

## Tekstilne strukture namijenjene za sportsku odjeću

**Sandra Stojanović**, mag. ing. tekst. tehnol.<sup>1</sup>

Prof. dr. sc. **Jelka Geršak**, dipl. ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tehnološki fakultet Leskovac, Univerzitet u Nišu

Niš, Srbija

<sup>2</sup> Raziskovalno-inovacijski center za design in oblačilno inženirstvo,

Fakulteta za strojništvo Univerza v Mariboru

Maribor, Slovenija

e-mail: sandra.k770@gmail.com

Prispjelo 11.12.2018.

UDK 677.017

Pregled

*Aktivna sportska odjeća je odjeća određenih funkcija sa svrhom zadovoljavanja očekivanih svojstava i pružanje odgovarajuće pomoći sportašima u postizanju sportskih rezultata. Osim funkcionalnosti, važan aspekt sportske odjeće je i toplinsko fiziološka udobnost kod nošenja, posebno kada se sportske aktivnosti odvijaju u zahtjevnim temperaturnim uvjetima (kod visokih ili niskih temperatura) tijekom dugog vremenskog razdoblja. Pravilan izbor odjeće može značajno smanjiti dinamička i toplinska opterećenja sportaša. Razvoj tekstilne znanosti i tehnologije usmjeren je u istraživanja razvoja vlakana visokih i posebnih svojstava za razne primjene. Tako se mnogo ulaže u tehnološke inovacije tekstilnih materijala (od vlakana, pređa, plošnih i 3D tvorevina) što rezultira poboljšanim svojstvima sportske odjeće. Osim toga, mnogo se pažnje posvećuje dizajnu koji također doprinosi poboljšanju performansi sportske odjeće. Ovdje će se ukazati na postignuća u području razvoja sportske odjeće namijenjene profesionalnim sportašima. Razmatrani su čimbenici utjecaja na udobnost sportske odjeće, a posebna pozornost posvećena je inovacijama u području materijala s učinkom hlađenja.*

**Ključne riječi:** sportska odjeća, vlakna specijalnih svojstava, tekstilne strukture, odjeća s učinkom hlađenja, toplinsko fiziološka udobnost

### 1. Uvod

Sportska odjeća ima važnu ulogu u dostizanju sportaša. Na performanse sportske odjeće utječu termodinamička, aerodinamička i/ili hidrodinamička svojstva ugrađenog materijala te dizajn koji ima znatan utjecaj na performanse sportske odjeće [1].

Posljednjih godina u području vlakana za izradu vrhunske sportske odjeće i opreme bilježi se posebno velik napredak. Napretkom tehnologije i razvojem visokoučinkovitih materijala razvijena je sportska odje-

ća poboljšanih svojstava, posebno visokih aerodinamičkih i apsorpcijskih svojstava, propusnosti zraka i vodene pare, čvrstoće i prijanjanja. Mnogo je učinjeno i na području dizajna [2]. Sportska odjeća je tako projektirana da sportaša ne ograničava u aktivnosti te mu pruža potporu u tjelesnoj aktivnosti.

Sportska odjeća prema razini profesionalnosti i namjeni može se svrstati u četiri skupine: funkcionalnu, osnovnu (*basic*), ležernu (*casual*) i modnu (*fashion*) sportsku odjeću [3]. Funkcionalna sportska odjeća je

odjeća visokih svojstava koja poboljšavaju performanse i ima posebnu funkcionalnost. Tome doprinosi primjena suvremene tehnike i tehnologije pletenja bešavnih proizvoda, koje su otvorile ogromne mogućnosti dizajna i inovacija (u smislu udobnosti, estetike i funkcionalnosti) za sportsku odjeću [4].

Osnovna sportska odjeća je dopadljivijeg dizajn [3], dok je ležerna sportska odjeća replika funkcionalne sportske odjeće koja se nosi u slobodno vrijeme, najčešće kod kuće kad se ne očekuje povećana fizička

Tab.1 Funkcionalni zahtjevi za sportsku odjeću prema namijenjenom sportu [2]

Vrsta sportske odjeće	Funkcionalni zahtjev
Majice i kratke hlače za tenis, odbojku, golf, nogomet, odjeća za bejzbol, atletiku i trenerke	Apsorpcija znoja, brzo sušenje, hlađenje
Odjeća za skijanje, vjetrovke, odjeća za kišu	Paropropusnost, otpornost na vodu, vodonepropusnost, termoizolacija
Kostimi za plivanje, odora za klizanje, odora za skijaške skakače, odjeća za skijanje, biciklistički dresovi	Nizak otpor za vodu i zrak
Kupaći kostimi, tajice, gimnastički dresovi, kostimi za klizanje	Rastezljivost, neprozirnost
Odjeća za daskanje, odora za bejzbol, odora za nogometaše	Visoka čvrstoća, otpornost na abraziju, rastezljivost

aktivnost i znojenje [3, 5]. Modna sportska odjeća nastala je suradnjom poznatih modnih dizajnera, modnih kuća i sportskih brendova i profesionalnih sportaša, a kod nje se najviše pažnje posvećuje modrenom dizajnu i estetskom izgledu odjeće [2, 6-8].

Naravno, osnovna podjela sportske odjeće je prema sportu za koji je namijenjena. Ovisno o sportu bit će različiti zahtjevi na funkcionalna svojstva. Neki sportovi zahtijevaju više fizičkog napora od drugih, odnosno razlikuju se po razini aktivnosti.

Chowdhury i sur. [2] svrstali su funkcionalne zahtjeve za sportsku odjeću prema određenom sportu, tab.1.

Svojstva osnovne sportske odjeće ovise o vrsti primijenjenih vlakana, vrsti i strukturi tekstilnih plošnih struktura i dizajnu. Najčešće se projektiraju sljedeća svojstva:

- toplinska (termoregulacija),
- propusnost zraka i vodene pare,
- dimenzijska stabilnost (često i u vlažnim uvjetima),
- čvrstoća i trajnost,
- jednostavnost održavanja (njege),
- udobnost (ugodnost),
- funkcionalnost dizajna.

Velika popularizacija zdravog načina života i sporta dovela je do značajnog povećanja tržišta sportske odjeće i opreme posljednjih dvadeset godina [3, 9]. Američka agencija za istraživanje tržišta Global Industry Analysts, Inc. predviđa da će se globalno tržište odjeće za sport i rekreaciju povećati za oko 26 % do 2024. godine [9].

## 2. Udobnost pri nošenju aktivne sportske odjeće

Udobnost odjeće jedan je od odlučujućih kriterija za ocjenjivanje kvalitete pojedinih odjevnih predmeta i od velike je važnosti u odabiru odjeće [10]. Udobnost, koju osjećamo tijekom nošenja odjeće, subjektivna je reakcija koja proizlazi iz djelovanja različitih čimbenika. Tekstilija od koje je izrađena odjeća mora imati dobru poroznost, kako bi se prilikom pokreta tijela mogla odvijati difuzija vodene pare kroz pore prema okolini. Odjeća mora omogućiti toplinsku izolaciju u hladnim uvjetima, visok stupanj propusnosti vlage i dobru ventilaciju kako bi se osigurala optimalna termoregulacija ljudskog tijela, jer tijelo mora biti održavano u toplinskoj ravnoteži, tj. toplinska energija stvorena metabolizmom i energija dobivena izvana, mora biti jednaka gubitku toplinske energije tijela. Rezultat uravnotežene interakcije u sustavu „čovjek-klima-odjeća” izražava se osjećajem udobnosti prilikom nošenja odjeće. U praksi često, naročito kod sportske odjeće i aktivnosti, toplina isparavanja ne može održavati uravnotežene interakcije, tj. toplinske bilance. To se odražava u fiziološkom odazivu tijela, koje izlučuje veću količinu znoja, koja se ne može ispariti s površine tijela pa se kondenzira. Da bi se mogla postići zadovoljavajuća udobnost kontakta, kondenzirana komponenta mora se što brže odvesti od površine kože u

udaljenije slojeve odjeće i u okolinu. To se postiže adsorpcijom vlage na površinu tekstila i migracijom u daljnje slojeve te kapilarnim prijenosom kroz kapilare vlakana i pređa. Oba mehanizma ovise o svojstvima vlakana, finoći vlakana i pređe, njihovim površinskim karakteristikama te konstrukcijskim karakteristikama pređe i plošnog proizvoda.

Prema tome zahtjevi koje odjevni predmet kao i sportska odjeća moraju ispunjavati, temelje se na sljedećim kriterijima [11]:

- Fiziološkoj funkciji, od koje se očekuje da odjeća, osigurava toplinsku ravnotežu nosioca;
- Kožno-senzorskoj udobnosti;
- Ergonomskoj funkciji: odjeća mora održavati ergonomsku udobnost;
- Estetskoj funkciji: odjeća mora zadovoljiti modne zahtjeve (boja, kroj i dizajn).

Sa stajališta termofiziološke udobnosti, odjeća se može promatrati kao tzv. “kvazi-fiziološki” sustav, koji razmjenjuje toplinu tijela i okoliša te osigurava dobru mikroklimu između tijela i okoliša [11]. Odjeća s dobrim termofiziološkim svojstvima treba omogućiti u različitim klimatskim uvjetima i kod različitih fizičkih aktivnosti nositelja toplinsku fiziološku ravnotežu uz minimalno opterećenje tijela, što znači, da osoba u odjeći ne osjeća ni hladnoću ni toplinu, već termofiziološku udobnost. Utjecaj odjeće na toplinsko opterećenje čovjeka kod različitih opterećenja i kod različitih kombinacija klimatskih veličina može se eksperimentalno odrediti mjerenjem fizioloških parametara: temperature kože, brzine otkucaja srca, količine izlučenog znoja, te subjektivne procjene toplinske udobnosti. Temperatura ljudskog tijela važan je pokazatelj karakteristika povezanih s toplinom, kao što su udobnost, stres uzrokovan toplinom ili hladnoćom [12].

U proučavanju toplinsko fiziološke udobnosti čovjeka značajnu ulogu imaju dvije fiziološke veličine: prosječna temperatura kože (određuje

udobnost odjeće u hladnim uvjetima) i količina izlučenog znoja na koži čovjeka (određuje udobnost odjeće u toplim klimatskim uvjetima) [13]. Sposobnost prijenosa znoja tekstilnih plošnih tvorevina namijenjenih proizvodnji sportske odjeće ima ključnu ulogu u određivanju razine udobnosti [14]. U ekstremnim uvjetima sportaš može proizvesti do 2,5 l znoja [15]. Znoj se kroz tekstilnu plošnu tvorevinu prenosi putem dvaju srodnih procesa, kvašenja i apsorpcije [16]. Kada dođe u dodir s tekstilom, dolazi do različitog stupnja kvašenja. Taj se proces odvija tijekom interakcije zraka i tekućine s tekstilnim plošnim tvorevinama. Ispitivanja kvašenja temelje se na mjerenju dodirnih kutova na granicama površina, kako bi se odredio stupanj kvašenja kada su tekućina i materijal u interakciji [17]. Mogućnost kvašenja tekstilne plošne tvorevine ovisi o svojstvima vlakana i o površinskim svojstvima materijala [18-20]. Tekućina se dalje prenosi kroz tekstilnu plošnu tvorevinu putem kapilarnog djelovanja ili apsorpcije. Sposobnost upijanja ovisi o vrsti vlakana, konstrukciji pređe, strukturi tekstilne plošne tvorevine, završnoj obradi te vlažnosti i temperaturi okoline [16, 21]. Kožno senzorna ili osjetilna udobnost, koja se odnosi na fizički kontakt materijala s kožom, određuje se osjećajem ugodnosti ili neugodnosti nositelja odjeće u trenutku kada je koža u kontaktu s odjećom, tj. kako se putem osnovnih čula percipira tekstilna tvorevina. Osim površinskih svojstava te karakteristika kao što su krutost, mekoća, savitljivost i gipkost te iritacija i sljepljivanje kod znojenje, na osjetilnu udobnost mogu utjecati i faktori kao što su izgled odjeće ili čak miris ili zvuk tekstilne tvorevine [22]. Suprotno, ergonomska udobnost određena je mogućnošću slobodnog i nesmetanog pokreta. Pokreti kao što su fleksija, istezanje i nesmetano pokretanje udova ili drugih dijelova tijela su važni čimbenici koje je potrebno uzeti u obzir prilikom projektiranja sportske odjeće visokih per-

formansi. Glavni aspekti koji utječu na ergonomsku udobnost odjeće su dizajn i konstrukcija odjeće, kao i elastičnost i debljina tekstilne plošne tvorevine [11]. Sportska odjeća treba omogućiti nesmetano odvijanje pokreta sportaša, u suprotnom može doći do neugodnog osjećaja i opterećenja tijela [23].

### 3. Vlakna za sportsku odjeću

Najzastupljenija vlakna u proizvodnji sportske odjeće su: poliesterska, poliamidna, pamučna vlakna i vlakna od vune (merino vune) te njihove mješavine a često mješavine s elastomernim vlaknima [24].

