila patentirana že leta 1941, vendar njegova proizvodnja ni bila možna zaradi dragega 1,3-propandiola, ki je osnovna surovina za PTT. Konec 90-ih let je Shell Chemicals razvil metodo za pridobivanje kakovostnega 1,3-propandiola s kontinuirnim hidriranjem in formiliranjem etilen oksida. Proces poteka pod pritiskom pri povišani temperaturi v mešanici etilen oksida, vodika in ogljikovega monoksida v topilu. Najprej nastane vmesni produkt 1,3 hidrosipropanol, ki ga pretvorijo v 1,3 propandiol. Le-ta v procesu polikondenzacije s čisto tereftalovo kislino daje polimer politrimetilentereftalat (slika 10), ki vsebuje tudi 2,5–3 % oligomerov, in sicer največ nehlapnega cikličnega dimera. Polimer PTT in vlakna iz njega proizvajajo pri Shell Chemicals pod blagovno znamko Corterra. Vlakna oblikujejo po postopku iz taline.



Slika 10: Sintezna reakcija poliestrov iz tereftalove kisline in diola: (Diol: x = 2 /etilenglikol/, x = 3 /1,3-propandiol/, x = 4 /1,4-butandiol/ Poliester: x = 2 /polietilentereftalat (PET) ali 2GT/, x = 3 /politrimetilentereftalat (PTT) ali 3GT/, x = 4 /polibutilentereftalat (PBT) ali 4GT.

Kemična odpornost Corterra vlaken je podobna poliestrskim vlaknom iz polietilentereftalata. Barvajo jih z disperzijskimi barvili brez carrierjev. Nekatere lastnosti so podane v preglednici 1 [19,20].

Corterra vlakna proizvajajo kot POY preje, na trgu so gladke, teksturirane, visokotrdne filamentne preje in predivo. Uporabljajo jih za oblačila za šport in rekreacijo, za preproge, za vlaknovine za notranjo opremo stanovanj in avtomobilov. Izdelki iz Corterra vlaken se odlikujejo po lahki negi, raztegljivosti, mehkoosti, prijetnem otipu in briljantnih barvah. Združujejo dobre lastnosti poliamidnih 6 vlaken (dobra elastična povratnost, podobno obnašanje pri gorenju) in poliestrskih vlaken iz PET (podobna kemična odpornost). Dobre elastične lastnosti so razlog za uveljavitev Corterra vlaken za opllašene preje, v katerih konkurirajo elastanskim prejam (Lycra), ker elastičnost razvijejo šele pri visokih temperaturah, na primer pri barvanju.



Slika 11: Biokemična sinteza 1,3 propandiola – Bio-PDO™

Preglednica 1: Primerjava lastnosti različnih PES vlaken: PTT, PET, PBT in elasterell-p

Lastnost	PTT	PET	PBT	Elasterell-p (T 400)
Gostota vlaken (g/cm ³)	1,35	1,39	1,32	1,36
Gostota amorfnih področij (g/cm ³)		1,335	1,286	
Gostota kristalinih področij (g/cm ³)		1,455	1,390	
Temp. steklastega prehoda (°C)	50	74	20–40	65
Tališče iz DSC (°C)	228–230	253–255	221–226	229
Temperatura termofiksiranja (°C)	160	177–188	182–188	160–177
Temperatura barvanja (°C)	100	125–130	100	100–130
Spec. pretržna napetost (cN/dtex)	2,29	3,795	2,38	3,35
Pretržni raztezek (%) [*]	41	16,5	37	27
Elastični raztezek (%)	27	21	28	37–68
Modul elastičnosti (cN/dtex)	13,24	42,36	16,42	35,3
Razkodranje (<i>yarn crimp extension</i>) (%) ^{**}	246	213	233	275
Oblika kodrov	neppravilna	neppravilna	neppravilna	pravilna, spiralna
Živahnost preje	se suka	se suka	se suka	mirna

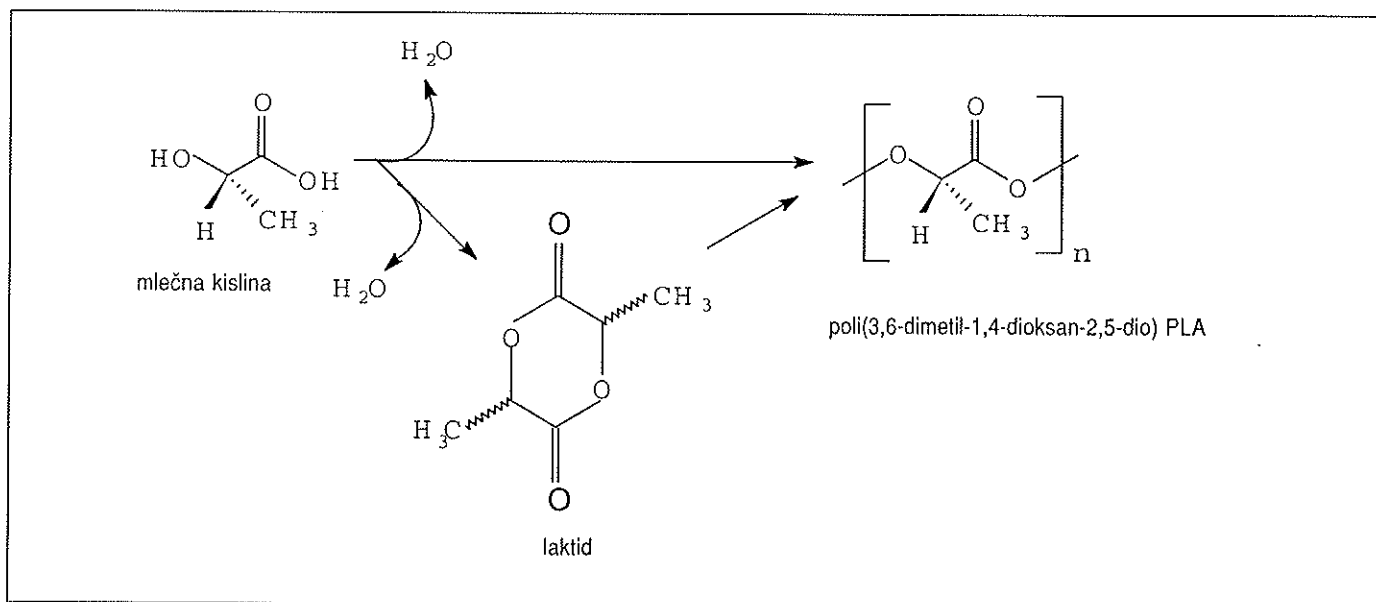
* predstavlja raztezek po razkodranju

** Razkodranje izmerjeno po ASTM D1774: Predeno finoče 5000 den so najprej obdelali pri vrenju, da so se razvili kodri. Nato so izmerili dolžino preje pri obremenitvi 2,5 g (L2,5). Siedilo je ciklično obremenjevanje predena 3-krat do mase, ki povzroči izravnane kodrov (do 1030 g), in merjenje te dolžine preje (L1030). Kodravost = $(L1030-L2,5)/(L2,5) \cdot 100$ (%).

