



UNIVERZITET U NIŠU
TEHNOLOŠKI FAKULTET U LESKOVCU



Sandra T. Stojanović

**RAZVOJ PAMETNE MAJICE
ZA PROUČAVANJE OPTEREĆENJA
FUDBALERA KOD
FIZIČKIH AKTIVNOSTI**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Leskovac, 2024.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF TECHNOLOGY IN LESKOVAC



Sandra T. Stojanović

**THE DEVELOPMENT OF SMART
T-SHIRT FOR THE STUDY OF STRAIN
DURING PHYSICAL ACTIVITIES OF
FOOTBALL PLAYERS**

DOCTORAL DISSERTATION

Leskovac, 2024.

MENTOR:

Prof. dr Dušan Trajković, redovni profesor
Univerzitet u Nišu
Tehnološki fakultet u Leskovcu

ČLANOVI KOMISIJE:

dr Nenad Ćirković, docent
Univerzitet u Nišu
Tehnološki fakultet u Leskovcu

dr Jelka Geršak, redovni profesor
Univerzitet u Mariboru
Mašinski fakultet

dr Suzana Uran, docent
Univerzitet u Mariboru
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informatike

dr Tatjana Šarac, docent
Univerzitet u Nišu
Tehnološki fakultet u Leskovcu

Podaci o doktorskoj disertaciji

Mentor: Prof. dr Dušan Trajković, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet u Leskovcu

Naslov: Razvoj pametne majice za proučavanje opterećenja fudbalera kod fizičkih aktivnosti

Rezime: Pri ekstremnim uslovima, kada su temperatura i relativna vlažnost vazduha visoke u kombinaciji sa dugotrajnom i napornom fizičkom aktivnošću (npr. fudbalske utakmice) postoji opasnost od pojave toplotnih bolesti čoveka. Zato je primarni cilj ove disertacije razvoj pametne majice koja će omogućiti praćenje toplotnog stanja (temperatura i relativna vlažnost mikroklima) kao i kretanja sportista tokom fizičkih aktivnosti u letnjem periodu u svrhu očuvanja zdravlja i poboljšanja performansi sportista.

Istraživanje je multidisciplinarno i podeljeno u četiri celine. Prvi deo istraživanja obuhvata ispitivanja mehaničkih, fizičkih i toplotnih svojstava pletenina namenjenih za izradu sportskih majica. Takođe, ispitivan je uticaj sublimacione transfer štampe na promenu ovih svojstava pletenina.

U drugom delu je na osnovu dobijenih rezultata odabrano deset pletenina od kojih su izrađene majice za fudbalere. Trodimenzionalne simulacije majica kreirane su upotrebom *OptiTex* programske i računarske opreme.

U trećem delu sprovedena su toplotno-fiziološka i ergonomska ispitivanja u klima komori. *Motion Capture Systems* je upotrebljen za praćenje parametara kretanja sportista.

Četvrti deo istraživanja se odnosi na razvoj i testiranje pametne majice.

Na osnovu rezultata toplotno-fizioloških i ergonomskih ispitivanja odabrana je poliestarska pletenina za izradu dva prototipa pametne majice. Pametni sistem je realizovan ugradnjom dva senzora temperature i vlage, akcelometra kao i drugih elektronskih komponenta. Za prenos podataka korišćen je *Inter-Integrated Circuit* komunikacijski protokol. Prikupljeni podaci prate se preko personalnog računara i ukoliko ove vrednosti pređu određenu granicu, pametna majica signalizira opasnost.

S ciljem poboljšavanja toplotno-fiziološke i ergonomske udobnosti, izrađena su dva prototipa pametne majice šireg kroja sa ugrađenom mrežicom ispod pazuha kako bi se pojačalo hlađenje tela. Testne osobe su prototipove pametne majice ocenile kao veoma udobne.

Postignuta je dobra usaglašenost između podataka prikupljenih pomoću pametne majice i medicinskog uređaja *MSR 12 Modular Signal Recorder*.

Naučna
oblast:

Tehnološko inženjerstvo

Naučna
disciplina:

Tekstilna tehnologija

Ključne reči:

Pametna majica, pleteni tekstilni materijali, toplotno-fiziološka udobnost, ergonomska udobnost, mikroklima

UDK:

677.075 + 687.14 : 677.017 (043.3)

CERIF
klasifikacija:

T 470 Tekstilna tehnologija

Tip licence
Kreativne
zajednice:

CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor: Dušan Trajković, PhD, Full Professor, University of Niš, Faculty of Technology in Leskovac

Title: The development of smart t-shirt for the study of strain during physical activities of football players

Abstract: In extreme conditions, when the temperature and relative humidity of the air are high in combination with long-term and strenuous physical activity (such as football matches), heat illness may occur. Therefore, the primary goal of this dissertation is the development of a smart T-shirt which will enable the monitoring of the thermal condition (temperature and relative humidity of the microclimate) as well as the movement during physical activities in the summer in order to preserve health and improve the performance of athletes.

The research is multidisciplinary and divided into four parts. The first part of the research includes testing mechanical, physical and thermal properties of knitted fabrics intended for the production of sports t-shirts. Also, the influence of sublimation transfer printing on alterations of these properties of knitted fabrics was investigated.

In the second part, based on the obtained results, ten knitted fabrics were selected for t-shirts production. Three-dimensional simulations of t-shirts were created using OptiTex software.

In the third part, thermo-physiological and ergonomic tests were carried out in the climate chamber. Motion Capture Systems was used for monitoring the movement of the athletes.

The fourth part of the research is related to the development and testing of a smart t-shirt.

Based on the results of thermo-physiological and ergonomic tests, polyester knitted fabric was selected for the production of two smart t-shirt prototypes. The smart system was implemented by installing two temperature and humidity sensors, accelerometer and other electronic components. The Inter-Integrated Circuit communication protocol was used for data transmission. The collected data is monitored via personal computer and if these values exceeded a certain limit, the smart t-shirt would signal danger.

It aims to improve the thermo-physiological and ergonomic comfort two prototypes of smart t-shirts have a wider fit with a built-in mesh under the armpits with purpose to enhance cooling the body were made. The test subjects rated both smart t-shirt prototypes as very comfortable.

A good accordance was found between the data obtained by the smart t-shirt and medical device MSR 12 Modular Signal Recorder.