#### 3.1. Poliesterska vlakna

Aktivna sportska odjeća najčešće je izrađena od poliesterskih pletiva [25]. Poliesterska vlakna (PES) pripadaju skupini umjetnih vlakana od sintetskih polimera. Vlakna sastoje od linearnih poliesterskih makromolekula u kojima je maseni udio estera diola i tereftalne kiseline najmanje 85 % [26]. Postoji više vrsta poliesterskih vlakana, a najzastupljenija su vlakna od poli(etilen-tereftalata) (PET) koja se dobivaju polikondenzacijom tereftalne kiseline i 1,2-etandiola. Najčešće se poliesterska vlakna proizvode kao kontinuirane filamentne pređe postupkom ispredanja iz taline, brzinama ispredanja od 1000 do 7000 m/min [27]. Gustoća PET vlakana je u rasponu od 1,36 do 1,41 g/cm<sup>3</sup>, dok su ove vrijednosti za poli(butilen-tereftalat) (PBT) i poli(cikloheksan-dimetilen-tereftalat) (PCT) u rasponu od 1,22 do 1,23 g/cm<sup>3</sup> odnosno od 1,36 do 1,41 g/cm<sup>3</sup> [28].

Poliesterka vlakna imaju odlična mehanička svojstva (čvrstoću, otpornost na habanje i temperaturnu postojanost), a mogu se proizvesti u različitim rasponima finoća i oblika poprečnih presjeka prema zahtjevima proizvoda odnosno namjene. Poliesterska vlakna karakterizira mala apsorpcija vlage i sklonost nakupljanju elektrostatikog naboja, otporna su na djelovanje razrijeđenih kiselina,

alkalija i organska otapala [27]. Površina poliesterskog filamentnog vlakna je jednoličnija u odnosu na druga sintetska vlakna [28].

Primjenom različitih mlaznica kod ispredanja poliesterskih vlakana moguće je dobiti različite oblike poprečnog presjeka vlakana, okrugli, šuplji okrugli, tilobalni, šuplji trilobalni popriječni presjek ili se mogu proizvesti npr. dvokomponentna vlakna [30]. Poprečnim presjekom poliesterskih vlakana mijenjaju se svojstva vlakana kao što su prijenos vlage, povećanje otpornosti na piling, poboljšanje toplinskih svojstava, promjena sjaja vlakana itd. [23, 31].

#### 3.2. Poliamidna vlakna

Poliamidna vlakna (PA) kao umjetna vlakna od sintetskih polimera izgrađena su od linearnih makromolekula u kojima je najmanje 85 % amidnih skupina (-CO-NH-) povezano s alifatskim ili cikloalifatskim segmentima [26]. Ispredaju se iz taline. Najpoznatija i najzastupljenija su poliamid 6 i poliamid 6.6 vlakna. Poliamid 6 (PA 6) vlakna dobivaju se polikondenzacijom kaprolaktama, a poliamid 6.6 (PA 6.6) dobiva se polikondenzacijom heksametilendiamina i adipinske kiseline. Na tržištu PA vlakna dolaze pod brojnim trgovačkim imenima, a najpoznatija su: *Nylon* (PA 6.6) (razvijen u tvrtki DuPont, SAD), *Perlon* (PA 6) (Bayer, Njemačka), *Tactel* (PA 6.6) (ICI, Velika Britanija), *Toyobo Nylon* (PA 6) (Toyobo, Japan) i dr.

Temperatura taljenja PA 6 vlakana (215 - 220 °C) je niža u odnosu na PA 6.6 vlakna (255-265 °C). Svojstva poliamidnih vlakna variraju ovisno o vrsti polimera i ovisno o uvjetima proizvodnje (brzini ispredanja, omjeru istezanja i primijenjenoj temperaturi), ali općenito su čvrsta, trajna, savitljiva i eastična. Vlačna čvrstoća i istezanje kod prekida PA 6 vlakana je oko 29 cN/tex, odnosno 46 %, a PA 6.6 u rasponu od 37 do 66 cN/tex, odnosno istezanje 16 do 43 % [27]. Specifična gustoća vlakna PA 6.6 i

PA 6 je u rasponu od 1,137 do 1,145 g/cm<sup>3</sup> [29]. Vlakna ne bubre i imaju bolju sposobnost upijanja vlage iz zraka od PES vlakana (upijanje vlage u standardnoj atmosferi iznosi oko 3,5 % za PA 6.6, odnosno in oko 4,5 % za PA 6 vlakna).

### 3.3. Pamučna vlakna

Pamučno vlakno je sjemensko vlakno biljke pamuka (*Gossypium*) i čini oko jedne trećine ukupne svjetske proizvodnje tekstilnih vlakana. Ovo vlakno sadrži oko 90-95 % celuloze. Osim celuloze pamučno vlakno sadrži voskove, pektine, oraganske kiseline i anorganske tvari.

Celuloza je linearni polimer 1,4-β-D-glukozne jedinice povezane kovalentnim vezama. Stupanj polimerizacije celulozne molekule može biti i 10 000.

Svojstva pamučnih vlakana mogu imati velike varijacije ovisno o botaničkim skupinama biljaka iz koje se dobiva vlakno, području na kojem se biljka uzgaja, klimatskim i vremenskim prilikama, poljoprivrednoj praksi i mnogim drugim faktorima. Duljina vlakana ovog sjemenskog vlakna može biti u rasponu od 3 do 63 mm. Vlakna kraća od 12 mm ne smatraju se prikladnim za pređenje. Čvrstoća pamučnih vlakana varira ovisno o vrsti pamuka od 25 do 45 cN/tex [27], a specifična gustoća u rasponu od 1,50 do 1,55 g/cm<sup>3</sup> [32, 27].

Tijekom godina zabilježeno je smanjenje uporabe pamučnih vlakana za proizvodnju sportske odjeće. Glavni razlog je povećana apsorpcija i zadržavanje vlage unutar pamučnih vlakana. U suhom stanju pamuk ima izvrsna svojstva udobnosti. Međutim, kada je pamučna odjeća mokra ili vlažna, zbog fizičke aktivnosti, odjeća postaje teška i ljepljiva i dovodi do neugodnog osjećaja. Rješenje se može naći u kombinaciji pamuka sa sintetskim vlaknima (u mješavinama s većim udjelom pamučnih vlakana) ili u vodoodbojnim obradama pamuka koje umanjuju apsorpciju vode tekstilnih plošnih tvorevina [33].

### 3.4. Vuna – vlakna od merino vune

Fina vunena vlakna kao što je i merino vuna, obično se koristi za izradu odjeće za trčanje i biciklizam. Fina vunena vlakna imaju izvrsna apsorpcijska svojstva, održavaju prirodni sustav termoregulacije tijela u različitim klimatskim uvjetima. Unatoč slaboj čvrstoći vuna ima dobru trajnost i prekidno produljenje (do 50 % u vlažnom i 30 % u suhom stanju). Duljina konvencionalnih vunenih vlakana se kreće od 35 do 350 mm, ovisno o vrsti, dok duljina vlakna merino vune iznosi 60 do 110 mm. Dodatno imaju dobra svojstva propusnosti zraka i vodene pare, kontrolu mirisa, ekološke prihvatljivosti i obnovljivosti [34, 35].

### 3.5. Elastomerna vlakna – elastanska vlakna

Elastomerna vlakna su vlakna iz skupine umjetnih vlakana koje karakterizira svojstvo elastične istezljivosti, odnosno veoma velike sposobnosti elastičnog oporavka nakon istežanja, mogu se istegnuti najmanje na trostruku duljinu a da se nakon prestanka opterećenja opet vrte na početnu duljinu. Iz ove skupine najznačajniji su *elastanska* i *elastodienska* vlakna. Najpoznatije elastansko vlakno (EL) je pod trgovačkim imenom *Lycra* (DuPont). Za elastanska je vlakna u njemačkom govornom području prihvaćen opći naziv *elastan*, dok je u engleskom govornom području prihvaćen opći naziv *spandex*.

Elastanska vlakna su prema ISO 2076:2013 [26] građena od najmanje 85 % masenog udjela segmentiranog poliuretana, koji se sastoji od alifatskih poliestera ili polietera (meka područja) i poliuretanskih segmenata (tvrda područja). Mogu se istegnuti i do 700 % uz elastični oporavak od 95 %. Elastanski filamenti se rijetko upotrebljavaju sami, najčešće se upotrebljavaju kao obavijene prede u mješavini s prirodnim ili drugim umjetnim vlaknima [36]. Zahvaljuju-

ći toj izuzetnoj karakteristici već malim udjelima u mješavinama s drugim vrstama vlakana, tekstiliji (tkanini, pletivu ali i odjeći) osiguravaju elastičnost pri nošenju i slobodu pokreta osobito za vrijeme fizičkih aktivnosti.

## 4. Noviji razvoj u proizvodnji vlakana i pređa za sportsku odjeću

Pregled novih umjetnih vlakana od sintetskih i prirodnih polimera i tvorevina od mješavina tih vlakana za proizvodnju aktivne sportske odjeće prikazan je u tab.2.

U nastavku su predstavljene karakteristike nekih vlakana izuzetnih performansi, namijenjena izradi sportske odjeće, kao što su šuplja vlakna, mikrovlakna i vlakna velike udobnosti.

### 4.1. Šuplja vlakna

Filamentno ili vlasasto vlakno s jednom ili više aksijalno ugrađenih praznih (zračnih) jezgri naziva se šupljim vlaknom [46]. Nastala su na poticaj da se proizvedu vlakna koja će imati lumen poput pamuka. Iako se gotovo sva umjetna vlakna uz prilagodbu tehnologije mogu proizvesti i u obliku šupljih vlakna, za sportsku odjeću najčešće se upotrebljavaju poliesterska i poliamidna šuplja vlakna. Mogu se proizvesti s trilobalnim, kvadratnim, heksagonalnim i okruglim poprečnim presjekom [46-49]. Šuplja vlakna imaju bolju toplinsku izolaciju od konvencionalnih vlakana, a imaju i poboljšana svojstva savijanja i torzije (uvijanja) u usporedbi s konvencionalnim vlaknima [47, 48]. Često se koriste za izradu odjeće za različite zimske sportove, kao i za odjeću sa svojstvom toplinske zaštite [47]. Zbog šupljina u strukturi ova vlakna su vrlo lagana [48].

Poliestersko šuplje vlakno trgovačkog naziva *Welkey* koristi se za izradu sportske odjeće. S mikrošupljinama po cijelom volumenu vlakna ili s centralnom šupljinom većeg promjera, odnosno njihovim kombinacijama, bitno se povećava moguća apsorptivnost vlage, a time i udob-

Tab.2 Umjetna vlakna od sintetskih i prirodnih polimera za proizvodnju sportske odjeće

Vrsta vlakna	Trgovačko ime	Svojstva	Primjena
Poliesterska vlakna	Fieldsensor	Brzo odvodi znoj: brzo prenosi vlagu na vanjsku površinu tekstilne plošne tvorevine. Visoka poroznost omogućuje cirkulaciju zraka unutar tekstilno plošne tvorevine.	Odjeća za golf, atletska odjeća, biciklistička odjeća, odjeća za skijanje i snowboarding; Planinarska odjeća [37-38]
	Coolpass	Mikro vlakno s uskim otvorima koji imaju efekt sifona što omogućava bolju regulaciju vlage. Znoj se uklanja sa kože i prenosi na vanjski sloj tkanine, što pomaže kod regulacije tjelesne temperature, a koža ostaje suha. Sportska odjeća proizvedena od ovog vlakna daje osjećaj topline tijekom zime a hladnoće tijekom ljeta.	Donji dio u troslojnom sustavu [39]
	Triactor	Triactor upija znoj i suši se mnogo brže od konvencionalnih PES vlakana, čime se unutrašnjost odjeće održava suhom. To se postiže promjenom presjeka poliesterskog filamenta u Y oblik. Njegova konstrukcija smanjuje dodirnu površinu materijala sa kožom, što rezultira hladnim i osvježavajućim učinkom.	Odjeća za golf, atletska odjeća i čarape [40]
Poliamidna vlakna	Tactel	Ova vlakna imaju trilobalan poprečni presjek. Vlakna su mekana na dodir, lagana i brzo se suše. Suše se do osam puta brže od pamuka i postižu se do tri puta čvršće tekstilije u odnosu na pamučne i imaju dobra svojstva elastičnosti.	Vjetroodbojne tkanine; žensko intimno rublje; Odjeća za plesače i gimnastičare [41]
	Tactel Micro	Izvanredna čvrstoća	Vjetroodbojne tkanine [42]
	Supplex Micro	Izvanredna čvrstoća	Vjetroodbojne tkanine [42]
	Hydrofil	Poliamidni polimer koji se sastoji od 85% PA 6 i 15 % poli(etilenoksid) diamina. Ima povećan kapacitet apsorpcije vlage na razini celuloznih vlakana.	Sportska odjeća [43]
	Meryl Satine	Mekoća dodira i dobra otpornost na habanje.	Odjeća za ekstremne sportove [44]
	Meryl Microfibre	Mekoća dodira	Sportska odjeća koja se nosi uz kožu [44]
	Meryl Next	Šuplje vlakno sa dobrim toplinskim svojstvima.	Odjeća za skijanje [44]
Regenerirana celulozna vlakna	Tencel	Vrlo visok kapacitet apsorpcije vlage. Jedinstvena struktura nanofibrila. Glatka površina. Čvrsta i mekana vlakna, otporna na habanje i kidanje. Visoka vlačna čvrstoća u mokrom i u suhom stanju. Smanjenje čvrstoće u mokrom stanju je znatno manje nego kod viskoze. Dobro vlakno za izradu mješavina s prirodnim i umjetnim vlaknima.	Sportska odjeća: gornja odjeća i donje rublje [45]

nost pri nošenju odjeće od takvih vlakana, a povećani zračni prostor unutar vlakana povećava toplinski otpor tekstilnog materijala [47].