DuPont razvija PTT polimer in vlakna pod imenom Sorona. V letu 2003 je proizvodnjo 1,3 propandiola (3GT) na bazi petrokemičnih surovin (nafte) začel zapirati in v letu 2004 začenja s tržno proizvodnjo 1,3 propandiola, proizvedenega z biokemično metodo fermentacije koruznega škroba, podobno kot je pri proizvodnji vina (slika 11). Biosintezo 1,3 propandiola je razvil DuPont v dolgotermnem sodelovanju z Genencor International. Monomer so patentno zaščitili z imenom Bio-PDOTM. Biokemična sinteza vključuje uporabo gensko spremenjenih mikroorganizmov, katerih encimi prevedejo koruzni škrob v 1,3-propandiol. Surovina za sintezo PTT je v tem primeru naravna, obnovljiva in ni več vezana na nafto [21].

3.4 Vlakna iz polimlečne kisline (PLA)

Mlečna kislina je naravna, biorazgradljiva organska snov, ki se nahaja v telesih živali, rastlin in mikrobov. Polimlečna kislina se kot taka ne nahaja v naravi, ampak jo industrijsko pridobivajo s polimerizacijo mlečne kisline. Mlečno kislino za sintezo polimlečne kisline pridobivajo iz gensko spremenjenih koruznih zrn (slika 12). PLA je termoplastičen polimer s tališčem okrog 175 °C. Proizvajajo ga ameriški Cargill Dow LLC (Nature Works[®]), Mitsui Toatsu Chemical (Lacea[®]), Shimadzu Chemical (Lacty[®]), Unitika (Terramac[®]).



Slika 12: Sinteza polimlečne kisline (PLA)

Proizvodnjo vlaken iz PLA polimera je 1997. leta patentiral Cargill Dow LLC pod blagovno znamko Ingeo™ [22], ki jih že proizvajata japonski Toray in ameriški Fiber Innovation Technology, Inc. (F.I.T.). Kanebo proizvaja PLA vlakna pod blagovno znamko Lactron® [23].

Vlakna oblikujejo po postopku iz taline. So okroglega ali profiliranega (trilobalnega) prereza. Imajo visok do srednji lesk. Izdelujejo tudi dvokomponentna vlakna tipa plašč/jedro v sestavi sintetični polimer/PLA.

Fizikalne lastnosti PLA vlaken so podobne PA 6 in PES vlaknom. Natezna trdnost 45–55 cN/tex, pretržni raztezek 20–35 %, modul elastičnosti 7,5–9 GPa. Pri 10-odstotnem raztešku je elastični povratek 64 %. V vreli vodi se krčijo 8–15 %, navzamejo 0,4–0,6 % zračne vlage. Barvajo se z disperzijskimi barvili.

S kopolimerizacijo osnovnega homopolimera se vlaknom zniža kristaliničnost, ki je za homopolimerna PLA vlakna okrog 80 %. Tališče vlaken PLA je 175–180 °C, temperatura steklastega prehoda 58 °C. Gostota vlaken je 1,25–1,27 gcm⁻³ in so lažja od PES/PET vlaken.

PLA vlakna se počasneje biorazgradijo kot bombažna in viskozna vlakna. Zaradi biorazgradljivosti so primerne za agrotekstilije, vlaknovine, higienske izdelke in embalažo.

4.0 INTELIGENTNA VLAKNA

Inteligentna ali pametna vlakna (*intelligent fibres, smart fibres*) so vlakna iz specialnih, na stimulacijo občutljivih polimerov ali nanokapsul, ki se s spreminjanjem mikrostrukture in lastnosti odzivajo na okolico: na spremembo temperature, na spremembo mehanske sile, na svetlobne spremembe, na spremembo v koncentraciji elektrolitov in pH ter spremembo električnega in magnetnega polja. Inteligentna vlakna omogočajo uravnavanje telesne temperature, ali omogočijo nevidnost za IR detekcijo, preprečujejo zamazanje izdelkov, sprožijo samoočiščenje npr. talnih oblog, preprečujejo navzemanje neprijetnih vonjav, skrbe za varnost, na primer pri vožnji z avtomobilom, skrbe za protibalistično zaščito, so biološko aktivna (bioaktivna), elektroprevodna in drugo.

Tehnološko najpogosteje izdelujejo inteligentna vlakna s premazovanjem vlaken s polimeri, občutljivimi na zunanje stimulacije ali z vgradnjo takih polimerov v vlakna po postopku s plazmo.

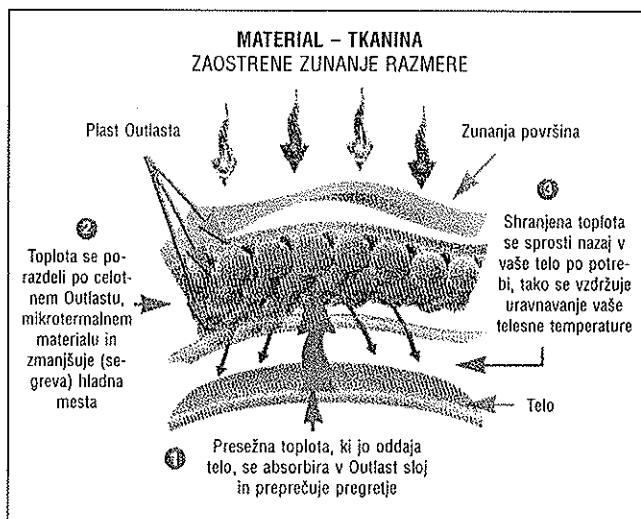
4.1 Vlakna s PCMs (*Phase Change Materials*)

Večina danes razvitih polimerov, ki razpoznavajo pogoje okolja, je občutljivih na spremembo temperature. Pri določeni temperaturi so podvrženi faznemu prehodu, zato jih označujejo kot PCMs (*Phase Change Materials*). Uporabo vlaken s PCMs predvidevajo za zaščito

pred mrazom in vročino, za športna oblačila, medicinske in higienske izdelke. Tehnologijo PCMs je razvila NASA in jo patentno zaščitila. 1987 so uporabo PCMs prvič preskusili v vlaknih.

Kapaciteta absorpcije toplote je za PCMs mnogo večja kot za vlakna. Za parafinski PCMs je absorpcija toplote okrog 200 kJ/kg in pri tem ostane temperatura parafina nespremenjena, kilogram standardnih vlaken pa se pri absorpciji le 1 kJ toplote segreje za eno stopinjo. Z absorpcijo toplote se prekinajo medmolekulske vezi v PCMs, ki preide v tekoče stanje.