Scientific
Field:

Technological engineering

Scientific
Discipline:

Textile tehnology

Key Words:

Smart t-shirt, knitted fabrics, thermal physiological comfort, ergonomic comfort, microclimate

UDC:

677.075 + 687.14 : 677.017 (043.3)

CERIF
Classification:

T 470 Textiles tehnology

Creative
Commons
License Type:

CC BY-NC-ND

Eksperimentalni deo doktorske disertacije urađen je u laboratorijama Mašinskog fakulteta Univerziteta u Mariboru (Fakulteta za strojništvo Univerza v Mariboru, Slovenia), Slovenija u okviru CEEPUS-a (Central European Exchange Program for University Studies), Regionalnog centralnoevropskog programa mobilnosti za studente i nastavni kadar (evidencioni brojevi – 2018-0150-99; 2018-0310-99; 2018-0589-99; 2019-0347-99; 2019-0664-99; 2020-0179-99; 2020-0179-99 i 2021-0221-99). Istraživanja iz oblasti ergonomske udobnosti odeće na Moacap (Motion Capture Systems) sistemu urađena su u laboratoriji Univerziteta za tehnologiju i ekonomiju, Odsek za mehatroniku, optiku i informatiku (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mechatronikai, Optikai és Informatika Tanszék) u Budimpešti, Mađarskoj.

*Najiskrenije se zahvaljujem svom mentoru, **dr Dušanu Trajkoviću**, na ukazanom poverenju, prihvaćenom mentorstvu i saradnji kako tokom izrade doktorske disertacije, tako i tokom doktorskih i master studija.*

*Neizmernu zahvalnost dugujem profesorki **dr Jelki Geršak** (Mašinski fakultet Univerziteta u Mariboru) na strpljivosti, nesebičnom ulaganjem svog znanja i iskustva čime je doprinela u svim fazama izrade ove doktorske disertacije. Posebno sam zahvalana na gostoprimiteljivosti i što je moj boravak u Sloveniji ostao u lepom sećanju.*

*Posebnu zahvalnost dugujem **dr Suzani Uran** (Fakultet elektrotehnike, računarstva i informatike u Mariboru, Univerzitet u Mariboru) na uloženom vremenu, trudu i nesebičnom deljenju svog znanja i iskustva iz oblasti elektronike.*

*Zahvaljujem i članovima komisije **dr Nenadu Ćirkoviću** i **dr Tatjani Šarac** na korisnim sugestijama u toku studija i prilikom izrade disertacije.*

*Na kraju, najveću zahvalnost dugujem roditeljima **Svetlani** i **Tihomiru**. Hvala vam na bezgraničnoj ljubavi i nemerljivoj podršci. Hvala i mojoj divnoj sestri **dr Branki Stojanović** na pomoći i podršci koju mi je pružila tokom studija i izrade doktorske disertacije, ona je bila moja najveća podrška, stoga njoj posvećujem ovu tezu.*

Autor

Pregled upotrebljenih simbola

A	[m ²]	- površina kroz koju prolazi toplota
B	[cN·cm ² ·cm ⁻¹]	- krutost savijanja
C	[-]	- kompresibilnost tekstilnih materijala
CIE	[-]	- <i>Commission Internationale de l'Eclairage</i> (sistem specifikacija boja)
clo	1 clo = 0,155 m ² ·K·W ⁻¹	- jedinica toplotne izolacije odeće
D_v	[cm ⁻¹]	- vertikalna gustina pletenine
D_h	[cm ⁻¹]	- horizontalna gustina pletenine
D_u	[cm ⁻²]	- ukupna gustina pletenine
$2HB$	[cN·cm·cm ⁻¹]	- histereza momenta savijanja
EMT	[%]	- izduženje pri maksimalnoj sili
F_k	[cN]	- kompresijska sila na jedinicu površine
G	[cN·cm ⁻¹ ·st ⁻¹]	- krutost pri smicanju
$2HG$	[cN·cm ⁻¹]	- histereza sile smicanja kod ugla smicanja ± 0,5°
$2HG5$	[cN·cm ⁻¹]	- histereza sile smicanja kod ugla smicanja ± 5,0°
h	[mm]	- debljina tekstilnog materijala pri opterećenju od 0,49 cN·cm ⁻²
h_0	[mm]	- debljina tekstilnog materijala određena pri kompresijskom opterećenju od 0,490 cN·cm ⁻²
h_m	[mm]	- debljina tekstilnog materijala određena pri kompresijskom opterećenju od 49,035 cN·cm ⁻²
H_{et}	[W]	- ispareni toplotni tok koji prolazi kroz tekstilni materijal
H_{ct}	[W]	- suvi toplotni tok koji prolazi kroz tekstilni materijal
HE	[%]	- rastezanje u vlažnom stanju
HR	[min ⁻¹]	- srčana frekvencija
I_s	[A]	- struja povezana sa geometrijom i temperaturom tranzistora
I_c	[A]	- struja povezana sa geometrijom i temperaturom kolektora

L_1	[mm]	- dužina uzorka posle sušenja
L_2	[mm]	- dužina uzorka posle mokre obrade
L_3	[mm]	- dužina uzorka posle mokre obrade i sušenja
LC	[-]	- linearnost krive kompresijko opterećenje-deformacija
LT	[-]	- linearnost krive zatezno opterećenje-deformacija
MIU	[-]	- koeficijent površinskog trenja
MMD	[-]	- prosečna vrednost apsolutnog odstupanja koeficijenta trenja MIU
m	[g·m ⁻²]	- površinska masa pletenine
m_{ez}	[g]	- masa evapuriranog (isparenog) znoja
m_{iz}	[g]	- masa izlučenog znoja
m_{t1}	[g]	- telesna masa nage osobe pre ispitivanja
m_{t2}	[g]	- telesna masa nage osobe nakon ispitivanja
p_a	[Pa]	- parcijalni pritisak vazduha u aerodinamičkom tunelu
p_s	[Pa]	- parcijalni pritisak na površini BT ploče
q_{max}	[W·cm ⁻²]	- toplo-hladni osećaj
R	[m ² ·K·W ⁻¹]	- konstanta toplotne otpornosti
R^2	[-]	- koeficijent linearnosti
RV	[%]	- relativna vlažnost vazduha
RC	[%]	- sposobnost oporavka
RS	[%]	- relaksaciono skupljanje
RT	[%]	- sposobnost relaksacije
RH_M	[%]	- relativna vlažnost mikrokline
RH_S	[%]	- relativna vlažnost kože
RH_{S1}	[%]	- relativna vlažnost kože izmerena na grudima testne osobe
RH_{S1}	[%]	- relativna vlažnost kože izmerena na leđima testne osobe
R_c	[m ² ·K·W ⁻¹]	- toplotna otpornost tekstilnog materijala
R_e	[Pa·m ² ·W ⁻¹]	- otpornost tekstilnog materijala protoku vodene pare