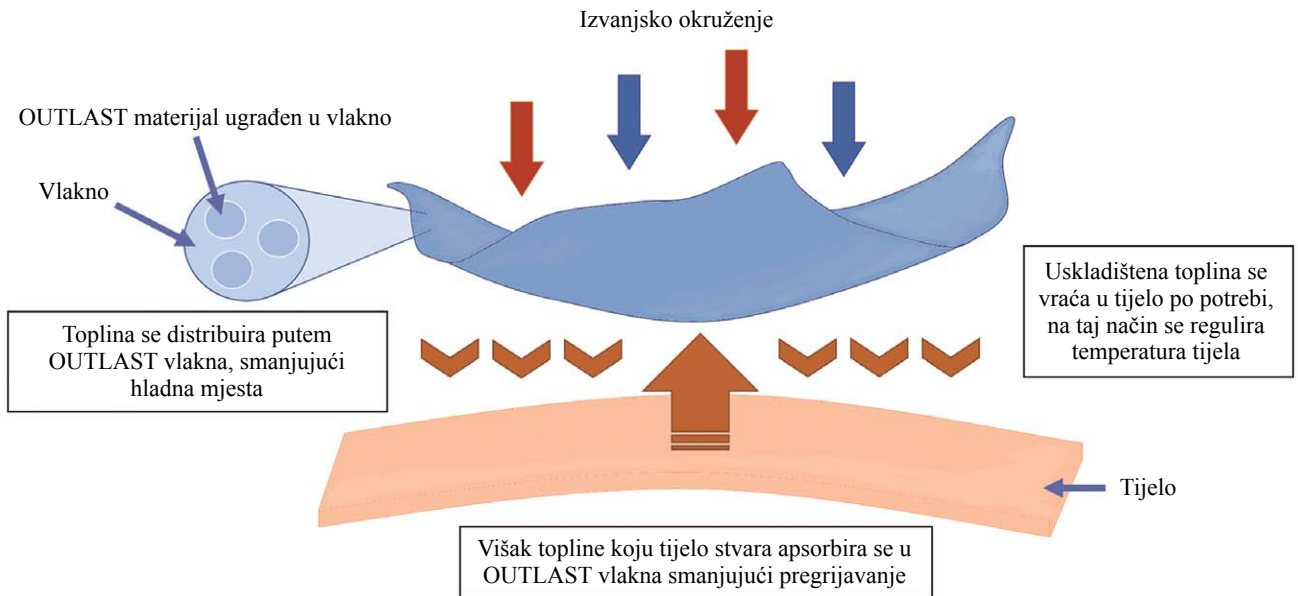
Vrlo popularno u izradi odjeće namijenjene zimskim sportovima je i vlakno trgovačkog naziva *Thermolite* - poliestersko vlakno koje u šupljina "hvata" zrak i osigurava toplinu i udobnost. Šuplja vlakna zbog znatno povećane specifične površine omogućuju brzo isparavanje znoja, što pomaže da se od njih izrađene

tekstilne plošne tvorevine osuše do 50 % brže od pamučnih tekstilnih plošnih tvorevina [49].

#### 4.2. Mikrovlakna

Mikrovlakna su umjetna vlakna visoke finoće, tj. vlakna finija od 0,9 dtex, a najčešće ispod 0,4 dtex [50]. Glavna značajka mikrovlakana je ekstremna lakoća, a plošne tekstilije izrađene od mikrovlakana imaju izuzetnu čvrstoću (iako su filamenti vrlo fini), dobru prozračnost, izdržljivost

i mekani opip. Mikrovlakna su najčešće poliesterska i poliamidna vlakna, ali mogu biti i akrilna, polipropilenska mikrovlakna i mikrovlakna od regenerirane celuloze. Osim visokih estetskih karakteristika mikrovlakna omogućuju plošnim tekstilijama, ovisno o tehnologiji izrade i neka posebna svojstva, kao što su vodoodbojnost i vodonepropusnost uz istodobnu propusnost zraka, veću udobnost u odnosu na standardne vrste vlakana i izvrsna mehanička svojstva.



Sl.1 Načelo djelovanja Outlast vlakna s PCM

Usljed velike finoće mikrovlakana postiže se veća poroznost, što poboljšava prijenos vodene pare iz tekstilnog materijala i toplinsko regulacijska svojstva [51, 52].

## 5. Karakteristični zahtjevi tekstilnih struktura za sportsku odjeću

Sa stajališta primjene sportske odjeće, naročito ako se radi o odjeći za profesionalne vrhunske sportaše, postavljaju se posebni zahtjevi za toplinsko fiziološku udobnost, ali i ugodnost na dodir. U nastavku se daje osvrt na specifične karakteristike vlakana, pređe i plošnih tekstilnih struktura za postizanje poželjnih svojstava sportske odjeće.

### 5.1. Vlakna s termoregulirajućim djelovanjem

Vlakna sa svojstvom reguliranja topline, odnosno termoregulirajućeg djelovanja mogu poboljšati toplinsko fiziološku udobnost apsorpcijom ili oslobađanjem topline. Odjeća načinjena od takvih vlakana može grijati ili hladiti tijelo, ovisno o vanjskoj temperaturi, tako da se temperatura kože održava u uskom temperaturnom području (30 do 33 °C). To su

materijali s inkorporiranim PCM-om (*Phase Change Materials*) materijalima koji mijenjaju svoje agregatno stanje (fazu) kruto/tekuće u određenom temperaturnom području a pritom oslobađaju ili oduzimaju toplinu, odnosno griju ili hlade [53]. PCM može apsorbirati ili osloboditi određenu količinu energije u obliku latentne topline [54].

Danas je dostupno više od 500 različitih prirodnih i sintetičkih PCM-a s različitim toplinskim kapacitetima i točkama taljenja. Za tekstilne primjene najčešće se koristi parafin [55]. Jedno od prvih primjena PCM-a u tekstilu bila je tijekom 1980-ih u NASA-i (National Aeronautics i Space Administration). Primijenili su ih u pametnim materijalima s ciljem dobivanja odjeće s dobrim termoregulacijskim svojstvima koja bi spriječila nepovoljne okolnosti koje dolaze od iznenadnih temperaturnih promjena u svemiru [56].

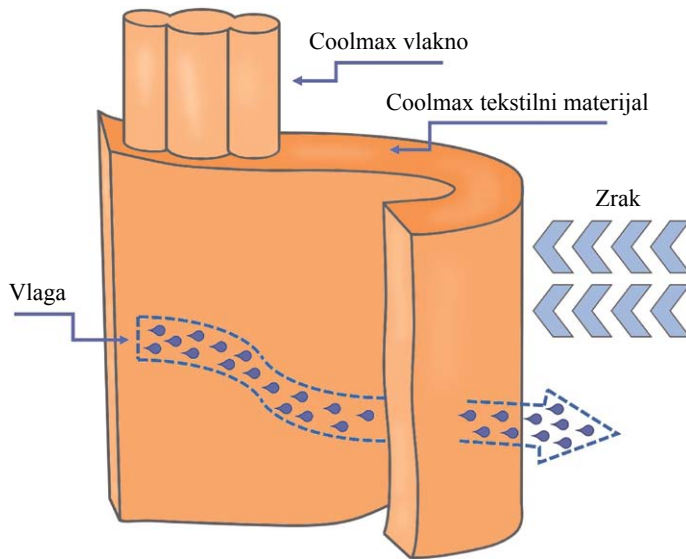
Vlakna sa sposobnošću termoregulirajućeg djelovanja koriste se za proizvodnju različitih vrsta sportske odjeće, kao što su sportsko donje rublje, aktivna sportska odjeća, odjeća za planinarenje i biciklizam, trčanje i dr. [57]. Primjena PCM u području tekstila može se postići na dva različita načina:

- ugradnjom mikrokapsula s PCM-om u vlakno tijekom procesa ispredanja [58];
- naslojavanjem ili laminiranjem PCM mikrokapsulama na tekstilne materijale [59].

Prednosti ugradnje PCM tvari u vlakno je poboljšana toplinska izolacija u vrućim i hladnim uvjetima (bez davanja dodatne debljine tekstilnoj plošnoj tvorevini) [59]. Nasuprot ugradnji mikrokapsuliranih PCM tvari u vlakna primjena tehnike naslojavanja ili laminiranja PCM-a na tekstilnoj podlozi utječe na mehanička svojstva, povećanje krutosti i površinsku masu tkanina [58]. Iako je upotreba PCM-a danas široko zastupljena, uočeni su kratkotrajni učinci njihovog djelovanja [60]. Rezultati analize utjecaja materijala s promjenom faza ugrađenih u poslovno odjelo pokazuju da imaju slab i privremen učinak hlađenja tijekom promjena aktivnosti [61].

Trenutno se koriste različite komercijalno dostupne PCM tvari sa svojstvom termoregulacije, od kojih je najpoznatiji Outlast. Tehnologija Outlast koristi akrilna i/ili viskozna vlakna s PCM mikrokapsulama, u obliku pređa, tkanina, pletiva i netkanih tekstila, koje apsorbiraju, pohranjuju i oslobađaju toplinu kako bi dobili optimalnu toplinsku udobnost





Sl.2 Shematski prikaz djelovanja *Coolmax*<sup>®</sup> vlakana

za korisnika. Outlast tehnologija radi na načelu apsorpcije viška topline koju tijelo proizvodi tijekom fizičke aktivnosti ili ekstremnih vremenskih uvjeta pri čemu hladi tijelo, sl.1. Priključena toplina se po potrebi može ponovno osloboditi i grijati tijelo, odnosno na taj način se može održavati optimalna temperatura nosioca odjeće [53, 61]. Učinak hlađenja Outlast pletiva (38 % Outlast PES, 52 % PES i 10 % spandex) je ispitan a rezultati su pokazali da je trajanje učinka PMC tvari oko 15 minuta, pri tome je učinak najizrazitiji u prve 3 minute nošenja [61, 62].

Osim toga, potrebno je spomenuti i vlakna visoke udobnosti, gdje ključnu ulogu imaju specifične morfološke karakteristike. Modifikacijom oblika poprečnog presjeka može se razviti snažna kapilarnost. Zahvaljujući kapilarnim silama u takvom je vlaknu znatno brži prijenos vlage i vode u odnosu na vlakna standardnog tipa. Takvo je npr. vlakno *Coolmax*<sup>®</sup> *active*, *Ciebet*, *Viloft*<sup>®</sup> *thermal* i dr.

*Coolmax*<sup>®</sup> *active* je poliestersko vlakno visokih svojstava tvrtke Invista s četiri ili šest kanala koji tvore transportni sustav povećane specifične površine koja omogućava poboljšani prijenos vlage s kože u vanjski sloj tekstilne plošne tvorevine, tako da ljudsko tijelo ostaje suho i toplo [63]. Tkanine izrađene od *Coolmax*<sup>®</sup> vla-

kana imaju svojstva visoke kontrole vlage, prozračnosti i brzog sušenja, sl.2 [65].