PCMs materiali omogočajo uravnavanje telesne temperature z dinamičnim shranjevanjem in sproščanjem toplote v temperaturnem območju blizu temperature kože, od 29 do 35 °C, s spreminjanjem agregatnega stanja iz trdega v tekoče in nazaj. Gre za različne parafinske voske: likosan, oktadekan, heptadekan, heksadekan [24]. Vlakna, blago ali pene z vgrajenimi PCMs shranijo sproščeno telesno toploto in jo telesu vrnejo, ko jo le-to rabi glede na fizično aktivnost in zunanjo temperaturo, tako da telo ohranja stalno telesno temperaturo. Z vgrajenimi PCMs mikrokapsulami so danes na trgu le PAN in PES vlakna. Gateway Technologies Inc. ima zaščiteno tehnologijo PCMs, ki jih na vlakna največkrat površinsko nanašajo (zaščitena blagovna znamka Outlast) (slika 13).



Slika 13: Vgradnja Outlast sloja s PCMs v oblačilo (izsek)

4.2 Vlakna z dimenzijskim spominom (*Shape Memory Polymers*)

Polimerne materiale, ki se na spremembe okolja (temperature, pH ...) odzovejo s spremembo dimenzij, označujemo kot SMP (*Shape Memory Polymers*):

- Nekatere SMP polimere, kot so poli-N-izopropilakrilamidi (PNIPAAm), vzbudi sprememba temperature tako, da se dimenzijsko spreminjajo. Pri določeni ravnotežni temperaturi se polimer navzame vode iz

okolice in zelo nabrekne, se pretvori v gel, pri čemer se mu povečajo dimenzije. Pri zvišanju temperature gel izloči vodo in se skrči.

- SMP so tudi ionski polikarboksilni polimeri (PKP) z vezanimi šibkimi karboksilnimi skupinami, ki so občutljive na pH in elektrolite. Pri znižanju pH vrednosti karboksilne skupine izgubijo naboj (vežejo vodikov proton), s tem se zmanjša odboj med polimeri, ki privede do skrčenja gela (kolapsa). Dodatek soli v gel zmanjša efektivno razdaljo delovanja odbojnih sil, kar spet privede do skrčenja gela (kolapsa). SMP se po obstoječi tehnologiji nanašajo le na površino vlaken kot film, ki se za dobro reverzibilno delovanje ne sme poškodovati.
- Tretja generacija razvitih SMP so polietilenglikoli (PEG), ki so v gumi podobnem stanju in nikoli ne kristalizirajo izdatno. Z razliko od PNIPAAm in PKP polimerov, so se PEG zaradi elastičnosti sposobni upirati napetosti pri nabrekanju brez nevarnosti, da bi pri tem nastale površinske razpoke. Na bombaž, poliestrska ali druga vlakna nanosen PEG omogoča vnaprej določeno temperaturno prilagajanje in reverzibilno krčenje vlaken oziroma tekstilij.

Možnosti uporabe SMP materialov preučujejo za nadzorovano odmerjanje zdravil, hrane, parfumov, herbicidov, medicinske in higienske tekstilije, kot so otroške plenice, zdravilno spodnje perilo, ki pomaga celiti rane, kompresijski povoji, obliži, plenice za inkontinenco, sanitarne brisače, nogavice, agrotekstilije in drugo. Vlakna z SMP se skrčijo pri izpostavljenosti tekočini (vodi, krvi, ...), na primer SMP materiali kot kompresijski povoji, ki se pri stiku s krvjo skrčijo in zaustavijo krvavitev [25].

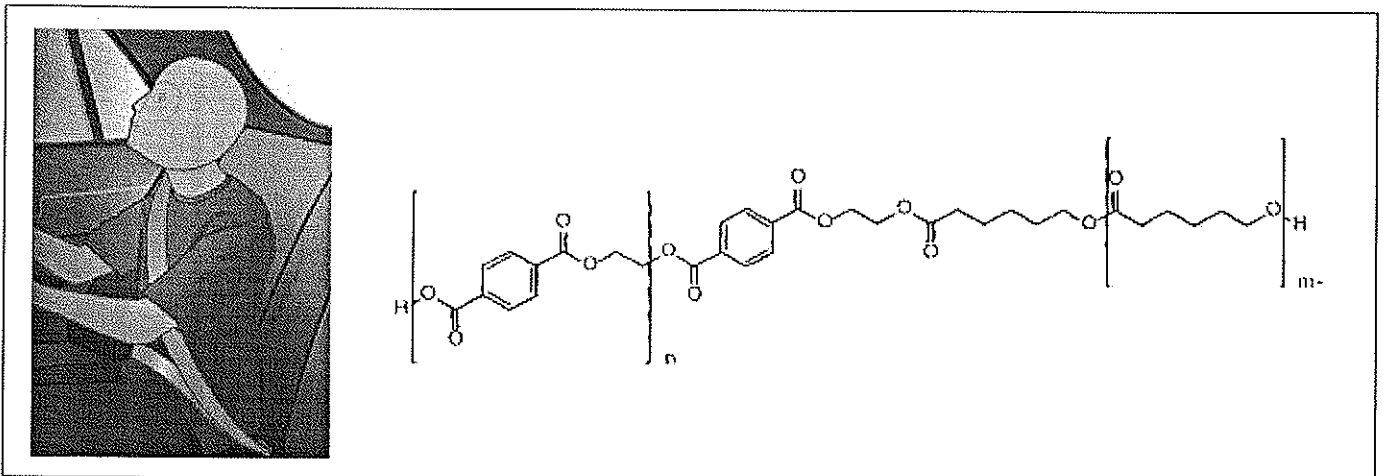
Predvidevajo uporabo SMP za oblačila, ki jih ne bo potrebno likati, ker se po raztezanju in deformacijah povrnejo v začetno obliko in dimenzije pri določeni vnaprej programirani temperaturi. Podjetje European Space Agency je razvilo srajco, ki se pri nošenju pri telesni temperaturi sama poravna [26].

V skupino vlaken z dimenzijskim spominom sodijo tudi patentirana vlakna Securus® (Honeywell) [27, 28], ki so prva visokozmogljivostna vlakna s tovrstnimi načrtovanimi lastnostmi. Namenjena so za avtomobilске varnostne pasove (slika 14).

So blok kopolimerna vlakna iz polietilentereftalata in polikaprolaktona (PET-PCL).