R_{ct}	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$	- toplotna otpornost pojedinih slojeva tekstilnog materijala odnosno slojeva odeće, iz kojih se sastoji ceo odevni sistem
R_{et}	$[\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}]$	- otpornost tekstilnog materijala protoku vodene pare pojedinih slojeva tekstilnog materijala odnosno slojeva odeće
R_t	$[\Omega]$	- vrednosti otpornosti na t °C
R_0	$[\Omega]$	- vrednosti otpornosti na 0 °C
S_C	[-]	- koeficijent kompenzacije za osvetljenost
S_H	[-]	- koeficijent kompenzacije za hromatičnost
S_L	[-]	- koeficijent kompenzacije za ton boje
SV	[%]	- sadžaj vlage u čvrstim, praškastim i zrnastim materijalima
SMD	$[\mu\text{m}]$	- geometrijska hrapavost
T	$[\text{°C}]$	- apsolutna temperatura
T_M	$[\text{°C}]$	- temperatura mikrokline
T_a	$[\text{°C}]$	- temperatura vazduha u aerodinamičkom tunelu
T_{BT}	$[\text{°C}]$	- temperatura BT ploče
T_S	$[\text{°C}]$	- temperatura kože
T_{S1}	$[\text{°C}]$	- temperatura kože izmerena na grudima testne osobe
T_{S2}	$[\text{°C}]$	- temperatura kože izmerena na leđima testne osobe
T_k	$[\text{°C}]$	- srednja temperatura kože
T_{pon}	$[\text{°C}]$	- srednja ponderisana temperatura kože
V_{sp}	$[\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}]$	- specifična zapremina tekstilnih materijala
v	$[\text{km} \cdot \text{h}^{-1}]$	- brzina kretanja vazduha
WC	$[\text{cN} \cdot \text{cm}]$	- deformacijski rad pri kompresiji
WT	$[\text{cN} \cdot \text{cm}]$	- deformacijski rad pri zatezanju
\bar{W}	$[\text{W}]$	- vrednost gubitka toplotnog toka sa uzorkom pri standardnoj temperaturi 20 °C i relativnoj vlažnosti vazduha 65 %
\bar{W}_0	$[\text{W}]$	- vrednost gubitka toplotnog toka bez uzorka pri standardnoj temperaturi 20 °C i relativnoj vlažnosti vazduha 65 %
ΔE^*	[-]	- razlika boje
ΔH^*_{ab}	[-]	- nijanse oba upoređivana uzoraka

ΔL^*	[-]	- razlika u osvetljenosti
ΔT	[K]	- razlika temperature BT i temperature okoline
ε_r	[-]	- dielektrična konstanta materijala između ploča
ε_0	[F·m ⁻¹]	- permitivnost slobodnog prostora
ϕ	[W]	- toplotni tok
ϕ_o	[W]	- toplotni tok koji se provodi procesom kondukcije
ϕ_c	[W]	- toplotni tok koji se provodi procesom konvekcije
ϕ_r	[W]	- toplotni tok koji se provodi zračenjem
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	- koeficijent toplotne provodljivosti

Pregled upotrebljenih skraćenica

ACD	- engl. <i>analogue to digital converter</i> (analogno-digitalni pretvarač)
ACK	- engl. <i>acknowledgment</i> (bit potvrde)
ANACK	- engl. <i>negative-acknowledgement</i> (negativni bit)
CAW	- engl. <i>Compression Athletic Wear</i> (kompresijska sportska odeća)
CIE	- fr. <i>Commission Internationale de l'Éclairage</i> (sistem specifikacija boja)
Co	- pamučna vlakna
GND	- uzemljenje
GPS	- engl. <i>Global Positioning System</i> (Globalni pozicioni sistem)
I ² C	- <i>Inter-Integrated Circuit</i> (serijski komunikacioni protokol)
LCD	- engl. <i>liquid-crystal display</i> (ekran zasnovan na tehnologiji tečnih kristala)
LED	- engl. <i>light-emitting diode</i> (svetleća dioda)
LIB	- engl. lithium-ion battery (punjiva litijum-jonska baterija)
MTV	- engl. <i>Mean Thermal Vote</i> (skala za ocenjivanje toplotno-fiziološke udobnosti)
NASA	- engl. <i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Nacionalna vazduhoplovna i svemirska administracija)

PA 6	- Poliamid 6
PA 6,6	- Poliamid 6,6
PA 11	- Poliamid 11
PES	- Poliestar
PET	- Polietilentetraftalat
PCHT	- Policikloheksantereftalat
PCM	- engl. <i>Phase Change Materials</i> (materijali promene faze)
PTAT	- elektronska kola proporcionalna apsolutnoj temperaturi
PTC	- engl. <i>Positive Temperature Coefficient</i> (otpornici)
RAM	- engl. <i>random-access memory</i> (memorija sa slučajnim pristupom)
ROM	- engl. <i>Range of motion</i> (opsega kretanja)
RTD	- detektori temperature koji mere otpornost
NTC	- engl. <i>Negative Temperature Coefficient</i> (otpornici)
V_{BE}	- napon baza-emiter
SDA	- engl. <i>Serial Data</i> (serijski podaci)
SCL	- engl. <i>Serial Clock</i> (serijski sat)
TCs	- engl. <i>Thermocouples</i> (termoelement)
Wo	- vunena vlakna
2D	- dvodimenzionalni
3D	- trodimenzionalni