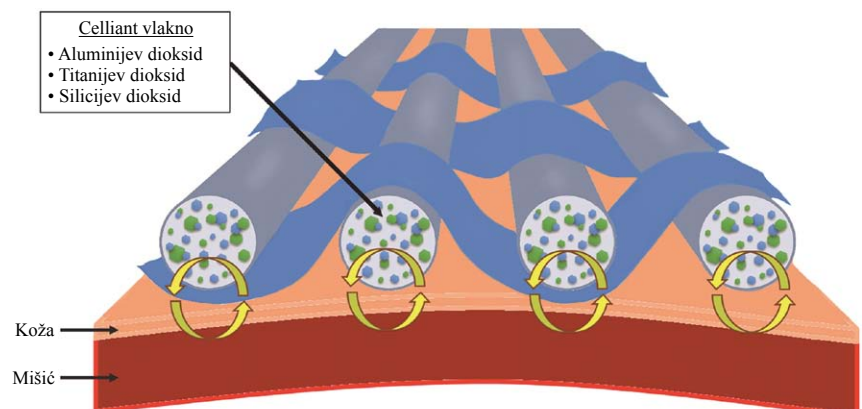
*Viloft*<sup>®</sup> *thermal* vlakno tvrtke Kelheim Fibres GmbH je plosnato (vrpčasto) viskozno vlakno specifičnog oblika kojim se postiže povećanje specifične površine za više od 50 % a na taj način se postižu promjene u strukturi pređe, odnosno tkanini i odjeći. Ova vlakna uz prirodnost sirovine (celuloze od drva iz ekološki prihvatljivog uzgoja) imaju izrazito dobra svojstva mekoće, higijene, prozračnosti (dišljivosti). Uglavnom se koristi za donje rublje, čarape i tekstilne plošne tvorevine namijenjene proizvodnji sportske odjeće. Najčešće dostupne mješavine su s poliesterom i pamukom. Visok postotak *Viloft* vlakana osigurava poboljšana

toplinska svojstva tekstilnih plošnih tvorevina [65, 66].

*Celliant*<sup>®</sup> je trgovački naziv za sintetsko polimerno dvokomponentno vlakno proizvedeno od poli(etilentereftalata) s optički aktivnim česticama ugrađenim u jezgu. Prema navodima proizvođača *Celliant*<sup>®</sup> tehnologija u interakciji s elektromagnetnom emisijom koje emitira ljudsko tijelo (ljudsko tijelo emitira slabo infracrveno zračenje) transformira toplinu u infracrvenu energiju, potičući lokalnu cirkulaciju što povećava razinu kisika u tijelu i smanjuje bol koja se javlja kao rezultat vježbanja te na taj način poboljšava sportske rezultate, poboljšava kvalitetu sna i zdravlje [67, 68]. Načelo djelovanja *Celliant* tehnologije prikazano je na sl.3 [68].

## 5.2. Utjecaj svojstava pređe na toplinsko fiziološku udobnost sportske odjeće

Osim vrste i strukture, odnosno svojstava vlakana, na toplinsko fiziološku udobnost kod nošenja odjeće utječu i strukturna svojstva pređe u plošnim tvorevinama. Istraživanja toplinskih svojstava rebrastog pamučnog pletiva različitih strukturnih svojstava pređa kao što su: finoća, uvovitost pređe i vrsta pređe (pređa od grebenanih i češljanih vlakana) su pokazala, da pletiva od finih pređa imaju manju toplinsku vodljivost i iskazuju veće vrijednosti propusnosti vodene pare, kao i topliji osjećaj uz nižu vrijednost toplinske apsorpcije [69].



Sl.3 Načelo djelovanja *Celliant* tehnologije

Utvrđeno je da povećanje uvojitosti pređe povećava vrijednosti apsorpcije topline i propusnosti vodene pare pletiva, dok se vrijednosti toplinskog otpora smanjuju. Pletiva izrađena od pamučne pređe dobivene postupkom češljanja iskazuju niže vrijednosti toplinskog otpora u odnosu na pletiva izrađena od pređa dobivenih postupkom grebananja, dok su vrijednosti toplinske vodljivosti, toplinske apsorptivnosti i propusnosti vodene pare više kod pletiva izrađenih od češljane pamučne pređe [70]. Provedena su istraživanja udobnosti pletiva izrađenih od različitih vrsta vlakana (poliesterska, poliamidna i polipropilenska) i finoće pređe na toplinska svojstva (toplinski otpor, toplinska vodljivost i toplinska apsorptivnost) uz ispitivanje propusnosti zraka i brzine prijenosa znoja. Ispitivana su jednostrana džersej podstavna (platirana) pletiva s različitim podstavnim (platiranim filamentnim pređama). Ispitivanja su pokazala da su pletiva s platiranim poliamidnim filamentom u sloju prema koži prikladnija za tople uvjete te pružaju hladniji osjet pri početnom dodiru s kožom zbog velike toplinske apsorptivnosti i propusnosti za prolaz zraka i vodne pare. Pletiva pletena s pređom manje finoće (veće duljinske mase) su manje prikladna za nošenje u toplim uvjetima, odnosno zbog veće vrijednosti toplinskog otpora i nižih vrijednosti propusnosti zraka i prijenosa vlage prikladnija su za proizvodnju zimske odjeće [71].

### 5.3. Strukturne karakteristike plošnih tekstilija za sportsku odjeću

Strukturne karakteristike plošnih tekstilija (vrsta i kvaliteta pređe, vrsta veza i završna dorada) mogu utjecati na performanse sportske odjeće i time na termoregulaciju ljudskog tijela [72]. Struktura tekstilne plošne tvorevine ima važnu ulogu u dizajnu sportske odjeće [73]. Pletivo zbog svojih svojstava ima prednost u odnosu na ostale tekstilne plošne tvorevine

u proizvodnji sportske odjeće. Osnovna karakteristika pletiva je izuzetna elastičnost, koja omogućuje slobodu pokreta sportaša kao i dobra svojstva apsorpcije i prijenosa vlage [72]. Strukturni parametri pletiva kao što su vrsta i svojstva pređe, gustoća, debljina, veličina pora, poroznost, kao i male vrijednosti krutosti pletiva dodatni su razlog za široku uporabu tih materijala u proizvodnji sportske odjeće [73].

Preplet pletiva ima značajan utjecaj na njegova svojstva. Pletivo u desno-lijevom prepletu ima bolja svojstva apsorpcije vlage od pletiva pike i saće prepleta. Bolja svojstva prijenosa vlage desno-lijevog pletiva mogu se objasniti oblikom očice i orijentacijom kraka očice u smjeru niza pletiva [74].

Posljednjih godina, kao jedan od načina za povećanje udobnosti sportske odjeće, primjenjuju se tekstilne plošne tvorevine sa strukturom mikro mreže. Ova struktura omogućuje povećanu učinkovitost hlađenja i protok zraka kroz tekstilnu plošnu tvorevinu. Dobivanje rupica na tekstilnoj plošnoj tvorevini može se postići tijekom procesa pletenja ili laserskom perforacijom. Otvori na tekstilnoj plošnoj tvorevini dobiveni laserskom perforacijom znatno su manji od onih dobivenih pletenjem [75]. Ovakva struktura povećava prozračnost tekstilnih plošnih tvorevina.

Važnu ulogu imaju i višeslojna pletiva. Povećana popularnost višeslojnih pletiva u sportskoj odjeći može se objasniti poboljšanim termoregulacijskim svojstvima tih pletiva u usporedbi s konvencionalnim pletivima. Svaki sloj ima poseban zadatak. Sloj pokraj kože privlači vlagu i prenosi je na vanjski sloj gdje se apsorbira i prenosi u atmosferu. Na taj način koža ostaje suha a tjelesna temperatura uravnotežena [76, 77].

## 6. Biomimetički tekstilni materijali za sportsku odjeću

Biomimetički tekstilni materijali su materijali koji oponašaju prirodu i

njezine procese. Biomimetika je relativno novo područje koja istražuje biološke sustave, žive organizme ili njihove derivate, a istraživači različitih područja aktivno rade u razvoju novih biomimetičkih materijala [78, 79].

Hidrofobne površine različitih biljaka i životinja (koje na mikroskopskoj razini nisu glatke) poslužile su kao inspiracija za tekstilne plošne tvorevine. Biljka ima hidrofobnu strukturu ako je kontaktni kut u rasponu od 150° do 90° [80], dok super hidrofobne površine imaju kut kontakta veći od 150° i mali kut histereze (histereza kontaktnog kuta je definirana kao razlika između rastućih i padajućih kontaktnih kutova), koji omogućava da se voda spusti s manjim padom od 15° [78]. Pored toga poznate su i "ultra hidrofobne" strukture koje se odnose na površine koje pokazuju rastuće i padajuće kontaktne kutove veće od 150° [81].

Istraživanje hidrofobnih površina biljaka provedeno je na više od 200 različitih biljnih vrsta [82]. Rezultati su pokazali da većina njih ima super hidrofobnu površinu. Prednosti super hidrofobnih tekstilnih plošnih tvorevina su: aktivno samočišćenje, odlična vodoodbojnost i uljeoodbojnost [83]. Broj pranja može se značajno smanjiti zahvaljujući svojstvima samočišćenja, što može dovesti do stvaranja ekološki prihvatljivog materijala koji smanjuje utrošak energije i zagađenja vode [84].

List lotosa ima super hidrofobnu površinu koja mikroskopski nije glatka, već ima mikro izbočine, odnosno šiljke koje rezultiraju malom kontaktnom površinom. Vrhovi ovih izbočina su prekriveni voskom, što dodatno povećava vodoodbojnost i doprinose svojstvu samočišćenja. Kada kap vode padne na lotosov list, ona se kotrlja i sa sobom odnosi prljavštinu [84]. Tekstilne plošne tvorevine sa "Lotosovim efektom" može se dobiti nanodimenzijskim hrapavljenjem površine [85, 86] ili završnim obradama u kojima dolazi do smanjenja slobodne energije površine [87, 88].



Šišarka ima mehanizam zatvaranja i otvaranja koji se aktivira sadržajem vlage u atmosferi [89]. Ova ponašanja inspirirala su razvoj biomimetičkih tekstilnih plošnih tvorevina s adaptivnim strukturama [90, 91]. Efekt šišarke daje rješenje za nelaгодni osjećaj izazvan vlagom i promjenom temperature u odjevnim predmetima [92]. Takva biomimetička tekstilna tvorevina proizvedena je lamiranjem lake (porozne) tekstilne plošne tvorevine na neporoznu membranu, a na površini dobivenog laminiranog materijala načinjeni su mali rezovi u obliku slova U. Kada je vlažnost zraka povišena, ovi rezovi se uvijaju i na taj način se propusnost zraka povećava [93]. Drugačiji pristup u postizanju "efekta šišarke" kod tekstilnih plošnih tvorevina postignut je upotrebom bikomponentnog vlakna s ekscentričnim omotač/jezgra poprečnim presjekom. Upotreba bikomponentnog vlakna s različitim svojstvima upijanja vlage komponentata uzrokuje uvijanje vlakana i otvaranje tekstilne strukture u vlažnim uvjetima [92].

Razvijeno je i biomimetičko pletivo inspirirano razgranatom strukturom biljaka. Poboljšana svojstva kvašenja i udobnosti pletiva postiglo se korištenjem sustava sa četiri pređe. Znoj se izvlači iz dna do vrha biomimetičkog pletiva pomoću specijalne strukture (dizajn prepleta pređa oponaša sustav prijenosa vlage unutra biljaka). Rezultati istraživanja pokazali su da je prijenos vlage značajno ubrzao što za efekt ima poboljšanje svojstava odjeće [93].

Morski psi svrstavaju se među najbrže ribe zahvaljujući njihovoj anatomiji i posebnoj strukturi kože. Koža morskog psa prekrivena je trodimenzionalnim ljuskama koje se razlikuju od većine ribljih ljuski, a imaju i antibakterijski učinak te sprječavaju rast parazita [94]. Koža i tijelo morskog psa bila je inspiracija u razvoju i proizvodnji *Fastskin* kupačkog kostima, koji tijesno prijanja uz tijelo te ima specijalna kompresijska svojstva

koja pomažu u smanjenju umora, tako da je aktivnost sportaša produžena i poboljšana, a dodatno se smanjuje i otpor vode pri plivanju čime se omogućuje povećanje brzine plivanja i do 3 % [95].

## 7. Osvrt na neka inovativna rješenja u području tekstilnih struktura za sportsku odjeću

Ubrzani rast popularnosti sporta i sportske odjeće doprinio je razvoju različitih vrsta sportske odjeće od funkcionalne, osnovne, ležerne do modne sportske odjeće. Svaka od ovih vrsti sportske odjeće je namijenjena različitim razinama profesionalnosti i zahtjeva određene performanse s obzirom na specifičnost namjene. Istodobno izuzetna se postignuća bilježe na području razvoja vlakana vrlo specifičnih svojstava sa svrhom postizanja željenih karakteristika određene odjeće. U nastavku su predstavljena neka od rješenja, temeljena na visokoj tehnologiji koja omogućava razvoj vlakana visokih i posebnih svojstava kao i razvoj bešavnih odjevnih predmeta za razne primjene u području sporta s ciljem poboljšanja performansi i udobnosti sportašima za vrijeme i nakon fizičke aktivnosti. To se može postići uporabom tekstilnih plošnih tvorevina koje imaju specifična svojstva prilagođena određenoj posebnoj namjeni (higroskopna, kompresijska) korištenjem različite vrste vlakana, strukture i orijentacije ili novim tehnikama spajanja dijelova odjeće.