Iz taline kopolimera PET-PCL so izdelana vlakna Securus po posebni tehnologiji reaktivne ekstruzije. Poleg visoke trdnosti in visokega modula elastičnosti so sposobna hitre absorpcije udarne sile. Varnostni pasovi iz vlaken Securus so sposobni absorbirati 3-krat več energije kot standardni obstoječi varnostni pasovi. »Inteligentni« odziv predstavlja možnost raztežka vlaken do določene vrednosti pri vnaprej definiranem območju obremenitve. Vlakna Securus so sposobna tristo-penjskega odziva na napetost v območju 0–24 cN/tex napetosti oziroma med 0–15-odstotnim raztežkom. Pri nizkih napetostih do ≈8,8 cN/tex (do ≈2 % raztežka) visok modul elastičnosti vlaken omogoča, da varnostni pas pritiska potnika k sedežu. Med prometno nesrečo je ta funkcija zadrževanja potnika zelo pomembna, ker sproži mehanizem blokiranja varnostnega pasu. V tej prvi stopnji se vlakna Securus obnašajo podobno kot standardna poliestrska vlakna. Drugo stopnjo predstavlja območje višje napetosti, 8,8–13,2 cN/tex (2–9 % raztežka), v katerem se modul elastičnosti vlaken Securus izredno zniža in s tem omogoči izravnavanje obremenitve. Na tej stopnji je možen nadzorovan premik potnika naprej, s čimer se zmanjša sila, ki ji je potnik izpostavljen. V tretji stopnji, ki preseže obremenitev 13,2 cN/tex (nad 9–15 % raztežka), modul elastičnosti znatno naraste in zadrži potnika v sedežu, dokler vlakna ne uspejo absorbirati vse energije, ki se sprosti pri trku vozila v prometni nesreči.

V primerjavi s standardnimi poliestrskimi varnostnimi pasovi omogočajo pasovi Securus s programiranim obnašanjem večjo zaščito potnika predvsem z zmanjšano obremenitvijo prsnega koša in tudi glave pri manjših osebah in otrocih.



Slika 14: Inteligentna vlakna Securus za varnostne pasove (a) in kopolimer PET-PCL (b)

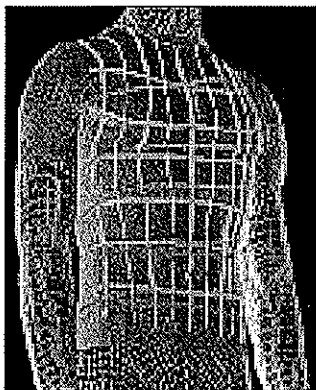
4.3 Barvno aktivna vlakna (*Chromic Materials*)

Med barvno aktivna inteligenčna vlakna spadajo vlakna, ki glede na zunanje okoliščine reverzibilno spreminjajo barvo (kameleonska vlakna). To so vlakna, ki spreminjajo barvo, in vlakna, ki postanejo nevidna. Občutljiva so lahko na toploto [29], svetlobo (vidno ali UV) in druga elektromagnetna valovanja [30], na električno energijo, na pritisk in topila oziroma tekočine.

- Vlakna, ki absorbirajo vidno svetlobo in pri tem spremenijo barvo, vsebujejo določena organska barvila (fotokromna barvila). Na UV svetlobo občutljiv spiropiran omogoča pojav odsotnosti barve vlaken odvisno od valovne dolžine absorbirane UV svetlobe.
- Vlakna iz nerjavnega jekla, ki so prevlečena s termokromnim črnilom, lahko priključena na električni tok spreminjajo barvo glede na toploto, ki jo prevodna vlakna pri tem sproščajo. Primer uporabe takih vlaken so stenski zastori, ki programirano spreminjajo barvo vgrajenih prevodnih vlaken.
- Acordis Speciality Fibres je razvil polipropilensko (PP) multifilamentno prejo Micropake, ki je izdelana iz PP z dodatkom koncentrata, ki vsebuje nad 60 % $BaSO_4$. Tkanine iz Micropake so »vidne« za rentgenske žarke. Preja ima boljše lastnosti od doslej v ta namen uporabljanega polivinilkloridnega (PVC) monofila.

4.4 Optična vlakna

Optična vlakna uporabljajo za optične senzorje za merjenje temperature, raztezka/napetosti, prisotnih plinov, bioloških substanc in vonjav [31]. Steklena optična vlakna so sposobna prenašati svetlobne signale na velike razdalje in jih že dalj časa uporabljajo za optične kable za potrebe telekomunikacij. Organska polimerna optična vlakna so iz polimetilmetakrilata (ta so na trgu že okrog 25 let), polistirena in polikarbonatov. Ta vlakna so uporabna za prenos podatkov na kratkih razdaljah do nekaj deset metrov in jih lahko vgrajujejo



Slika 15: Pametna srajca
- shema



Slika 16: Sensatex:
pametna srajca

v oblačila. Novi perfluorovi polimeri so zaradi nizke absorpcije tudi primerni za optična vlakna za komunikacijske naprave [32].

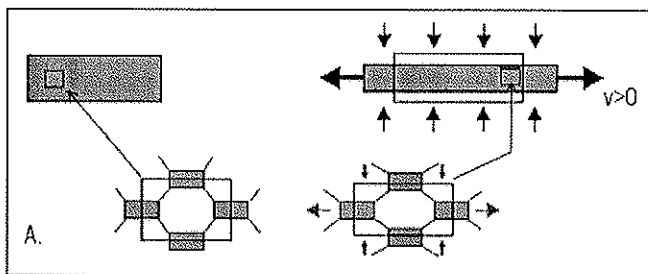
Uporaba optičnih vlaken v kombinaciji z elektroniko in informacijsko tehnologijo, ki vključuje računalnike, telefone ipd., je povezana z razvojem inteligentnih tekstilij. Podjetje Sensatex [33] je prvo uspelo izdelati in ponuditi tržišču »pametno srajco« (*smart T-shirt*) (slika 15, 16), ki ima vgrajena organska polimerna optična vlakna, povezana s procesorjem. Pametna srajca sveti v 256 barvah, odvisno od kritične stopnje vitalnih življenjskih funkcij – merjenje krvnega tlaka, srčnega utripa, sladkorja v krvi idr.

Za doseganje različnih barvnih učinkov, prenos gibljive slike na tekstilije ipd. so razvili samosvetilna optična vlakna (*Light Emitting Diodes LEDs*), ki jih napajajo neopazne baterije. Vlakna vgrajujejo skupaj z mikročipi in stikali v oblačila [34]. Pri France Telecom so taka optična vlakna dodatno perforirali v vzdolžni smeri, s čimer so dosegli, da vlakna svetijo po celotni dolžini in ne le na koncih.

Uporaba omenjenih organskih polimernih optičnih vlaken na področju tehničnih tekstilij bo omogočila razvoj naprednih sistemov, kjer bo informacijska tehnologija, integrirana s tekstilom (talne obloge, avtomobilski tekstil, zavese ...) manj opazna in udobnejša.