SADRŽAJ

1	UVOD	1
1.1	Opređenje istraživačkog problema	2
1.2	Naučni doprinos disertacije	3
2	TEORIJSKI DEO	5
2.1	Sportska odeća	5
2.1.1	Vlakna za izradu materijala za sportsku odeću	6
2.1.1.1	Poliestarska vlakna	6
2.1.1.2	Poliamidna vlakna	8
2.1.1.3	Pamučna vlakna.....	9
2.1.1.4	Vuna - vlakna merino vune	11
2.1.1.5	Elastomerna vlakna	11
2.1.2	Razvoj proizvodnje novih vlakana i pređa za sportsku odeću.....	12
2.1.2.1	Šuplja vlakna	12
2.1.2.2	Mikrovlakna	14
2.1.3	Karakteristični zahtevi tekstilnih materijala za sportsku odeću	14
2.1.3.1	Vlakna sa toplotnoregulacionim delovanjem	14
2.1.4	Karakteristike tekstilnih materijala za sportsku odeću	17
2.1.5	Primena sublimacione transfer štampe na pletenim tekstilnim materijalima	19
2.1.6	Numeričko vrednovanje boje	21
2.2	Pregled novih dostignuća u oblasti tekstilnih materijala za sportsku odeću	23
2.3	Softveri i metode za dizajn sportske odeće i skeniranje tela	26
2.4	Udobnost pri nošenju aktivne sportske odeće	30
2.4.1	Toplotno-fiziološka udobnost pri nošenju aktivne sportske odeće.....	30
2.4.1.1	Metode vrednovanja toplotno-fiziološke udobnosti	31
2.4.2	Ergonomska udobnost pri nošenju aktivne sportske odeće	34
2.4.2.1	Metode vrednovanja ergonomske udobnosti sportske odeće	35
2.4.2.2	Vrednovanje slobode kretanja	36
2.4.3	Kožno-senzorna udobnost kod nošenja sportske odeće	37
2.4.3.1	Faktori koji utiču na kožno-senzornu udobnost	38
2.5	Nosiva tehnologija - pametna odeća i inteligentna odeća	39
2.5.1	Definisanje, podela i razvoj pametne odeće	39
2.5.2	Pametni tekstil	40
2.5.3	Nosiva tehnologija i nosivi računar	41

2.5.4	Pametna odeća.....	41
2.5.5	Inteligentna odeća.....	42
2.5.5.1	Podela i karakteristike pametne i inteligentne odeće.....	43
2.5.5.1.1	Pametna odeća za proučavanje opterećenja sportista.....	43
2.5.6	Elektronske komponente koje se upotrebljavaju za izradu pametne odeće i nosive tehnologije.....	45
2.5.6.1	Mikrokontroler.....	45
2.5.6.2	Temperaturni senzori.....	47
2.5.6.2.1	Poluprovodnički temperaturni senzori.....	47
2.5.6.2.2	Termoelement.....	49
2.5.6.2.3	Otpornički detektori temperature (RTD).....	50
2.5.6.2.4	Termistori.....	53
2.5.6.3	Senzori vlage.....	53
2.5.6.3.1	Kapacitivni senzori vlažnosti.....	55
2.5.6.3.2	Optički senzori vlažnosti.....	58
2.5.6.3.3	Detektori vlage koji mere otpornost.....	60
2.5.6.3.4	Piezorezistivni senzori vlažnosti.....	61
2.5.6.4	Senzori za praćenje kretanja.....	62
2.5.6.4.1	Akcelerometar.....	62
2.5.6.4.1.1	Princip rada troosnog akcelerometra.....	63
2.5.6.4.2	Žiroskop.....	63
2.5.6.4.3	Globalni pozicioni sistem.....	64
2.5.6.5	Baterije.....	65
2.5.7	Inter-Integrated Circuit I ² C serijski komunikacioni protokol.....	66
2.5.7.1	Povezivanje jednog upravljača i više izvršitelja.....	69
2.5.7.2	Povezivanje više upravljača i više izvršitelja.....	69
2.6	Pregled dostignuća na području pametne sportske odeće za praćenje toplotnog opterećenja sportista.....	69
2.7	Pregled doktorskih desrtacija iz oblasti nosive tehnologije i pametne odeće.....	72
3	EKSPERIMENTALNI DEO.....	77
3.1	Ciljevi i namena disertacije.....	77
3.2	Hipoteze disertacije.....	77
3.3	Plan istraživanja.....	78
3.4	Odabir odeće za eksperimente.....	78
3.5	Odabir osoba za eksperimente.....	80
3.6	Upotrebljeni pleteni tekstilni materijali.....	81
3.7	Postupak štampanja pletenina tehnikom sublimacione transfer štampe.....	83

3.8	Primenjene metode, standardi i aparati za ispitivanja pletenina.....	84
3.8.1	Ispitivanje strukturnih parametara pletenina	84
3.8.2	Određivanje sadržaja vlage pletenih tekstilnih materijala	85
3.8.3	Određivanje propustljivosti vazduha pletenih tekstilnih materijala	85
3.8.4	Određivanje dimenzione stabilnosti pletenih tekstilnih materijala.....	86
3.8.5	Ispitivanje razlike boje ΔE^* pletenih tekstilnih materijala štampanih tehnikom sublimacione transfer štampe	87
3.8.6	Analiza slika uzoraka pletenih tekstilnih materijala.....	87
3.8.7	Ispitivanje mehaničkih i fizičkih parametara pletenih tekstilnih materijala primenom KES-FB sistema	88
3.8.7.1	Određivanje zateznih i svojstava smicanja pletenina KES-FB1 AUTO mernim uređajem.....	89
3.8.7.2	Određivanje svojstava savijanja pletenina KES-FB2 AUTO mernim uređajem.....	91
3.8.7.3	Određivanje kompresijskih svojstava KES-FB3 AUTO mernim uređajem.....	92
3.8.7.4	Određivanje površinskih svojstava pletenina KES-FB4 AUTO mernim uređajem ..	93
3.8.8	Ispitivanje toplotnih svojstava pletenina	95
3.8.8.1	Određivanje toplo-hladnog osećaja pletenina.....	97
3.8.8.2	Određivanje koeficijenta toplotne provodljivosti tekstilnih materijala	97
3.8.8.3	Određivanje toplotne otpornosti pletenina	98
3.8.8.4	Određivanje otpora tekstilnog materijala protoku vodene pare.....	98
3.8.9	Uslovi i metode testiranja toplotno-fizioloških svojstava odeće	99
3.8.10	Ispitivanje fizioloških parametara tokom fizičkih aktivnosti	100
3.8.10.1	Određivanje temperature i relativne vlažnosti kože	100
3.8.10.2	Određivanje srčane frekvencije tokom fizičkih aktivnosti	102
3.8.10.3	Određivanje količine isparenog i upijenog znoja	103
3.8.10.4	Subjektivna ocena toplotne udobnosti.....	104
3.8.11	Ocenjivanje udobnosti odeće korišćenjem <i>OptiTex</i> programske opreme.....	104
3.8.12	Subjektivno ocenjivanje ergonomske, mehaničke i kožno-senzorne udobnosti	105
3.8.13	Praćenje kretanja sportista korišćenjem <i>Motion Capture Systems</i>	105
3.8.14	Zahtevi pri projektovanju pametne majice	107
3.8.15	Računarska konstrukcija fudbalskih majica pomoću programske opreme <i>OptiTex</i> . ..	108
3.8.16	3D simulacija fudbalskih majica pomoću programske opreme <i>OptiTex</i>	108
3.8.17	Arhitektura sistema pametne majice	108
3.8.18	Metodologija ispitivanja toplotnog stanja i kretanja sportista tokom fizičke aktivnosti korišćenjem pametne majice	112
4	REZULTATI I DISKUSIJA	114
4.1	Fizička svojstva pletenih tekstilnih materijala.....	114
4.1.1	Sadržaja vlage pletenih tekstilnih materijala.....	114