Tekstilne plošne tvorevine željenih svojstava, npr. prijenosa vlage mogu povećati učinkovitost kardio respiratornog sustava sportaša [96]. Studija o utjecaju higroskopnih svojstava tekstilnih plošnih tvorevina na brzinu bacanja i performansi bejzbol igrača pokazuju da se učinak sportaša može poboljšati u slučaju nošenja sportske odjeće, izrađene od tekstilnih plošnih tvorevina s većom apsorpcijom vlage [97].

Rezultati istraživanja uporabe inženjerski projektiranog pletiva koje iskazuje različita svojstva na određenim područjima odjevnog predmeta prema konstituciji tijela su pokazali da se može smanjiti aerodinamični otpor biciklističke odjeće [98], a optimalna orijentacija vlakana u pletivu može značajno utjecati na aerodinamični otpor kupačkog kostima [99]. Rezultat suradnje tvrtke Speedo i NASA-e je LZR Racer kupački kostim (sl.4) posebno dizajniran za smanjenje otpora vode prilikom plivanja odnosno, kretanja u vodi [100]. Ovaj kupački kostim izrađen je primjenom ultrazvučne tehnike spajanja, čime je smanjen otpor vode za 6 % u odnosu na konvencionalne šivane šavove. Navodi se dodatno smanjenje otpora vode od 24 % u usporedbi s *Fastskin* biomimetičkim kupačim kostimom od istog proizvođača. LZR Racer razvio je i tzv. *Hydro Form Compression System*, tj. oblik kupačkog kostima koji koristi sustav kompresije kako bi prijanjao uz tijelo poput steznika. Kompresijski učinak na ključnim područjima tijela plivača omogućuje da taj pliva duže i brže jer za održavanje forme troše manje energije. Kompresija sama po sebi poboljšava učinkovitost i do 5 % [101].

Istraživanja su također pokazala da je pristajanje odjela za skijaške skokove u korelaciji s aerodinamičnim performansama prema testiranju u tunelu za vjetar [102].

Kompresijska sportska odijela (*Compression Athletic Wear*) je odijela projektirana na temelju konstrukcijskih rješenja da prijanja uz tijelo uzimajući u obzir elastičnost materijala. U tu svrhu najčešće se koriste pletiva od poliamidnih vlakana [103, 104]. Profesionalni sportaši nose kompresijska odijela kako bi poboljšali svoj sportski učinak i ubrzali oporavak nakon ozlijeđena. Kompresijska odijela koriste se u sportovima visokih performansi kao što su trčanje, skijanje, plivanje, biciklizam i dr. [105]. Tehnologija kompresije ima dugotrajnu primjenu u medicinske svrhe



Sl.4 LZR Racer kupaći kostim [101]

[103]. Kompresijska odjeća smanjuje ozljede mišića i povećava učinkovitost u testovima izdržljivosti [106]. Smatra se da kompresijska sportska odjela pomaže u opskrbi mišića kisikom, reguliraju temperaturu kože i smanjuju percepciju umora [104]. Istraživanja uporabe kompresijskih kratkih hlača potvrđuju da one mogu poboljšati performanse odbojkaša povećanjem izlazne snage preko ponovljenog broja skokova [107]. Također, kompresijske kratke hlače smanjuju umor poboljšanjem protoka krvi u venama i smanjenjem kardiovaskularnog opterećenja sportaša [108]. Kompresijske hlače pomažu u poboljšanju sportskih performansi i smanjenju ozljeda smanjenjem oscilacija mišića [109], dok nošenje kompresijskih čarapa (duljine do koljena) pozitivno utječe na hemodinamiku trkača [110]. Učinak kompresijskih čarapa doprinosi smanjenju rizika od ozljeda cjelokupnog utjecaja fizičkog napora [106].

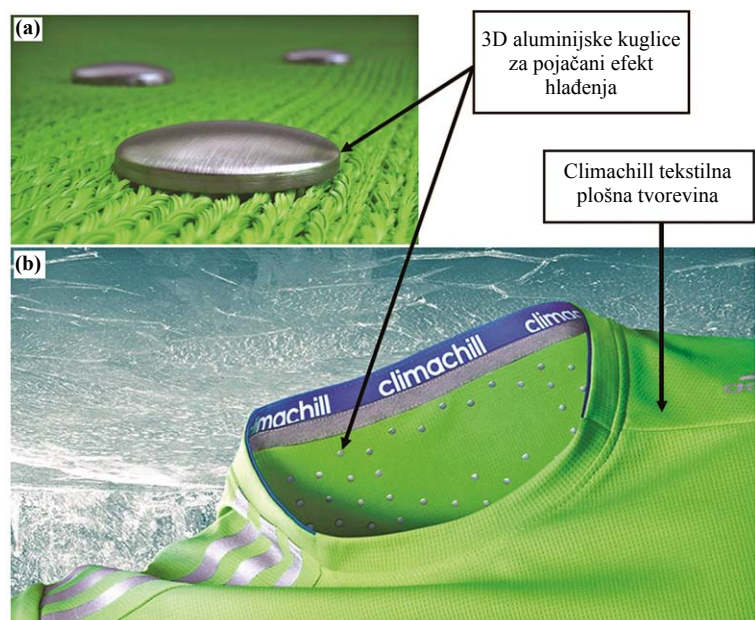
S gledišta razvoja sportske odjeće treba naglasiti da sportski brendovi neprestano investiraju u inovacije tekstilnih materijala, vlakana i pređa kako bi sportska odjeća bila bolja i ugodnija. Tako je tvrtka Adidas uvela na tržište brojne inovativne tekstilne

materijale, kao što su *Climalite*, *Climacool*, *Climachill* i dr., koji značajno utječu na udobnost pri nošenju. *Climalite* je posebno dizajnirana tekstilna struktura za prijenos tekućeg znoja s tijela tijekom treninga. Temelji se na kombinaciji pamučnih na licu i poliesterskih vlakana na naličju materijala, odnosno na strani koja se nalazi u doticaju s tijelom te hidrofilnom obradom koja pojačava efekt odvođenja znoja iz unutrašnjosti prema van. Kod pojave znoja, poliesterska vlakna pospešuju izvlačenje znoja s površine kože u vanjski hidrofilni dio materijala (pamuk) gdje brzo isparava. Hidrofilna obrada materijala dodatno djeluje na usmjeravanje znoja od površine tijela prema van, a unutrašnji sloj od poliesterskih vlakana daje osjećaj hladnoće tijelu i sprječava pregrijavanje [111].

*Climacool* tekstilne strukture su inženjerski konstruirano zasnovane plošne strukture koje omogućuju kontrolu vlage i ventilaciju sportašima. *Climacool* djeluje tako da odvodi znoj s kože povećanjem mikro ventilacije, npr. postavljenim mrežicama ispod ruku i na stražnjoj strani majice. Ugrađen je u sportske grudnjake, hlače, majice, pa čak i kratke hlače te cipele.

Adidas je uveo na tržište *Climachill* [112] materijal koji osigurava učinak hlađenja koristeći *SubZero* pređu koja sadrži titan te 3D aluminijske kuglice (sl.5a). Aluminijske kuglice se postavljaju na područje odjevnih predmeta koja pokrivaju dijelove tijela koji se najviše zagrijavaju, odnosno znoje (npr. gornji dio leđa) radi hlađenja. *SubZero* pređa od koje je ova tekstilna plošna tvorevina izrađena ima plosnati (vrpčasti) poprečni presjek što dodatno poboljšava svojstva hlađenja. Proizvođač tvrdi da je kapacitet hlađenja povećan za 36 % u usporedbi prethodnim materijalom s efektom hlađenja *Climacool*.

Zanimljivu tehnologiju materijala s efektom hlađenja predstavljaju *Omni-Freeze* i *Omni-Freeze ZERO* tvrtke Columbia, koji efekt hlađenja postižu pomoću super-apsorptivnih polimera ugrađenih u obliku prstenova promjera 0,381 cm u unutrašnji dio materijala. Prilikom znojenja oni apsorbiraju znoj i pritom bubre, u procesu apsorpcije i bubrenja troše energiju i tako smanjuju temperaturu materijala [113]. Temeljni materijal je poliester, često obrađen za dodatnu zaštitu od ultraljubičastog zračenja budući da se ovi materijali primjenjuju za sportske aktivnosti u eks-

Sl.5 *Climachill* tekstilni materijal tvrtke Adidas: a) 3D aluminijske kuglice s efektom hlađenja, b) detalj na majici [112]

tremnim toplinskim uvjetima. Odjeću tvrtke Columbia testirali su profesionalni sportaši u Grand Canyon (SAD) na ekstremno visokim temperaturama i pokazala se izuzetno učinkovito [114]. Osim materijala s efektom hlađenja Columbia je razvila i niz materijala s efektom grijanja Omni-Heat™ 3D, *Omni-Heat™ Reflection*, *Thermal Coil™* i dr. tehnologije sa zaštitnim svojstvima, kao npr. za zaštitu od kiše, vjetra i sl.

Jedna od poznatih trgovačkih marki materijala za sportsku odjeću sa svojom održavanju osjećaja suhoće kod sportskih aktivnosti, odnosno tijekom znojenja je *Dri-FIT™*. *Dri-FIT* je izrađen od poliuretanskih mikrovlakana, koja omogućuju apsorpciju vlage i transport od kože do površine tekstilnog materijala. Rezultat primjene *Dri-FIT* materijala je zaštita sportaša od vlage i održavanje suhoće. Ova tehnologija se koristi u proizvodnji bluza, kratkih hlača, trenerki, čarapa, rukavica itd. [115].

## 8. Dizajn sportske odjeće

Danas je dostupno mnoštvo različitih programa i softvera za 3D dizajn i simulaciju odjeće. Moguće je simulirati odjeću korištenjem virtualnog manekena. Na taj način se može simulirati i procijeniti pristajanje odjeće, dizajn i drapiranje [116].

U zahtjevnim sportovima, izuzetno je važno da sportska odjeća savršeno pristaje sportašima. Ovo se može postići korištenjem različitih metoda i tehnika za digitalizaciju ljudskog tijela [1, 117]. 3D skeniranje ljudskog tijela koristi se u odjevnoj industriji posljednjih dvadeset godina, ali je nedavno postalo znatno učinkovitije. Danas se koriste različite 3D tehnologije skeniranja ljudskog tijela. Na tržištu dostupne sustave 3D skeniranja može se prema tome podijeliti u pet osnovnih skupina [117 - 119]:

1. sustavi laserskog skeniranja koji koriste lasere kao izvor svjetlosti;
2. sustavi za 3D skeniranje strukturiranim svjetlom, uglavnom bijele svjetlosti;

3. LED sustavi za 3D skeniranje koji koriste infracrvene detektore;
4. Sustavi 3D skeniranja tijela metodom skeniranja u sjeni, koji uključuje 2D slike video siluete (konture tijela) u različitim položajima tijela pretvorene u 3D model;
5. sustavi koji koriste radio valove za skeniranje tjelesne površine kroz odjeću.

Za projektiranje optimalne sportske odjeće i njenog inženjerskog modeliranja potreban je velik broj podataka o tekstilnim plošnim tvorevinama, kao što su mehanička i toplinska svojstva, aerodinamična ili hidrodinamička svojstva i dr. [120-125], ovisno o vrsti i namjeni upotrebe sportske odjeće.

Pri dizajniranju sportske odjeće jedan od važnijih ergonomskih čimbenika je toplinsko stanje sportaša. Optimiziranje mikroklima kod nošenja sportske odjeće može se postići odgovarajućim inženjerskim projektiranjem tzv. bešavne pletene odjeće. Takva odjeća je projektirana na način da ima različite karakteristike i svojstva (sorpcijska i toplinska svojstva, prozračnost itd.) na određenim dijelovima koji zahtijevaju specifična svojstva [123-125]. Tehnologija bešavnog pletenja je jedna od najbrže rastućih tehnologija odjeće [119].

U sportovima koji zahtijevaju usko pristajanje sportske odjeće jedan od važnijih parametara koji se mora uzeti u obzir prilikom izrade odjeće jesu elastična svojstva tekstilnih plošnih tvorevina, posebno vlačna svojstva i elastični oporavak. Uslijed nalijeganja usko pristajane odjeće na određeni zakrivljeni dio ljudskog tijela, stvara se radijalni pritisak. Pritisak ovisi o modulu elastičnosti ugrađene tekstilne plošne tvorevine, zakrivljenosti tijela, omjeru opsega odjeće i dijela tijela te kontaktnoj površini. Na temelju mjerenja kompresijske sile na određenim točkama tijela te poznavanja vlačnih karakteristika tekstilne plošne tvorevine, može se odrediti korelacija između elastičnih svojstva i ostvarenog modela odjeće, kako bi se prilagodili obliku i veličini dijela tijela na kojem će se nositi.