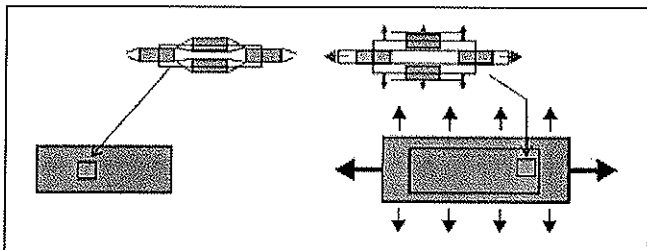
5.0 VLAKNA Z NEGATIVNIM POISSONOVIM ŠTEVILOM

Vlakna se pri raztezanju v vzdolžni smeri podaljšajo ($+\Delta l/l$), istočasno pa v prečni smeri skrčijo ($-\Delta d/d$). Razmerje med spremembo v vzdolžni smeri in spremembo v prečni smeri podaja Poissonovo število (μ). Klasična teorija elastičnosti izotropnih materialov napoveduje vrednosti Poissonovega števila od -1 do $+0,5$. Ker se prostornina pri raztezanju vlaken ne spremeni ali kvečjemu malo poveča ($\Delta V \geq 0$), je Poissonovo število manjše od 0,5, običajno od $+0,2$ do $+0,4$. Tako se pri raztezanju obnaša večina vlaken in materialov (slika 17). Le pri majhnem številu naravnih in sintetičnih materialov opazimo obraten pojav, da se jim debelina z raztezanjem povečuje oziroma zmanjšuje pri stiskanju (tlaku) (slika 18). Ti materiali imajo nega-



Slika 17: Model raztezanja običajnega vlakna s pozitivnim Poissonovim številom

tivno Poissonovo število. V angleščini so jih poimenovali »auxetic materials«, *anti-rubber* ali dilatacijski materiali (materiali, ki se širijo) [35]. Beseda »auxetic« izvira iz grške besede *auxesis*, ki pomeni povečanje. Uporaba tega izraza je znana v biologiji, kjer z njim opisujejo proces povečevanja prostornine celice pri rasti, preden nastopi njena delitev.

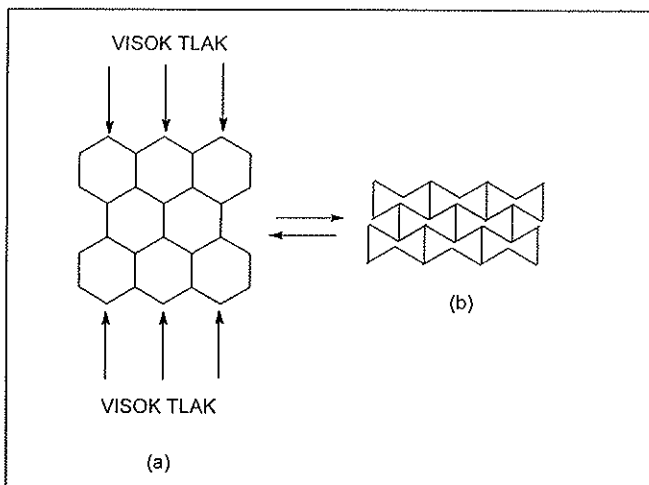


Slika 18: Model raztezanja vlakna z negativnim Poissonovim številom

Primere materialov z negativnim Poissonovim številom najdemo med polimeri, kovinami in keramiko. Nekateri naravni materiali imajo negativno Poissonovo število na molekulskem nivoju. Ta neobičajna lastnost ima pomemben vpliv na mehanske lastnosti, kot so strižni modul, odpornost na penetracijo in vtiske (*indentation resistance*), proti udarcem, dalje proti plotnim šokom in absorpciji zvoka.

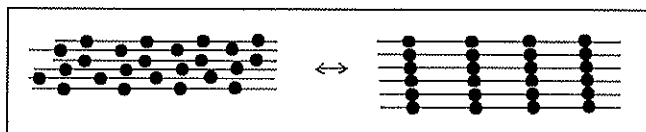
Leta 1987 je R. S. Lakes [36] izdelal prvi sintetični material z negativnim Poissonovim številom. Običajno poliuretansko peno, ki sestoji iz heksagonalnih celic v obliki satovja, napolnjenih z zrakom, je z uporabo visokih pritiskov uspel stisniti tako, da se je obrnila navznoter in se je bila pri običajnem raztezanju sposobna v določeni meri razširiti tudi v prečni smeri. Obnašanje take strukture pri raztezanju je prikazano na sliki 19.

Leta 1988 je K. E. Evans odkril, da se običajnemu politetrafluoroetilenskem (PTFE) filmu pri raztezanju poveča debelina. Gre za t. i. gumbasto fibrilno mikrostruk-



Slika 19: Model visokotlačnega stiskanja heksagonalne strukture (a), ki privede do nastanka strukture z negativnim Poissonovim številom (b)

turo (*nodule-fibril microstructure*), ki se z raztezanjem v smeri fibrilov uredi v mreži podobno strukturo, ki se širi tudi v prečni smeri (slika 20). Evans je ta model mikrostrukture prenesel s PTFE na druge polimere, vključno PE in PP [37, 38]. Za izdelavo vlaken z negativnim Poissonovim številom so na Bolton Institutu uporabili polietilen ultravisoke molekulske mase (PE UHMW) v prahasti obliki. Postopek temelji na konvencionalnem oblikovanju vlaken iz taline z določenimi novimi pogoji, ki so omogočili nastanek nove mikrostrukture. PE prah sintrajo tako, da se pri tem natali, nato sledi oblikovanje vlaken. Dobljeni PP filamenti so premera do 1 mm z modulom elastičnosti od 0,2 do 2 GPa [39].



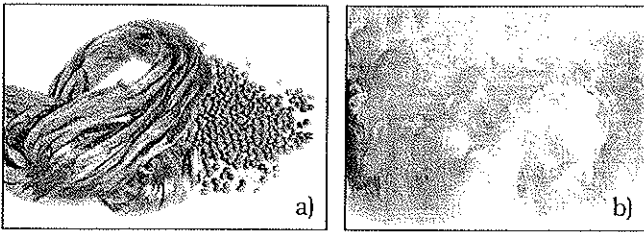
Slika 20: Model gumbasto-fibrilne mikrostrukture po Evansu

Z razvojem kontinuirnega postopka izdelave takih materialov v vlaknati monofilamentni ali multifilamentni obliki in iz teh izdelanih tkanin ali pletiv se bodo razširile možnosti izkoriščanja enkratnih lastnosti materialov z negativnim Poissonovim številom, te so: odpornost vlaken na izvlečenje, žilavost, absorpcija energije, odpornost proti stiskanju in razjedanju, odpornost proti udarcem, sproščanje ujetih delcev snovi, odpornost proti obrabi in mikroporoznost. Vlakna so uporabna za kompozite, za zaščitna oblačila (čelade, jopiči, športna oblačila), filtre, za mehanska pljuča (mikroporozni votli materiali), vrvi, korde, ribiške mreže, za notranjo opremo, v biomedicini, za medicinske povoje in vlaknate čepe.