4.1.2	Propustljivost vazduha pletenih tekstilnih materijala	116
4.1.3	Dimenziona stabilnost pletenih tekstilnih materijala.....	117
4.2	Uticao sublimacione transfer štampe na strukturalna svojstva pletenih tekstilnih materijala	119
4.3	Uticao sublimacione transfer štampe na fizička svojstva pletenih tekstilnih materijala	122
4.4	Mehanička svojstva pletenih tekstilnih materijala.....	123
4.4.1	Zatezna svojstva pletenih tekstilnih materijala.....	124
4.4.2	Svojstva savijanja pletenih tekstilnih materijala	127
4.4.3	Svojstva smicanja pletenih tekstilnih materijala.....	128
4.4.4	Kompresijska svojstva pletenih tekstilnih materijala	130
4.4.5	Površinska svojstva pletenih tekstilnih materijala.....	132
4.5	Uticao sublimacione transfer štampe na mehanička svojstva pletenina.....	134
4.5.1	Zatezna svojstva pletenina.....	134
4.5.2	Svojstva savijanja pletenina	139
4.5.3	Svojstva smicanja pletenina	142
4.5.4	Kompresijska svojstva pletenina	145
4.5.5	Površinska svojstva pletenina.....	152
4.6	Razlika boje ΔE^*	154
4.7	Analiza mikroskopskih slika pletenina bez i sa štamptom	156
4.8	Toplotna svojstva pletenih tekstilnih materijala	159
4.9	Uticao sublimacione transfer štampe na toplotna svojstva pletenina.....	162
4.10	Upoređivanje simuliranih 3D modela (<i>OptiTex</i>) fudbalerskih majica sa stvarnim (realizovanim) fotografijama majica	167
4.11	Toplotno-fiziološka ispitivanja tokom sportskih aktivnosti	169
4.11.1	Ponderisana temperatura kože.....	169
4.11.2	Rezultati isparavanja i izlučivanja znoja	180
4.11.3	Rezultati srčane frekvencije	182
4.11.4	Subjektivna ispitivanja toplotno-fiziološke udobnosti	183
4.11.5	Ergonomska, mehanička i kožno-senzorna udobnost.....	187
4.11.5.1	Subjektivna ocena ergonomske udobnosti pri nošenju analiziranih majica	189
4.11.5.2	Subjektivna ocena mehaničke udobnosti pri nošenju analiziranih majica	190
4.11.5.3	Subjektivna ocena kožno-senzorne udobnosti pri nošenju analiziranih majica ..	190
4.11.5.4	Subjektivna ocena ukupne udobnosti pri nošenju analiziranih majica	191
4.12	Određivanje udobnosti pri nošenju fudbalerskih majica upotrebom <i>OptiTex</i> programske opreme	191
4.13	Rezultati ergonomske udobnosti procenjene upotrebom <i>Motion capture sistema</i> ..	194

4.14	Izrada prvog prototipa pametne majice	200
4.15	Izrada drugog prototipa pametne majice	204
4.15.1	Udobnost pri nošenju pametne majice	209
4.15.2	Rezultati testiranja izvodljivosti i brzine odaziva senzora SHT-31 integrisanih u pametnu majicu.....	210
4.15.3	Praćenje toplotnog opterećenja sportista korišćenjem prvog prototipa pametne majice.....	212
4.15.4	Promena mikroklimе praćena korišćenjem pametne majice pri različitim temperaturama okoline.....	215
4.15.5	Promena mikroklimе praćena korišćenjem pametne majice pri različitim intenzitetima fizičke aktivnosti	220
4.16	Praćenje mikroklimе i kretanja sportiste korišćenjem drugog prototipa pametne majice.....	225
4.16.1	Testiranje akcelorometra integrisanog u pametnu majicu	225
4.16.2	Praćenje mikroklimе i kretanja sportiste korišćenjem pametne majice.....	227
5	ZAKLJUČCI	233
PRILOG	260

1 UVOD

Sportska odeća ima značajnu ulogu u dostignućima sportista, posebno ako je u pitanju sportska odeća sa posebnim funkcijama namenjena profesionalnim sportistima. Poslednjih godina došlo je do značajnih promena na području sportske odeće. Kao posledica tehnološkog napretka, za izradu sportske odeće se sve više koriste materijali koji imaju poboljšana svojstva propuštanja vazduha i vodene pare, veliku jačinu i elastičnost što omogućava bolje prijanjanje i poboljšanu udobnost pri nošenju. Takođe, u ovu svrhu se sve više koriste savremeni funkcionalni materijali koji su bazirani na specijalnim tipovima polimera, strukture i geometrije vlakana, mešavine vlakana, strukture tekstilnog materijala i završne dorade. Za poboljšavanje toplotno-fizioloških svojstava sportske odeće je povećan trend upotrebe mikrovlakana, termoregulacionih i šupljih vlakana.

Udobnost odeće je jedan od najbitnijih kriterijuma za ocenjivanje kvaliteta odevnih predmeta i od velikog je značaja prilikom odabira odeće. Bitni kriterijumi kod odabira sportske odeće je da ona ispunjava uslove toplotno-fiziološke, ergonomske i kožno-senzorne udobnosti. To znači da ova odeća pre svega ima dobra svojstva propuštanja vazduha i vlage, mogućnost brzog sušenja, dobru dimenzionu stabilnost kako u suvom tako i mokrom stanju, dobru jačinu, povećanu elastičnost, mek i prijatan opip kao i funkcionalan dizajn.