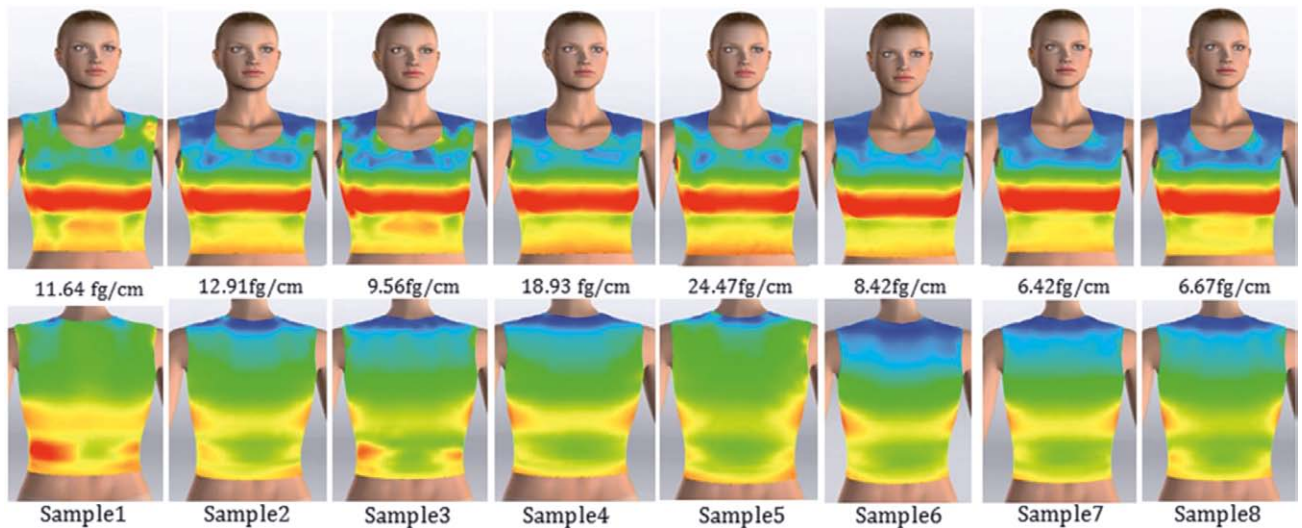
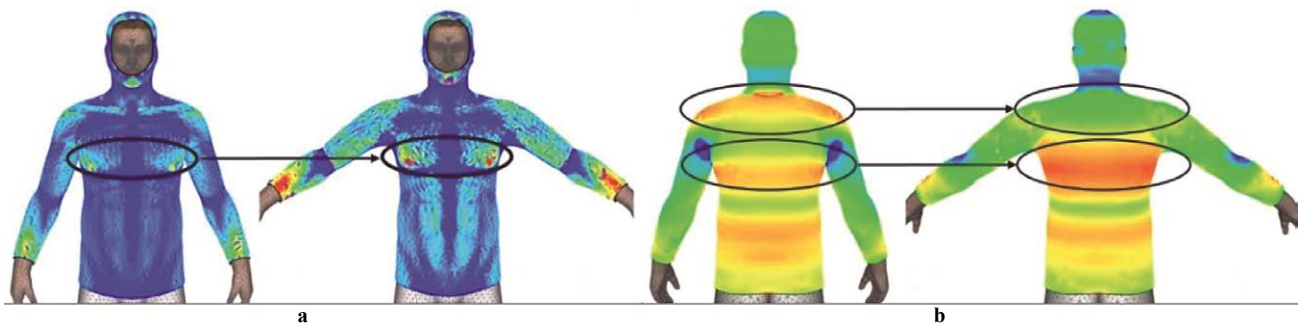
Dalje je potrebno istaknuti pored računarske konstrukcije i 3D simulacije fitness sportske odjeće, gdje su istraživanja usmjerena prvenstveno u mehanička svojstva različitih pletiva (koja se međusobno razlikuju po elastičnim svojstvima) za izradu fitness sportske odjeće. Pored toga, ocijenjena je ergonomska udobnost fitness sportske odjeće. Mehanička svojstva pletiva su data u obliku tzv. *Tension map* (sl.6) tj. vrijednosti (date u fg/cm) napetosti (pritiska) koje vrši odjeća na tijelu virtualnog manekena [124]. *Tension map* (Optitex) omogućuje uvid u simulirane odevne predmete pomoću obojene karte s prikazom vrijednosti istezanja, zatezanja i rastojanja između odjeće i virtualnog modela [126]. Vrijednosti dobivene na ovaj način su uspoređene sa onima dobivenim pomoću Pico Press uređaja za mjerenje pritiska [124].

3D metoda simulacije pristajanja odjeće korištena je za računarsku konstrukciju ronilačkog odijela [117, 125]. Ovim istraživanjem se željelo utvrditi je li konstruirani model dovoljno dobar za upotrebu profesionalnih sportaša. Na osnovu vrijednosti mjerenja pritiska koje odjelo vrši na tijelo sportaša (na unaprijed određenim točkama) utvrđeno je da postoji dobra korelacija između simuliranog i ostvarenog proptipa ronilačkog odijela. Ova se metoda pokazala iznimno korisnom pri dizajniranju sportske odjeće gdje je potrebno iznimno čvrsto pristanje [117, 125]. Na sl.7 prikazana je dinamička analiza simulacije modela ronilačkog odijela.

## 9. Zaključak

Važnost sporta i aktivne sportske odjeće povećala se u cijelom svijetu. Prodaja ovih proizvoda raste iz godine u godinu. Udobnost, funkcionalnost, atraktivan dizajn i jednostavno rukovanje glavni su zahtjevi za sportsku odjeću. Zahtjevi za aktivnu sportsku odjeću se mijenjaju ovisno o vrsti sporta za koji su namijenjeni. Različita svojstva sportske odjeće mogu



Sl.6 Gradijent *Tension* mape za 8 različitih uzoraka pletiva [124]Sl.7 Dinamička analiza pristajanja ronilačkog odela: a) pritisak koji odjeća vrši na tijelo nosioca:  
b) linearno istezanje u y pravcu (pravcu potke) [125]

se postići korištenjem novih vrsta vlakana, mješavine vlakana, strukture i geometrije vlakana, strukture tekstilne plošne tvorevine i završne obrade. Sposobnost upravljanja vlagom, kao što je upijanje znoja, isparavanje znoja i brzo sušenje, osnovne su funkcije aktivne sportske odjeće koja utječe na udobnost sportaša tijekom fizičke aktivnosti. Vrlo važnu ulogu u odabiru materijala za izradu sportske odjeće zauzima i toplinsko fiziološki aspekt odjeće.

Pored toga važan uvjet je povećana lakoća i mekoća tekstilnih plošnih tvorevina, što se postiže korištenjem mikrovlakana. Ostale prednosti mikrovlakana koje se koriste u sportskoj industriji su otpornost na gužvanje i dobra svojstva drapiranja, kao i dodir nalik pamuku. Tekstilne plošne tvorevine izrađene od mikrovlakana imaju poboljšana svojstva prenosa

vlage, uključujući: sposobnost kvajšenja i apsorpcije kao i propusnost vodene pare.

Mnogo je učinjeno kako bi se pronašla optimalna mješavina vlakana za sportsku odjeću. Korištenjem mješavina mogu se dobiti najbolja svojstva tekstilnih struktura za konačni proizvod. Najčešće su mješavine poliester-a, poliamida ili pamuka s Lycrom. Korištenjem ovih mješavina vlakana može se značajno poboljšati kožno senzorska i ergonomska udobnost sportske odjeće. Za proizvodnju sportske odjeće sa zahtjevima dobre toplinske izolacije koriste se šuplja vlakna i vlakna sa sposobnošću termoregulirajućeg djelovanja. Za ljetnju sportsku odjeću koriste se različite vrste poliesterskih i poliamidnih vlakana kao i mikrovlakana, a veća pažnja posvećuje se strukturi tekstilnih plošnih tvorevina.

## Zahvala

*Rad podržan od strane CEEPUS (Central European Exchange Program for University Studies); CEEPUS Network: CIII-SI-0217 Ars-Techne: Creative Design and Innovation. Grant No: 2018-0589-99; No: 2019-0347-99.*

## Literatura:

- [1] Chowdhury H., Alam F., Mainwaring D., Beneyto-Ferre, J. and Tate M.: Rapid prototyping of high performance sportswear. *Procedia Engineering* 34 (2012.), 38-43. doi: 10.1016/j.proeng.2012.04.008
- [2] Chowdhury P., Samanta K. K., Basak S.: Recent Development in Textile for Sportswear Application. *International Journal of Engineering Research & Technology* 3 (2014.) 5, 1905-1910

- [3] Manshahia, M., Das A.: High active sportswear – A critical review. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 39 (2014.) 39, 441-449.
- [4] Power E. J.: Advanced knitting technologies for high-performance apparel. *High-Performance Apparel*, (2018.) 113–127. doi: 10.1016/b978-0-08-100904-8.00005-5
- [5] Bartels V. T.: Improving comfort in sports and leisure wear. *Improving Comfort in Clothing, Atmosphere*, (2011.) 385–411. doi: 10.1533/9780857090645.3.385
- [6] Why Are Sportswear Giants Nike and Adidas Embracing Fashion? Dostupno online: <https://www.businessoffashion.com/articles/intelligence/nike-adidas-sportswear-fashiona>. [Pristupljeno: 14.01.2019.]
- [7] How Sportswear became high fashion. Dostupno online: <https://www.originoutside.com/insights/how-sportswear-became-high-fashion>. [Pristupljeno: 20.1.2020].
- [8] FASHIONBENS. How Sportswear Took Over Your Wardrobe. Dostupno online: <https://www.fashionbeans.com/article/how-sportswear-took-over-your-wardrobe/> [Pristupljeno: 20.1.2020].
- [9] The Growth of Sales in Sportswear. Dostupno online: <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-growth-of-sales-in-sportswear-639692863.html> [Pristupljeno: 15.4.2018].
- [10] Geršak J. and Grujić D.: Vpliv oblačila na toplotno fiziološko udobje človeka pri različnih obremenitvah in klimatskih pogojih, *Tekstilec* 46 (2003)
- [11] Mecheels J.: Anforderungsprofile für Funktionsgerechte Bekleidung, Aachen, Germany: DWI-Schriftenreihe des Deutschen Wollforschungsinstitutes an der TH Aachen, (1992.) 263-268
- [12] Geršak J.: Physiological Responses of Human Body as Criterion for Estimating the Thermal Characteristics of a Clothing System. 7th Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings (2014).
- [13] Mecheels J. *Körper – Klima – Kleidung: Grundzüge der Bekleidungshypophysologie*: Schiele & Schön GmbH, (1991).
- [14] Senthilkumar M., Sampath B. M., Ramachandran T.: Moisture Management in an Active Sportswear: Techniques and Evaluation—A Review Article. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series E* 93 (2013.). doi: 10.1007/s40034-013-0013-x.
- [15] Shirreffs S. M., Aragón-Vargas L., Chamorro M., Maughan R. J., Serratosa L., Zachwieja, J.J.: The Sweating Response of Elite Professional Soccer Players to Training in the Heat, *International journal of sports medicine* 26 (2005) 90-5. doi: 10.1055/s-2004-821112.
- [16] Musaddaq A., Boughattas A., Wiener J., Havelka A.: MECHANISM OF LIQUID WATER TRANSPORT IN FABRICS: A REVIEW, *Fibres and Textiles*, 4 (2017.) 55-65
- [17] Kissa E.: Wetting and Wicking. *Textile Research Journal* 66 (1996.) 10, 660. <https://doi.org/10.1177/004051759606601008>
- [18] Cazabat A. M., Stuart M. A. C.: Dynamics of wetting: Effects of surface roughness, *The Journal of Physical Chemistry* 90 (1986.) 22, 5845-5849
- [19] Dettre R. H. and Johnson R. E.: Contact Angle, Wettability, and Adhesion, R.F. Gould, Ed., *Advances in Chemistry Series*, American Chemical Society 43, Washington, D.C., (1964.) 136.
- [20] Sanders, E. M. and Zeronian S. H.: An analysis of the moisture-related properties of hydrolyzed polyester, *Journal of Applied Polymer Science* 27 (1982.) 11, 4477-4491
- [21] Gorji M. and Bagherzadeh R.: Moisture management behaviors of high wicking fabrics composed of profiled Fibres, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 41, September 2016, 318-324.
- [22] Sweeney M. M. and Branson D. H.: Sensorial Comfort: Part I: A Psychophysical Method for Assessing Moisture Sensation in Clothing. *Textile Research Journal*, 60 (1990.) 67, 371–377. <https://doi.org/10.1177/004051759006000701>
- [23] Bishop P. A., Balilonis G., Davis J.K. and Zhang Y: Ergonomics and Comfort in Protective and Sport Clothing: A Brief Review. *J Ergonomics* (2013.) S2: 005. doi:10.4172/2165-7556.S2-005
- [24] Nelson Raj A. E. and Yamunadevi S.: Application of textile fibres for technical and performance enhancements in sports. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development* 3 (2016.) 12, 40-45.
- [25] Manshahia M., Das A.: Comfort Characteristics of Knitted Active Sportswear: Heat and Mass Transfer. *Research Journal of Textile and Apparel* 17 (2013.) 3, 50-60. <https://doi.org/10.1108/RJTA-17-03-2013-B006>
- [26] Standard ISO 2076:2013, Textiles — Man-made fibres — Generic names
- [27] Grishanov S. : Structure and properties of textile materials. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*, (2011) 28–63. doi: 10.1533/9780857093974.1.28
- [28] Društvo inženjera i tehničara za tekstil Maribor: *Tekstilni priručnik*, TEKSTILNI INSTITUT, Maribor, Slovenija 1987.
- [29] Jovanović S.: *Struktura i svojstva vlakana. Tehnološko-metalurški fakultet univerziteta u Beogradu*, Srbija 1981.
- [30] Karaca E, Kahraman N, Omeroglu S, Becerir B.: Effects of Fiber Cross Sectional Shape and Weave Pattern on Thermal Comfort Properties of Polyester Woven Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 3 (2012.) 92, 67-72.
- [31] Bueno M. A., Aneja A. P., Renner M.: Influence of the shape of fiber cross section on fabric surface characteristics. *Journal of Materials Science* 39 (2004.) 557–564. doi:10.1023/B:JMSC.0000011511.66614.48
- [32] Jovanović R.: *Celulozna prirodna i hemijska vlakna*, IRO »Građevinska knjiga« Beograd, Srbija 1989.
- [33] Guruprasad R., Vivekanandan, M. V., Chattopadhyay S.: The Use of Cotton as a Sportswear Material: A Critical Analysis, *Cotton Research Journal* 7 (2015.) 1, 61-64.
- [34] Merino Wool: Running Apparel Review. Dostupno online: <https://ultrarunning.com/featured/merino-wool-running-apparel-review/> [Pristupljeno: 18.6.2018].
- [35] Vinčić, A. (2016). *Vuna cijenjeni materijal – radionica održana na*