6.0 NOVA KEMIČNA BELJAKOVINSKA VLAKNA

6.1 Sojina vlakna

Sojina vlakna [40] (slika 21) so danes edina kemična regenerirana beljakovinska vlakna na tržišču. Surovina za sojina vlakna so beljakovine soje, ki ostanejo po pridobivanju olja iz sojinih zrn in jih pridobijo z novo bioinženirsko metodo. Iz sojinih ostankov najprej izločijo beljakovino globulin, ki jo očistijo (iz ene tone sojinih zrn pridobijo okrog 400 kilogramov globulina) in z dodatnimi kemičnimi reagenti in biološkimi encimi spremenijo globularno (kroglasto) strukturo, da jo je možno predelati v vlakna. Iz sojinih beljakovin izdelajo predilno tekočino in oblikujejo vlakna po mokrem postopku iz raztopine. Regenerirana vlakna v obliki kabla stabilizirajo z acetiliranjem v kisli kopeli pred rezanjem v kratka vlakna. Med procesom pređenja dodajo antibiotike (proti bakterijam *Coli Bacillus*, *Staphylococcus Aureus* in *Candida Albicans*), protivnetna sredstva in UV zaščitna sredstva.



Slika 21: Sojina vlakna: surova (a) in beljena (b)

Swicofil [41] proizvaja sojina vlakna dolžine 38–76 mm, finoče 0,9–3 dtex. Specifična pretržna napetost vlaken v suhem je 38–40 cN/tex, v mokrem od 25 do 30 cN/tex, pretržni raztezek pa od 18 do 21 %, elastična povratnost vlaken je slaba. Imajo lep lesk. Gostota vlaken je 1,29 g/cm³.

Vlaknom se ob povišani temperaturi bistveno spremenijo lastnosti. Pri 160 °C se jim spremeni barva v svetlo rumeno, pri 200 °C pa postanejo močno rumena. Če temperaturo povečujemo, začno pri 300 °C vlakna ogleneti in postanejo rjava. Zaradi teh sprememb pri razmeroma nizkih temperaturah je potrebno vlakna obdelovati in barvati pri temperaturi, nižji od 100 °C. Poleg tega pri temperaturi nad 100 °C vlakna postanejo trda na otip, vendar jim s pranjem v milnici pri temperaturi nad 60 °C mehkost povrnemo.

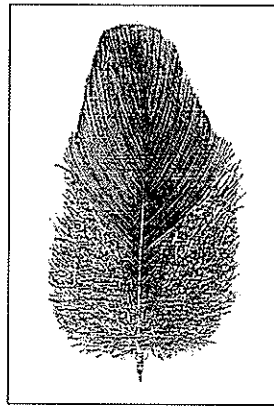
Vlakna se skrčijo v vreli vodi in v vročem zraku za 2,2 %. Likanje izdelkov iz sojinih vlaken ni potrebno. Sojina vlakna imajo dobro odpornost na elektrostatično nabijanje, kar pripomore k prijetnejšemu nošenju oblačil. So dobro odporna na UV svetlobo.

Sojina vlakna se lahko uporabljajo predvsem v mešanicah s kašmirskimi vlakni, svilo, bombažem, bambusovimi in elastanskimi vlakni. Uporabljajo jih za osebno in posteljno perilo, srajce, večerne obleke, otroška oblačila, brisače in športna oblačila.

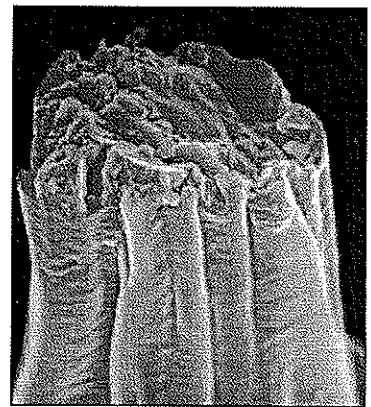
6.2 Vlakna iz ptičjega perja

Izkoriščanje ptičjega perja, predvsem puranjega in piščančjega, za vlakna pomeni tudi reševanje problemov stranskega produkta živilske industrije, ki je nastal po izbruhu bolezni BSE in je predelava ptičjega perja v živalsko krmo prepovedana. Samo v ZDA ga proizvedejo letno okrog 1–2 milijona ton. Vlakna iz ptičjega perja (sliki 22 in 23) so keratinske sestave, visoko kristalina, mehansko in termično dobro odporna. Iz puranjega perja pridobijo fina puhasta in groba vlakna. Puhasta vlakna, ki izvirajo iz spodnjega dela ptičjih peres, so do okrog 40 mm dolga, finoče okrog 55 dtex, trdnosti okrog 3 cN/tex in pretržnega raztezka okrog 17 %. Groba vlakna izvirajo iz vrhnjega dela ptičjih peres in so dolga do okrog 50 mm, finoče okrog 140 dtex, trdnosti okrog 7 cN/tex in pretržnega raztezka okrog 8 %.

Do maksimalno 40 % dodatek vlaken iz puranjega perja drugim vlaknom izboljša toplotno izolacijske sposobnosti izdelkov. Uporaba vlaken iz puranjega



Slika 22: Puranje pero



Slika 23: Povečano vlakno iz puranjega perja

perja je bila do sedanj raziskana v mešanicah s poliamidnimi, poliestrskimi in celuloznimi vlakni za toplotne izolatorje in za vlaknovine, namenjene zmanjšanju erozije zemlje [42].

Nakazujejo se tudi možnosti izkoriščanja ptičjega perja v vlaknati obliki za absorpcijo težkih kovin pri čiščenju vode in drugih sistemov. Absorpcija težkih kovin je odvisna od pH, pri čemer so beljakovine kot amfoterne snovi zelo ustrezne. Kombinacija nanovlaknate strukture in aktivnih funkcionalnih skupin v vlaknih iz ptičjega perja daje idealne biosorpcijske sposobnosti v tehnološko visoko razvitih filterih za absorpcijo težkih kovin [43].

7.0 POLIESTRSKA VLAKNA Z LATENTNO ELASTIČNOSTJO ZA RAZTEGLJIVE (STRETCH) IZDELKE

Razvoj poliestrskih vlaken s prikrito (latentno) elastičnostjo, ki so sposobna pri plemenitenu (npr. barvanju) razviti izredne elastične lastnosti s povratnimi raztezki tudi nad 100 %, predstavlja nove uporabne možnosti. Teksturirane multifilamentne preje iz teh vlaken se po elastičnosti in elastičnem povratku uvrščajo med visoko raztegljiva elastanska vlakna (EL) in manj raztegljive poliamidne (PA) in poliestrske polietilenteraftalatne (PES/PET) teksturirane preje.