Pleteni tekstilni materijali se koriste za izradu sportske odeće zbog poboljšanih svojstava elastičnosti i fleksibilnosti što omogućava nesmetano kretanje tela. Takođe, struktura pletenih tekstilnih materijala se odlikuje povećanom poroznošću, što omogućava poboljšan transport vlage sa kože čoveka u okolinu. Zbog ovih povoljnih svojstava, pletenine imaju prednost za izradu sportske odeće u odnosu na druge tekstilne materijale.

Značaj sporta i različitih vrsta sportske odeće je sve veći širom sveta. Svojstva tekstilnih materijala koji se koriste za proizvodnju sportske odeće imaju veliki uticaj na performanse sportista. Pri odabiru tekstilnog materijala od kojeg će se izrađivati sportska odeća, potrebno je obratiti pažnju na fizička, strukturna i mehanička svojstva ovih materijala. Upravo ta svojstva imaju veliki uticaj na performanse i kvalitet sportske odeće. Poznato je da svaka završna obrada (hemijska, termička, itd.) dovodi do promena svojstava i kvaliteta tekstilnih materijala. Sportska odeća, posebno ona namenjena grupnim sportovima i raznim takmičenjima, štampa se u svrhu ukrašavanja ili obeležavanja odeće (brojevi ili imena takmičara, kao i različiti logoi timova i sponzora), a često ovaj otisak pokriva velike površine odeće.

Oblast pametne odeće je u fokusu naučne javnosti već trideset godina, od kada su se prvi put počeli proizvoditi pametan tekstil i odeća.

Tekstilni materijal koji je sposoban da oseti stimulanse iz okoline, reaguje na njih, kao i da se prilagođava tim uslovima pomoću integracije funkcija u tekstilnu strukturu, naziva se pametni tekstil. Pametna odeća je definisana kao novi tip odeće koji može da obezbedi introaktivni odgovor na stimulanse, procesira informacije i aktivira odgovore. Stimulansi mogu imati električno, toplotno, magnetno ili drugo poreklo.

Profesionalno bavljenje fudbalom podrazumeva česte i dugotrajne treninge i utakmice. Kada se sportske aktivnosti obavljaju u letnjem periodu povećava se rizik od pojave toplotnih bolesti. Posledice toplotnih bolesti mogu biti blage, praćene velikim umorom i dehidracijom ili može doći do promene u centralnom nervnom sistemu kao što je smanjenost razumevanja i promene ponašanja. Takođe, može doći do ozbiljnih promena koje se manifestuju kao dilirijum, ukočakost, napad ili koma.

Kombinacija povišene temperature i vlažnosti vazduha, dugotrajnog i napornog vežbanja, neadekvatne sportske odeće (koja sprečava isparavanje vlage), mogu doprineti pojavi toplotnog udara koji je najčešći uzrok smrti kod mladih sportista.

Na osnovu navedenih saznanja i problema sa kojima su suočeni profesionalni sportisti istraživanje će biti sprovedeno u četiri faze sa ciljem pronalaženja rešenja za očuvanje zdravlja i smanjenja rizika od pojave toplotnih bolesti, prevelike iscrpljenosti i poboljšavanja performansi fudbalera.

1.1 Opredeljenje istraživačkog problema

Opšti cilj naučne disertacije je razvoj pametne majice koja će omogućiti praćenje opterećenja fudbalera prilikom fizičkih aktivnosti u letnjem periodu (pri visokim temperaturama okoline). Ova majica će na osnovu integrisane elektronike omogućiti merenje temperature mikrokline i relativne vlažnosti mikrokline kao i praćenje kretanja fudbalera.

Pored opšteg cilja, postavljeno je još nekoliko specifičnih ciljeva:

- odrediti značajna svojstva pletenih tekstilnih materijala i savremenih funkcionalnih materijala koja će omogućiti najpovoljniju toplotno-fiziološku, ergonomsku i kožno-senzornu udobnost pri nošenju sportske odeće;
- definisanje veze između parametara pletenih tekstilnih materijala i odaziva tela prilikom fizičkih aktivnosti;

- utvrditi uticaj sublimacione transfer štampe na mehanička, toplotna i strukturna svojstva pletenih tekstilnih materijala različitih sirovinskih sastava, strukturnih i konstrukcijskih rešenja;
- na osnovu dobijenih rezultata izvršiti odabir pletenog tekstilnog materijala sa najpovoljnijim svojstvima za izradu fudbalske majice.
- dizajniranje sportske majice na osnovu čega će biti sprovedena izrada prototipa koji će obezbediti najpovoljniju ergonomsku udobnost sportiste;
- izrada prototipa pametne majice koja će imati funkciju praćenja fizičkog i toplotnog opterećenja i na taj način sprečiti preteranu fizičku iscrpljenost ili pojavu toplotnih bolesti, kao i praćenje kretanja što će omogućiti poboljšanje sportskih performansi.

1.2 Naučni doprinos disertacije

Poznavanje toplotnog stanja sportista je od velikog značaja za fiziološka proučavanja, kao i za ispitivanje udobnosti pri nošenju odeće. Ovo je posebno važno sa stanovišta stalnog kretanja i aktivnosti sportista, gde se prenos toplote iz tela mora posmatrati kao proces koji se dinamički menja. Mikroklima odeće je vazdušni sloj između kože i najbližeg sloja odeće prilikom nošenja odeće [1, 2]. Na mikroklimu koja se stvara između tela i sloja tekstilnog materijala (odeće) utiču faktori odeće (osobine tekstilnih materijala, kroj, procenat pokrivanja tela, način nošenja odeće), ljudski faktori (pol, godine, telesna masnoća) i faktori spoljašnje sredine (temperatura i relativna vlažnost okoline) [3]. Razmena vazduha između mikroklimе odeće i spoljašnje sredine ima značajan uticaj na gubitak toplote isparavanjem i suvi toplotni gubitak nosioca odeće [2 - 5].

Povećana mišićna aktivnost tokom vežbanja izaziva uvećanu proizvodnju toplote u telu zbog neefikasnosti metaboličkih reakcija uključenih u obezbeđivanje energije za razvoj mišićne snage [6]. Toplotna regulacija sportista tokom intenzivne fizičke aktivnosti zavisi od dinamičke ravnoteže energije koja uključuje atmosferske i fizičke uslove. Temperatura kože (T_s) predstavlja ključnu varijablu koja kontroliše razmenu toplote između tela i okoline [7].