- Tekstilno-tehnološkom fakultetu u Zagrebu. *Tekstil*, 65 (11-12), 420-421. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/186578>
- [36] Šajn Gorjanc, D., Geršak, J., Bukošek, V., Nikolić, M.: Utjecaj konstrukcije pređe s elastanom na relaksacijska svojstva tkanina. *Tekstil*, 54 (2005) 10, 489-496.
- [37] Today's, ALL ABOUT SPORTS FABRICS. Dostupno online: [http://sportstextiles.toray/en/fieldsensor/fie\\_002.html](http://sportstextiles.toray/en/fieldsensor/fie_002.html) [Pristupljeno: 20.6.2018].
- [38] TORAY. GLOBAL. FIELDSENSOR. Dostupno online: [https://www.toray.com/products/textiles/tex\\_0060.html](https://www.toray.com/products/textiles/tex_0060.html) [Pristupljeno: 20.6.2018].
- [39] HEROCKS. TECHNOLOGY/FABRICS & TREATMENTS. Dostupno online: <http://www.herockworkwear.com/en/technology/fabrics-treatments/> [Pristupljeno: 29.6.2018].
- [40] Triactor. Dostupno online: <http://www.technica.net/NF/NF1/etriactor.htm> [Pristupljeno: 30.6.2018].
- [41] iTextiles, Tactel. Dostupno online: <https://itextiles.com.pk/tactel-fiber/> [Pristupljeno: 30.6.2018].
- [42] Tactel by Invista. Dostupno online: [https://prezi.com/i0pddh\\_swncl/tactel-by-invista/](https://prezi.com/i0pddh_swncl/tactel-by-invista/) [Pristupljeno: 30.6.2018].
- [43] Textile Today. Recent Advances in Textile Materials and Products for Activewear and Sportswear. Dostupno online: <https://www.textiletoday.com.bd/recent-advances-in-textile-materials-and-products-for-activewear-and-sportswear-2/> [Pristupljeno: 26.6.2018].
- [44] MERYL® SATINÉ. Dostupno online: <http://www.nylstar.com/shops/yarns/256-meryl-satine> [Pristupljeno: 10.7.2018].
- [45] Tencel. Dostupno on: <https://www.tencel.com/active> [Pristupljeno: 7.7.2018].
- [46] Cheung T. W., Li L.: A review of hollow fibers in application-based learning: from textiles to medical. *Textile Research Journal* 89 (2019.) 3, 237–253. <https://doi.org/10.1177/0040517517741164>
- [47] Kajiwara K., Nori, R., Okomoto, M.: New fibers from Japan. *The Journal of the Textile Institute*. 91 (2000.) 3, 32-78. <https://doi.org/10.1080/00405000008659541>
- [48] Wada O.: Control of Fiber Form and Yarn and Fabric Structure. *Journal of the Textile Institute*, (1992.), 83(3), pp: 322–347. doi:10.1080/00405009208631207
- [49] Bilimlari M., Dergisi T.: An Investigation Of Knitted Fabric Performances Obtained From Different Natural And Regenerated Fibres, *Journal of Engineering Science and Design 1* (2010.) 2, 91-95
- [50] Peran J., S. Ercegović Ražić: Mikrovlakna - proizvodi visoke tehnologije, *Tekstil* 63 (2014.) 3-4, 126-133 <https://hrcak.srce.hr/142484>. Citirano 26.05.2020.
- [51] Pal S. K.: Microfibre – Production, Properties & Application, *Textile ASIA*, Vol. 24, (1993), pp: 53-58.
- [52] Mukhopadhyay M.: Microfibers-An overview. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 27 (2002.) 307-314.
- [53] Zhang X. X., Wang, X. C., Zhang H.; Niu J. J., Yin, R.B.: Effect of phase change material content on properties of heat-storage and thermo-regulated fibers nonwoven. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 28 (2003.) 265–269.
- [54] Iqbal K., Khan A., Sun D., Ashraf M., Rehman A., Safdar F., Basit A. and Shahzad H.: Phase change materials, their synthesis and application in textiles—a review, *The Journal of The Textile Institute* (2019.). doi: 10.1080/00405000.2018.1548088
- [55] Pause B.: Driving more comfortably with phase change materials. *Technical Textiles International*, 11 (2002.) 2, 24–27
- [56] Cheng W. L., Liu N., Wu W. F.: Studies on thermal properties and thermal control effectiveness of a new shape-stabilized phase change material with high thermal conductivity. *Applied Thermal Engineering*, 36 (2012.) 345–352
- [57] Mondal S.: Phase change materials for smart textiles – An overview, *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 11–12, 1536-1550. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009>
- [58] Zhang X. X., Wang X. C., Tao X. M., Yicky K. L.: Energy storage polymer/Micro PCMs blended chips and thermo-regulated fibers, *Journal of Materials Science*, 40 (2005.) 3729. <https://doi.org/10.1007/s10853-005-3314-8>
- [59] Choi K., Cho G., Kim P., Cho, C.: Thermal Storage/Release and Mechanical Properties of Phase Change Materials on Polyester Fabrics. *Textile Research Journal*, (2004), 74(4), pp: 292–296. <https://doi.org/10.1177/004051750407400402>
- [60] Colvin D. P.: Advances in heat and mass transfer in biotechnology. *ASME HTD*. (1990) pp: 44:199.
- [61] Geršak, J.: Physiological responses of human body as criterion for estimating the thermal characteristics of a clothing system. V: LI, Yi (ur.). *Textile bioengineering and informatics symposium proceedings : TBIS*, The 7th Textile bioengineering and Informatics Symposium in conjunction with the 5th Asian Protective Clothing Conference, August 6-8, 2014, Hong Kong, Textile Bioengineering and informatics Society, 2014, 934-945.
- [62] Geršak J. and Marčić M.: The Effect of Clothing on Thermoregulatory Responses of Human Body in a Hot Environment, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics* 10 (2017.) 1, 1-12. doi: 10.3993/jfbim00252
- [63] COLMAX. Dostupno online: <https://coolmax.com/en/?id=243> [Pristupljeno: 29.7.2018].
- [64] COLMAX air. Dostupno online: <http://coolmax.com/en/Technologies-and-Innovations/COOLMAX-PRO-technologies/AIR> [Pristupljeno: 20.7.2018].
- [65] Demiryürek O., Uysaltürk D.: Thermal comfort properties of Viloft/cotton and Viloft/polyester blended knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 83 (2013) 16, 1740–1753. <https://doi.org/10.1177/0040517513478458>
- [66] VILOFT®. Dostupno online: <http://www.viloft.com/> [Pristupljeno: 1.8.2018].
- [67] U.S. FDA Determines Celliant® Responsive Textile Products Meet Criteria as Medical Devices and General Wellness Products. Dostupno online: <https://www.prnewswire.com/news-releases/us->



- fda-determines-celliant-responsive-textile-products-meet-criteria-as-medical-devices-and-general-wellness-products-300493298.html [Pristupljeno: 28.7.2018].
- [68] Celliant, Technology. Dostupno online: <http://www.celliant.com> [Pristupljeno: 2.8.2018]
- [69] Özdil N., Marmaral A., Kreschmar S. P.: Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics, *International Journal of Thermal Sciences* 46 (2007.) 46, 1318–1322. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2006.12.002
- [70] Singh M. K., Nihram A.: Effect of Various Ring Yarns on Fabric Comfort, *Journal of Industrial Engineering* (2013). <http://dx.doi.org/10.1155/2013/206240>
- [71] Jhanji Y., Gupta D., Kothari, V. K.: Comfort properties of plated knitted fabrics with varying fibre type. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 40 (2015.) 11-18
- [72] Kanakraj P., Ramachabdran R.: Active Knit Fabrics – Functional Needs of Sportswear Applications, *Journal of Textile and Apparel Technology and Management* 9 (2015) 2
- [73] Prahsarn C., Barker R. L., Gupta B. C.: Moisture Vapor Transport Behavior of Polyester Knit Fabrics, *Textile Research Journal* 75 (2005) 4, 346-351. <https://doi.org/10.1177/0040517505053811>
- [74] Patil U. K., Kane, C. D., Ramesh, P.: Walkability behavior of single-knit structures. *The Journal of Textile Institute* 100 (2009) 5, 457. <https://doi.org/10.1080/00405000801893240>
- [75] Hogan, K., McQuerry, M.: Assessment of Ventilated Athletic Uniforms for Improved Thermal Comfort and Human Performance©, International Textile and Apparel Association, Inc. INTERNATIONAL TEXTILE AND APPAREL ASSOCIATION (ITAA) ANNUAL CONFERENCE PROCEEDINGS, 2017.
- [76] Suganthi T., Senthilkumar P.: Thermo-physiological comfort of layered knitted fabrics for sportswear, *TEKSTİL ve KONFEKSİYON* 27 (2017.) 4, 352-360
- [77] Lokhande M. B., Patil L. G.: Awasure, A. U.: Suitability of Bi-Knitted Fabric for Sportswear Application. *International Journal of Engineering & Technology* 3 (2014.) 7, 428-436
- [78] Teodorescu M.: Applied Biomimetics: A New Fresh Look of Textiles. *Journal of Textiles*. (2014.) 1-9. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/154184>
- [79] Eadie L., Ghosh T. K.: Biomimicry in textiles: past, present and potential. An overview. *Journal of the Royal Society Interface* 8 (2011.) 59, 761–775. doi:10.1098/rsif.2010.0487
- [80] Koch K., Barthlott W.: Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces: an inspiration for biomimetic materials. *Phil. Philosophical Transactions of the Royal Society A* 367 (2009.) 1893, 1487–1509. doi:10.1098/rsta.2009.0022
- [81] Good R. J.: A Thermodynamic Derivation of Wenzel’s Modification of Young’s Equation for Contact Angles; Together with a Theory of Hysteresis. *Journal of the American Chemical Society* 74 (1952.) 20, 5041-5042. doi: 10.1021/ja01140a014
- [82] Neinhuis C., Barthlott W.: Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces, *Annals of Botany* 79 (1997) 6, 667–677. doi: 10.1006/anbo.1997.0400
- [83] Park S., Kim J., Park C. H.: Superhydrophobic Textiles: Review of Theoretical Definitions, Fabrication and Functional Evaluation. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 10 (2015.) 4
- [84] Barthlott W., Neinhuis C.: Purity of the Sacred Lotus, or Escape from Contamination in Biological Surfaces. *Planta* 202 (1997.) 202, 1-8.
- [85] Sun T., Feng L., Gao X., Jiang, L.: Bioinspired surfaces with special wettability, *Accounts of Chemical Research* 38 (2005.) 8, 644–652. doi: 10.1021/ar040224c
- [86] Yabu H. and Shimomura M.: Single-step fabrication of transparent superhydrophobic porous polymer films, *Chemistry of Materials* 17 (2005) 21, 5231–5234. doi: 10.1021/cm051281i
- [87] Avram P., Teodorescu M., Curteza A., Agrawal P., Brinks G.: Biomimetic approach, from lotus leaves to superhydrophobic materials. in *Proceedings of the 14th Romanian Textiles and Leather Conference (CORTEP '12)*, Performantica, 2012.
- [88] McCarthy J. T., Langmuir D. O.: Ultrahydrophobic Surfaces. Effects of Topography Length Scales on Wettability. *Langmuir* 16 (2000.) 20, 7777-7782. doi: 10.1021/la000598o
- [89] Dawson C., Vincent J. and Rocca A.: How pinecones open. *Nature*, 390 (1997.) 6661, 668-668. doi: 10.1038/37745
- [90] Pine cones inspire new materials that change their shape according to stimuli. Dostupno online: [www.robaid.com/bionics/pine-cones-inspire-new-materials-that-change-their-shape-according-to-stimuli.htm](http://www.robaid.com/bionics/pine-cones-inspire-new-materials-that-change-their-shape-according-to-stimuli.htm) [Pristupljeno: 10.8.2018].
- [91] INOTEK. BIOMIMETIC. Dostupno online: <http://www.inotek-textiles.com/technology/> [Pristupljeno: 10.8.2018].
- [92] Textile World. Inotek™: Comfort Trought Adaptive Breathability. Dostupno online: <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2016/07/inotek-fibers-comfort-through-adaptive-breathability/>
- [93] Sarkar M., Fan J., Szeto Y., Tao X.: Biomimetic of Plant Structure in Textile Fabrics for the Improvement of Water Transport Properties. *Textile Research Journal* 79 (2009.) 79, 657-668. doi: 10.1177/0040517508095604
- [94] Sharklet surface texture. Dostupno online: <https://asknature.org/idea/sharklet-surface-texture/> [Pristupljeno: 10.8.2018].
- [95] Science in the news. Dostupno online: <http://www.scienceinthenews.org.uk/contents/?article=8> [Pristupljeno: 10.8.2018].
- [96] Hassan M., Qashqary K., Hassan A. H., Shady E., Alansary M.: Influence of Sportswear Fabric Properties on the Health and Performance of Athletes. *Fibers & Textiles in Eastern Europe* 4 (2012) 93, 82–88
- [97] Park S., Tokura H., Sobajima M.: Effects of Moisture Absorption of Clothing on Pitching Speed of Amateur Baseball Players in Hot Environmental Conditions. *Tex-*