7.1 Polibutilentereftalatna vlakna (PBT)

Polibutilentereftalatna (PBT) vlakna so poliestrska vlakna, sintetizirana iz tereftalove kisline in 1,4 butandiola (butilenglikol). Polibutilentereftalat so prvič sintetizirali leta 1968. Odsotnost velikih stranskih skupin, gibkost segmentov med benzenskimi obroči in pravilnost kemične strukture v glavni verigi omogočajo dobro kristalizacijo molekul, zato je PBT visoko kristalinična snov, kar pomembno določa njegove lastnosti. Za razliko od poliamidov je molekula PBT nizko polarna, zato navzema malo vode. Daljša izpostavljenost

PBT vroči vodi ali vodni pari povzroči depolimerizacijo molekul. Zaradi visoke kristaliničnosti je PBT odlično kemično odporen na večino organskih topil. Je dobro odporen na obrabo.

PBT vlakna je možno barvati pri vrenju brez carrierjev, barvne obstojnosti so dobre in so tudi v mokrem obstojna na klor. Odlikujejo se po zelo mehkiem otipu, veliko boljši elastičnosti in elastičnem povratku kot PA 6,6, PA 6 in PES (PET). Elastičnost PBT preje se razvije pri obdelavah pri povišanih temperaturah, na primer pri barvanju. Nekatere lastnosti PBT vlaken so razvidne iz preglednic 1 in 2.

PBT vlakna so navkljub visokim cenam surovine in proizvodnih stroškov, ki so bili višji od stroškov proizvodnje PET vlaken, zaradi svojih posebnih lastnosti, to je odlične elastičnosti, že v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, uspešno uporabljali na področju talnih oblog. V Evropi je podjetje Hoechst proizvajalo PBT predivo Boden Trevira® za preje, iz katerih so izdelovali preproge in tekače odlične elastične povratnosti.

PBT multifilamentne preje proizvajajo danes Gruppo Bonazzi Aquafil, Trevira, Nylstar prejo Elite®, Mirogljo Group prejo Elastil®, Teijin proizvaja monofilamente Elas-Ter® idr.

Uporaba preje Elite® je možna na najrazličnejših področjih: za spodnje perilo, kopalke, športna oblačila in oblačila za prosti čas. Na Japonskem so polibutilentereftalatna vlakna uporabljali predvsem za izdelavo kopalnih oblek in finega damskega perila. V ZDA so izdelovali prejo za raztegljivi jeans in športna oblačila.

Italijanski podjetji Mirogljo in Montefibre sta pred kratkim začeli s proizvodnjo modificirane PBT multifilamentne preje Mirhon WE za športna oblačila (100 %) in za mešanice s poliestrskimi (PET), viskozniimi, poliakrilonitrilnimi vlakni, bombažem, lanom in volno. Poleg visoke elastičnosti se preja Mirhon WE odlikuje po dobri obarvljivosti pri vrenju z disperznimi in tudi bazičnimi barvili brez uporabe carrierjev, enokopelnem barvanju mešanic PBT/PAN in PBT/WO in doseganju dvobarvnih učinkov v mešanicah PBT/PET [44].

7.2 Elasterell-p

Elasterell-p je ime za novo podskupino poliestrskih vlaken, ki jim je skupna visoka elastičnost in jih je FTC (Federal Trade Commission) l. 2002 definiral kot poliestrska vlakna, izdelana iz dveh ali več kemično različnih polimerov (od katerih ne sme noben presehati 85 ut. %), ki vsebujejo estrske skupine kot prevladujoče funkcionalne enote (najmanj 85 ut. % v celotnem polimeru v vlaknu), in morajo imeti najmanj 100 % raztegljivost in po razbremenitvi hitri trenuten povratek v neraztegnjeno začetno obliko [46].

DuPont Textiles & Interiors (DTI), danes DuPont INVISTA, je razvil prvo elasterell-p vlakno T-400 s prvotnim imenom DP 0002. Vlakno trži pod blagovno znam-

ko Lycra®. Vlakno T-400 je dvokomponentno tekstilno vlakno iz polietilentereftalata (PET) in polibutilentereftalata (PBT). Od čistih PET vlaken se razlikuje tudi v stopnji polimerizacije in s tem povezanimi lastnostmi, ter po spiralni kodravosti, ki nastane zaradi razlik v krčenju dveh različnih prisotnih polimerov. Zaradi tega je vlakno T-400 samokodravno, njegova elastičnost ni mehansko izzvana s teksturiranjem, je elastično samo po sebi. Po elastičnosti presegajo teksturirane poliestrske preje z navideznim vitjem iz PET, PTT in PBT, ki je pod 35 % (preglednica 1). Preja T-400 odlično ohranja elastične lastnosti, ki se z normalnim vzdrževanjem (pranjem, kemičnim čiščenjem) ne poslabšajo, kot je to običajno pri teksturiranih poliestrskih prejah. DuPont navaja, da je po večkratnih pranjih pri 40 ± 5 °C z vodo, detergentom, merico klorovega belila in sušenju pri 65–70 °C elastičnost T-400 ostala nespremenjena. Otipa so mehkejšega kot PET teksturirana vlakna.

Za udobnost raztegljivih izdelkov je potreben minimalni 20-odstotni elastični raztezek blaga. Pri DuPontu trdijo, da preja, ki ima elastični raztezek nad 35 %, omogoča visoko udoben izdelek, preja z 28-odstotnim elastičnim raztezkom (PBT) pa še ne omogoča izdelave visoko kakovostnega raztegljivega (*stretch*) izdelka.

DuPont je primerjal elastični raztezek teksturirane preje iz PET, PBT in T-400 ter preje kombinirane iz elastanske preje in PET teksturirano prejo (9 % EL, 44 dtex in 91 % PET, 167 dtex) (preglednica 2).

Preglednica 2: Elastični raztezek T-400 v primerjavi z drugimi PES prejami.

Lastnosti	PET	PBT	T400	PET/ elastan (91/9)
Elastični raztezek (%)	21	28	37	38
Raztezek blaga (%)	10	9	23	21

8.0 ZAKLJUČEK

Razvoj novih vlaken je danes zelo hiter. Zelo pogosto se prične iz potreb določenega specialnega področja uporabe, najpogosteje za vojaške in vesoljske namene, za specialna zaščitna oblačila ter za vrhunski in ekstremni šport.

Razvoj novih vlaken je usmerjen v večfunkcionalnost, v vlakna načrtovanih lastnosti, pridobivanje vlaken iz obnovljivih surovinskih virov, izdelavo v ekološko čistih postopkih, ki dodatno ne obremenjujejo okolja, nizko porabo energije, možnostjo recikliranja in enostavno, predvsem biološko razgradnjo.