Uobičajeno je da se veliki sportski događaji održavaju u letnjem periodu. Klimatsko stanje tada ima veliki uticaj na performanse sportista, a utiče i na njihovo zdravlje [8, 9]. Kombinacija visoke temperature okoline i vlažnosti može izazvati toplotni stres, koji dalje može dovesti do toplotnih oboljenja i negativno uticati na performanse sportista [7 - 10]. Zbog ovih razloga izuzetno je važno pratiti toplotno stanje sportista tokom letnjeg perioda. Osim toga, eksperimentalno ispitivanje temperature kože sportista tokom intenzivnog trčanja u

standardnim laboratorijskim uslovima prema posebno dizajniranim protokolima pri kontrolisanoj temperaturi i vlažnosti vazduha, moglo bi biti značajno za procenu fizičke efikasnosti i/ili nivoa treninga sportista [11].

Na osnovu pregleda literature primećeno je da je objavljen mali broj studija o razvoju pametne odeće za praćenje toplotnog opterećenja sportista, a nijedna ne uključuje pametni odevni predmet šireg kroja. Do sada je najviše istraživanja bilo posvećeno nosivim uređajima i pametnim tekstilnim materijalima, koje bi naknadno trebalo prilagoditi odevnom predmetu. Uz pametnu odeću za praćenje toplotnog stanja, kao i drugih fizioloških parametara, istraživači su dobili tačnost merenja i dobar signal na osnovu direktnog kontakta senzora i kože testne osobe. U slučaju pametne majice predstavljene u ovoj disertaciji, parametri temperature (mikroklike) i relativne vlažnosti (mikroklike) mere se u realnom vremenu i daju pouzdane i realne rezultate bez obzira da li dolazi do direktnog kontakta između kože i senzora. Pored toga, mnogi pametni odevni predmeti su izrađeni od debljih ili višeslojnih materijala gde se elektronske komponente lako sakrivaju, dok su u slučaju pametne majice (predstavljene u ovoj disertaciji) elektronske komponente uspešno ugrađene u tanke i elastične pletenine (male debljine i površinske mase) na način da se ove komponente ne vide i ne narušavaju estetski izgled i udobnost majice.

Naučni doprinos ove disertacije je uspešna realizacija pametne majice sa tačnom i pouzdanom mogućnošću praćenja toplotnog statusa sportista u toplim klimatskim uslovima. Pored toga, problemi koji se javljaju sa drugim nosivim uređajima, pametnim tekstilom i pametnom odećom, kao što su kidanje „E-pređe“ [12], potreba da se dizajn odeće prilagodi elektronskim komponentama [12 – 14], ugrožena tačnost merenja kao posledica pokreta ruku ili disanja [15], kontakt vlage sa elektronikom ili druge poteškoće tokom prikupljanja signala [16], kao i potreba za korišćenjem dodatne hardverske opreme su izbegnuti [17].

2 TEORIJSKI DEO

2.1 Sportska odeća

Sportska odeća ima veliki uticaj na performanse sportista. Kvalitet sportske odeće zavisi od termodinamičkih, aerodinamičkih i hidrodinamičkih svojstava korišćenog tekstilnog materijala. Takođe, značajni uticaj na performanse sportske odeće ima i dizajn [18].

Sa porastom popularnosti sporta i sportske odeće došlo je do inovacija u oblasti proizvodnje vlakana što je omogućilo izradu tekstilnih materijala visokih performansi koji imaju poboljšana svojstva propustljivosti vazduha i vodene pare, kao i čvrstoće. Poseban napredak je postignut u oblasti dizajna na poboljšanju ergonomске udobnosti odeće koja omogućava nesmetano kretanje tokom napornih fizičkih aktivnosti [19].

Sportska odeća se može podeliti u četiri grupe:

- funkcionalna (engl. *functional*);
- osnovna (engl. *basic*);
- neformalna (engl. *casual*) i
- modna (engl. *fashion*) [20].

Funkcionalna sportska odeća je izrađena sa ciljem poboljšanja funkcionalnosti i performansi sportista. Često se izrađuje upotrebom bezšavne tehnologije pletenja što omogućava optimizaciju udobnosti i estetskog izgleda [21]. Poželjne karakteristike funkcionalne sportske odeće su optimalna regulacija vlage i toplote, dobra propustljivost vodene pare i vazduha, antibakterijska svojstva, elastičnost, mekan i prijatan dodir.

Kod osnovne sportske odeće pažnja je usmerena na dizajn, dok je funkcionalnost u drugom planu [20]. Neformalna sportska odeća može se definisati kao odeća za slobodno vreme, odnosno, koja se nosi svakodnevno kada se ne očekuju sportske aktivnosti koje mogu dovesti do povećanog znojenja [20, 22].

Tokom godina, modna industrija je promenila način na koji je sportska odeća uticala na uličnu odeću i postala poznata. Postepeno, od 2010. godine, ulična moda igra veliku ulogu u poboljšanju i kreiranju većine sportske odeće. Tako su mnoge urbane kolekcije sportske odeće uvedene u velike modne kompanije. Kod modne sportske odeće najviše pažnje se poklanja dizajnu i teži se da ova odeća izgleda moderno i atraktivno [19].

Zahtevi za sportsku odeću zavise od vrste sporta, klimatskih uslova, nivoa aktivnosti itd.

U tabeli 1 dati su uslovi u kojima se nosi sportska odeća namenjena profesionalnim i rekreativnim sportistima [23].

Tabela 1. Uslovi za sportsku odeću namenjenu profesionalnim i rekreativnim sportistima [23]

Sport	Uslovi nošenja odeće
Profesionalno bavljenje sportom	Maksimalna fizička aktivnost, kratko vreme nošenja odeće, nepromenljivi klimatski uslovi
Rekreativno bavljenje sportom	Aktivne faze / slobodno vreme, nosi se dugo vreme, promenljivi klimatski uslovi

Tabela 2 prikazuje opšte zahteve koje sportska odeća treba da zadovolji.