- tile Research Journal 76 (2006.) 383, 383–387. doi: 10.1177/0040517506063388
- [98] Spurkland L., Bardal L. M., Sætran L., Oggiano, L.: Low Aerodynamic Drag Suit for Cycling. Design and Testing. Conference: International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (2015)
- [99] Morita H., Chowdhury, H., Alam F., Subic A., Smith A. J., Jssim R., Bajaba N. S.: Contribution of swimsuits to swimmer's performance. *Procedia Engineering 2* (2010) 2, 2505-2510. doi: 10.1016/j.proeng.2010.04.023
- [100] NASA SPINOFF. Space Age Swimsuit Reduces Drag, Breaks Records. Dostupno online: [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2008/ch\\_4.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2008/ch_4.html) [Pristupljeno: 10.8.2018].
- [101] Speedo. Dostupno online: [https://www.speedo.com/on/demandware.store/Sites-spdeueur-Site/BRG%3aen\\_MU?geoip=geoip](https://www.speedo.com/on/demandware.store/Sites-spdeueur-Site/BRG%3aen_MU?geoip=geoip) [Pristupljeno: 10.1.2020].
- [102] Chowdhury H., Alam F., Mainwaring D.: Aerodynamic study of ski jumping suits. *Procedia Engineering 13* (2011) 376–381. doi:10.1016/j.proeng.2011.05.101
- [103] Nussera M., Sennera V.: High - Tech - Textiles in Competition Sports, *Procedia Engineering 2* (2010.) 2845–2850. doi:10.1016/j.proeng.2010.04.076
- [104] SCIENCE for SPORT. Compression Garments. Dostupno online: <https://www.scienceforsport.com/compression-garments/#toggle-id-1> [Pristupljeno; 12.1.2020].
- [105] Engel F., Stockinger C., Wall A. and Sperlich B.: Effects of Compression Garments on Performance and Recovery in Endurance Athletes (2016.). doi: 10.1007/978-3-319-39480-0\_2
- [106] Pérez-Soriano P., García-Roig Á., Sanchis-Sanchis, R., Aparicio, I.: Influence of compression sportswear on recovery and performance: A systematic review. *Journal of Industrial Textiles* (2018). <https://doi.org/10.1177/1528083718764912>
- [107] Kraemer W. J., Bush J. A., Bauer J. A., Triplett-McBride N. T., Paxton N. J., Clemson A. L., Koziris P., Mangino L. C., Fry A. C. and Newton R.: Influence of compression garments on vertical jump performance in NCAA Division I volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research 10* (1996.) 3, 180-183.
- [108] Sperlich B., Born D. P., Kaskinoro K., Kalliokoski K., Laaksonen M.: Squeezing the Muscle: Compression Clothing and Muscle Metabolism during Recovery from High Intensity Exercise (2013). doi: 10.1371/journal.pone.0060923.
- [109] Lovell D. I., Mason D. G., Delphinus E. M., McLellan, C. P.: Do Compression Garments Enhance the Active Recovery Process after High-Intensity Running? *Journal of Strength and Conditioning Research 5* (2011) 12, 3268. doi:10.1519/jsc.0b013e31821764f8
- [110] Bieuzen F., Brisswalter J., Easthope C., Vercruyssen F., Bernard T., and Hausswirth C.: Effect of Wearing Compression Stockings on Recovery after Mild Exercise-Induced Muscle Damage. *International Journal of Sports Physiology and Performance 9* (2014.) 2, 256–264. doi:10.1123/ijsp.2013-0126
- [111] ADIDAS NEWS STREAM. Dostupno online: <http://news.adidas.com/GLOBAL/Latest-News/ALL/New-adidas-apparel-lowers-your-temperature-and-raises-your-game-/s/27ef4204-b319-480a-9f97-18df78412f6b> [Pristupljeno: 10.10.2018].
- [112] Reviews. It's Cool—Really Cool—to Wear adidas Climachill Athletic Shirts When Temperatures Skyrocket! Dostupno online: <https://www.runsociety.com/reviews/its-cool-really-cool-to-wear-adidas-climachill-athletic-shirts-when-temperatures-skyrocket/> [Pristupljeno: 10.10.2018].
- [113] Van Parys, M.: Development and Research of Smart Functional Clothing Textiles. Dostupno online: <http://www.golf.com/equipment/fashion-3-d-how-climacool-works> [Pristupljeno: 10.10.2018].
- [113] Columbia Omni-Freeze Zero fabric produces cooling effect from sweat. Dostupno online: <https://newatlas.com/columbia-omni-freeze-zero/22902/> [Pristupljeno: 13.10.2018].
- [114] GearJunkie. Magic Material? Clothing said to 'Cool Wearer with Sweat'. Dostupno online: <https://gearjunkie.com/columbia-sportswear-cooling-clothing> [Pristupljeno: 14.10.2018].
- [115] NikePlus. WHAT IS NIKE DRI-FIT? Dostupno online: [https://help-en-us.nike.com/app/answer/a\\_id/204](https://help-en-us.nike.com/app/answer/a_id/204) [Pristupljeno: 15.11.2018].
- [116] Aydoğdu G., Yeşilpınar S. and Erdem D.: Evaluation of three-dimensional virtual perception of garments. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (2017). doi:10.1088/1757-899X/254/15/152001
- [117] Petrak, S., Mahnić, M., GERŠAK, J.: Sizing and fit for swimsuits and diving suits. V: Zakaria, N., Gupta, D. (ur.). *Anthropometry, apparel sizing and design*, (The Textile Institute book series). 2nd ed. Duxford; Cambridge; Kidlington: Woodhead Publishing; [Manchester]: The Textile Institute. cop. 2020, str. 255-287, doi: 10.1016/B978-0-08-102604-5.00010-X.
- [118] D'apuzzo N.: Recent advances in 3D full body scanning with applications to fashion and apparel. *Optical 3-D Measurement Techniques IX*, Vienna, Austria, (2009).
- [119] Smart Body – Ergonomic Seamless Sportswear Design and Development. Dostupno online: <http://iffti.org/downloads/papers-presented/x-RMIT.%202008/papers/p141.pdf> [Pristupljeno: 28.12.2018].
- [120] Chowdharhy H., Alman F., Mainwaring D., Subic A., Tate M., Foster D., Beneneyto-Ferrw J.: Design and Methodology for Evaluating Aerodynamic Characteristics of Sports Textiles, *Sports Technology 2* (2009) 3, 81-86. doi: 10.1080/19346182.2009.9648505
- [121] Chowdharhy H., Alman F., Subic A.: Aerodynamic Performance Evaluation of Sports Textile, *Procedia Engineering 2* (2010.) 2, 2517-2522. doi:10.1016/j.proeng.2010.04.025
- [122] Morita H., Chowdharhy H., Alman F., Subic A., Smith A.J., Jssim R., Bajaba N. S.: Contribution of swimsuits to swimmer's performance. *Procedia Engineering 2* (2010.) 2, 2505-2510. doi: 10.1016/j.proeng.2010.04.023

- [123] Mingliang C., Yi L., Yueping G., Lei Y., Zhigeng P.: Customized Body Mapping to Facilitate the Ergonomic Design of Sportswear. Published by the IEEE Computer Society 35 (2016) 6, 70 – 77. doi: 10.1109/MCG.2016.110
- [124] Jariyapunya N., Musilova B., Geršak J. and Baheti S.: The influence of stretch fabric mechanical properties on clothing pressure. *Vlákna a textile* 22 (2017) 2, 43-48
- [125] Mahnić M., Petrak S., Geršak J., Rolich T.: Analysis of dynamics and fit of diving suits. V: 17th AU-TEX 2017 World Textile Conference, Shaping the Future of Textiles, 29-31 May 2017 Corfu, Greece, (IOP conference series. Materials science and engineering (Online), ISSN 1757-899X, vol. 254). Bristol (UK): IOP Publishing Ltd. 2017, pp: 1-6. doi: 10.1088/1757-899X/254/15/152007

## SUMMARY

### Textile materials intended for sportswear

*S. Stojanović<sup>1</sup>, J. Geršak<sup>2</sup>*

Active sportswear is clothing of certain functions with the aim of ensuring the expected properties of certain sports. An important aspect of sportswear is thermal physiological comfort, especially when sports activities take place in demanding atmospheric conditions (at high or low temperatures) over a long period of time. Wear comfort can often affect athlete's achievement. Proper selection of clothing can significantly reduce the dynamic and thermal loads of athletes. Innovations in textile science and technology make it possible to optimize sportswear. There is a lot of investment in technological innovations of textile materials and creations - fibres, yarns, etc. which results in improved performance of sportswear. In addition, much attention is paid to design that also contributes to improving the performance of sportswear. The paper reports on significant achievements in the field of sportswear intended for professional athletes. Various aspects that affect the comfort of clothing, the impact of different types of fibres, yarns and innovative structures of textile fabrics intended for the production of sportswear are discussed. In addition, special emphasis is given to innovations in the field of jerseys with cooling effect.

**Keywords:** sportswear, special fiber properties, textile structures, clothing with cooling effect, thermo-physiological comfort of clothing

<sup>1</sup> *Department of Textile Sciences, Faculty of Tehnology Leskovac, University of Niš  
Niš, Serbia*

<sup>2</sup> *Research and Innovation Center for Design and Clothing Science, Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor*

*Maribor, Slovenia*

*e-mail: sandra.k770@gmail.com*

*Received December 11, 2018*

## Textilstoffe für Sportbekleidung

Aktive Sportbekleidung ist Bekleidung mit bestimmten Funktionen, um die erwarteten Eigenschaften bestimmter Sportarten zu gewährleisten. Ein wichtiger Aspekt der Sportbekleidung ist der thermisch-physiologische Komfort, insbesondere wenn sportliche Aktivitäten unter anspruchsvollen atmosphärischen Bedingungen (bei hohen oder niedrigen Temperaturen) über einen langen Zeitraum erfolgen. Der Tragekomfort kann sich oft auf die Leistung des Sportlers auswirken. Die richtige Auswahl der Kleidung kann die dynamische und thermische Belastung von Sportlern deutlich verringern. Innovationen in der Textilwissenschaft und -technologie ermöglichen die Optimierung von Sportbekleidung. Es wird viel in technologische Innovationen von textilen Materialien und Kreationen - Fasern, Garne usw. - investiert, was zu einer verbesserten Leistung von Sportbekleidung führt. Darüber hinaus wird dem Design, das ebenfalls zur Verbesserung der Leistung von Sportbekleidung beiträgt, viel Aufmerksamkeit gewidmet. Bedeutende Errungenschaften auf dem Gebiet der für Profisportler bestimmten Sportbekleidung wurden vorgestellt. Verschiedene Aspekte, die den Komfort von Sportbekleidung beeinflussen, werden diskutiert. Besonderes Augenmerk wird auch auf Innovationen im Bereich der Jerseys mit kühlender Wirkung gelegt.