9.0 LITERATURNI VIRI

- [1] PAO, WC. *Nanotech in textiles to hit NT\$15bil.*
http://www.chinapost.com.tw/p_detail.asp?id=18385&grp=A&onNews=1

- [2] WENDORFF, JH. *Polymer nanofibres, nanotubes, nanocables: preparation, properties, applications*. <http://www.sun.ac.za/unesco/Conferences/Conference2003/ABSTRACTS/>
- [3] HUANG, ZM., KOTAKI, M., RAMAKRISHNA, S. Spinning a continuous nanofibre. *Innovation*, 2003, vol. 3, no. 4.
- [4] *Nanotechnology*. Global Industry Analysts, Inc. (2003), 1015 p. <http://www.marketresearch.com/researchindex/910420.html#pagetop>
- [5] Japan's Toray uses nano-sized fibers for absorbent nylon textile. <http://nanotech-now.com/2002-october-news.htm>
- [6] Toray: New PA Nanofiber Technology. *Chemical Fibre International*, 2003, vol. 53, p. 5.
- [7] *Solvent Solutions*. <http://www.inteletex.com/FrontPageFeatures.asp?PubId=&NewsId=2469>
- [8] *Turning Waste Into Fibre*. <http://www.hindu.com/seta/2003/11/20/stories/2003112000100200.htm>
- [9] RODIE, BJ. Quality Fabric of the month, Like Water Rolling Off a Ducks Back, *Textile Industries Media Group*. – *News*. <http://www.textileworld.com/News.htm?CD=2058&ID=426>
- [10] BALL, P. *Nano-Velcro Binds Faster than Strongest Glue*. <http://www.nature.com/nsu/031020/031020-5.html>
- [11] STANKOVIČ ELESINI, U. *Medena rosa na bombažnih vlaknih*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 1994, str. 14–15.
- [12] DAGAONKAR, VS. in AURANGABADKAR, LP. *Bt cotton, the myth and the reality*. http://www.indiaagronet.com/indiaagronet/BT_COTTON/center.htm#myth
- [13] *Bt Cotton*. http://www.ucsusa.org/food_and_environment/biotechnology_archive/page.cfm?pageID=360
- [14] MILIUS, S. *Bt Cotton: Yields up in India; pests low in Arizona*. <http://www.sciencenews.org/articles/20030208/fob5.asp>
- [15] LAZARIS, et al. Spider Silk Fibers Spun from Soluble Recombinant Silk Produced in Mammalian cells. *Science*, 2002, vol. 295, p. 472–476.
- [16] *BioSteel®. An innovative biomaterial*. <http://www.nexiabioitech.com/pdf/BioSteelExpandedProfile-English.pdf>
- [17] *Nexia and US Army spin the world's first man-made spider silk performance fibres*, http://www.eurekalert.org/pub_releases/2002-01/nbi-nau011102.php
- [18] TURNER, JD. *BioSteel® Performance Fibres: Military Applications of Recombinant's Spider Silk*. V *6th CTI-DND Conference and Military Textiles*, 2003 April 3–4. http://www.textiles.ca/ctidndconference/6th_2003/presentations/DrJefferyTurnerNexia.pdf
- [19] BLICKMAN, N. Federal trade commission 16 CFR Part 303. *Rules and regulation under the textile fiber product identification act* (15 U.S.C 70e(c)). April 2002, p. 1–15.
- [20] SATO, T. Polybutylenterephthalatfasern: Garne, Gewebe und Einsatzgebiete. *Chemiefasern/Textilindustrie*, 1991, vol. 40/92 Jahrgang, p. 35.
- [21] *Sorona*. <http://www.dupont.com/sorona/sitelargerfont/biotechnology.html>
- [22] *Ingeo*. <http://www.cargilldow.com/ingeo/home.asp>
- [23] *Ecological fiber made from corn*. <http://www.kanebotx.com/english/new/corn-f.htm>
- [24] COX, R. Synopsis of the New Thermal Regulating Fiber Outlast. *Chemical Fibres International*, 1998, vol. 48, no. 6, p. 475–479.
- [25] PARYS, van M. *Coating and Laminating: The »Must-Have«*. <http://www.unitex.be/Downloads/niet-leden/unitex%20nr.%206.pdf>
- [26] *ESA and industry to discuss how space technology can improve textiles*. http://www.esa.int/export/esaCP/ESASB4OED2D_Benefits_0.html
- [27] SRIDHARAN, S. et al. *High-molecular weight polymers and methods of manufacture*. US P 20030092853 (15. 05. 2003)
- [28] LEVY, M. et al. *Securus™ Fiber, A Load Leveling Copolymer for Safer Seat Belts*. http://www.performancefibers.com/securus/pdfs/Securus_Fiber_Development.pdf
- [29] TOWNS, A. The Heat is on for New Colours. *JSDC*, 1999, vol. 115, no. July/August, p. 196–198.
- [30] *Chromic Materials*. <http://www.tut.fi/units/ms/teva/projects/intelligentt.../chromic.ht>
- [31] BOISDE, G. et al. *Chemical and Biochemical Sensing with Optical Fibers and Waveguides*. Artech House, 1996.
- [32] HARLIN, A. et al. Polymeric optical fibres and future prospects in textile integration. *AUTEX Research Journal*, 2002, vol. 2, št. 3. <http://www.autexrj.org/No5/0036.pdf>
- [33] *Sensatex*. <http://www.sensatex.com/>
- [34] GOULD, P. Textiles gain intelligence. *Materials Today*, 2003, no. 10, p. 39–43.
- [35] WITZE, A. 'Anti-rubber' materials stretch possibilities. <http://www.philly.com/mld/inquirer/2003/11/09/news/nation/7215434.htm>
- [36] LAKES, R. *Negative Poisson's Ratio Materials: Names- Anti-Rubber, Auxetic, Dilational*. <http://silver.neep.wisc.edu/~lakes/PoissonEAT.html>
- [37] BURKE, M. *A stretch of the imagination*. *Dynamic materials*. <http://research.dh.umu.se/dynamic/artiklar/shape/stretch.html>
- [38] ALDERSON, A. A triumph of lateral thought. *Chemistry & Industry*, 1999, p. 384–391. <http://www.bolton.ac.uk/research/materials/pdf/c&i-review.pdf>
- [39] SCOTT, PJ. et al. Auxetic Materials – an Introduction. *Materials World*, 2000, vol. 8, p.12–14.
- [40] *World Exclusive Soybean Protein Fibre!* <http://www.soybeanfibre.com>
- [41] *Soybean protein fibres*. <http://www.swicofil.com/soybean-proteinfiber.html>
- [42] George BR. et al. Utilization of Turkey Feather Fibres in Nonwoven Erosion Control Fabrics. *Int. Nonwovens J.*, 2003, p. 45–52.
- [43] KAR, MM. et al. Keratin protein nano-fiber for removal of heavy metals and contaminants. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 2002, vol. 702, p. U2.1.1-U2.1.7.
- [44] FRANCALANCI, F. in D'ANDOLLFO, F. New PBT fiber developments. *Melliand International*, 2003, vol. 9, no. 6, p. 111.
- [45] *FTC Approves »Elasterell-P« as polyester alternative*. http://www.afma.org/f-info/More_News/ftc-112702.htm