Tabela 2. Zahtevi sportske odeće [23]

Uslovi korišćenja	Zahtevi
Hladno vreme	Visoke vrednosti toplotne izolacije
Toplo vreme	Niske vrednosti toplotne izolacije
Umereno znojenje	Dobra propustljivost vodene pare, dobra apsorpcija
Obilno znojenje	Dobra propustljivost vodene pare, brzi transfer tečnosti, nizak novo zadržavanja vlage

2.1.1 **Vlakna za izradu materijala za sportsku odeću**

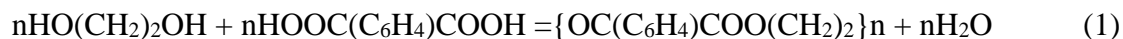
Svojstva i kvalitet vlakana imaju značajan uticaj na karakteristike tekstilnih materijala, pa samim tim i na performanse funkcionalne sportske odeće. Sportska odeća poseduje mnoštvo karakteristika, na primer, pruža funkcionalnu podršku, poboljšava performanse, štiti sportistu od naprezanja/povreda, promovise sportsku aktivnost, komunicira modu i stil i najvažnije, nudi udobnost korisniku. Najvažniji faktor kojem vlakna doprinose udobnošću odeće je ravnoteža vlage i toplote koja osigurava odgovarajuću mikroklimu [24].

Za izradu različitih vrsta sportske odeće od konvencionalnih vlakana najčešće se koriste poliestarska, poliamidna, pamučna, vlakna merino vune kao i mešavine ovih vlakana sa elastanskim [25].

2.1.1.1 **Poliestarska vlakna**

Poliestarska (PES) vlakna spadaju u grupu sintetičkih vlakana, budući da su proizvedena od polimera koji ne postoje u prirodi. Postoji različite vrste poliestara, ali svi se

proizvode reakcijom polikondenzacije i svi sadrže funkcionalnu grupu estera COO. Najvažnija vrsta poliestara je polietilentereftalat (PET). Ovo je rezultat reakcije polikondenzacije između etilen diglikola i tereftalne kiseline:



Ova reakcija se odvija na temperaturi koja dostiže 290 °C i pod pritiskom od 400 kPa. Polimer koji se može iznova rastvarati i ponovo ispredati postupkom hemijskog ekstrudiranja. Ovo svojstvo se koristi u proizvodnji i recikliranju poliestarskih vlakana. Najčešće se poliestarska vlakna proizvode predenjem iz rastvora kao niti beskonačne dužine (filamenti) od polimera u vidu granula ili postupkom kontinuirane polimerizacije.

Granule se najpre suše na temperaturi od oko 170 °C kako bi se smanjio sadržaj vlage i na taj način sprečilo nastajanje hidrolize polimera što dovodi do pogoršanja njegovih svojstava. Granule se zatim tope i ekstrudiraju kroz mlaznice na temperaturi između 265 °C i 290 °C. Brzina proizvodnje može biti čak 4000 m·min⁻¹. Mlazovi polimera odmah se učvršćuju usled prisustva hladnog vazduha. Oni se, zatim, izvlače na temperaturi iznad temperature ostakljivanja ($T_g = 69$ °C) kako bi se poboljšala orijentacija polimernih lanaca i povećala jačina [54]. Struktura poliestarskih vlakana kombinacija je kristalne i nekristalne regije.

Zatezna svojstva poliestarskih vlakana variraju u zavisnosti od parametara proizvodnog postupka. Slično drugim sintetičkim vlaknima poliestar se može proizvesti s različitim karakteristikama: na primer, velikom relativnom jačinom i malim prekidnim izduženjem (85 cN·tex⁻¹ i 7 %, po redosledu navođenja) ili s malom relativnom jačinom i velikim prekidnim izduženjem (26 cN·tex⁻¹ i 40 %, po redosledu navođenja).

Poliestarska vlakna mogu se proizvesti kao osnovna vlakna pogodna za mešanje s pamukom u rasponu podužnih masa od 0,13–0,33 tex i prosečne dužine od 38 do 60 mm. Ova vlakna karakteriše mala apsorpcija vlage i sposobnost nakupljanja elektrostatičkih naboja na površini tkanine. Poliestarska vlakna otporna su na delovanje razblaženih kiselina, alkalija i organskih rastvarača, ali mogu se oštetiti u velikim koncentracijama svega navedenog [26].

Željeni oblik poprečnog preseka poliestarskih vlakana moguće je dobiti upotrebom različitih profila mlaznica prilikom ekstrudiranja polimera. Tako poliestarska vlakna mogu imati okrugli, trilobalni, šuplji, trilobalni šuplji i drugi poprečni presek [27].

U tabeli 3 data je hemijska struktura poliestarskih vlakana.

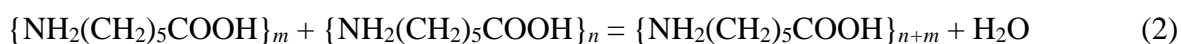
Tabela 3. Hemijska struktura poliestarskih vlakna [28]

Vrsta vlakna	Hemijska građa	Monomerna jedinica	Izvor	Oblici
Polietilentereftalatna (PET)	Polietilentereftalat	$[-\text{OOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-(\text{CH}_2)_2]_n$	Iz tereftalne kiseline i etilenglikola (najmanje 85%)	Vlakna, pređe različitih jačina
Polibutilentereftalatna (BPT)	Polibutilentereftalat	$[-\text{OOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4]_n$	Iz tereftalne kiseline i butilenglikola	Vlakna, pređe različitih jačina
Policikloheksantereftalatna (PCHT)	Policikloheksantereftalat	$[-\text{OOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_{10}-\text{CH}_2]_n$	Iz dihidroksimetilcikloheksana i tereftalne kiseline	Vlakna, pređe različitih jačina

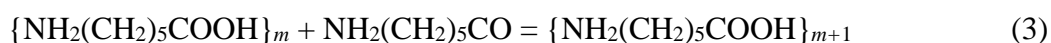
2.1.1.2 Poliamidna vlakna

Najlon je uopšteno ime za poliamidne polimere koji su linearni polimeri sa strukturnim jedinicama povezane amidnom funkcionalnom grupom NHCO. U zavisnosti od hemijskog sastava elementarnih jedinica, poliamidna (PA) vlakna označena su kao poliamid X ili poliamid Y, Z, gde je X broj ugljenikovih atoma u aminokiselini, a Y i Z je broj ugljenikovih atoma u diaminu i dikarboksilne kiseline, po redosledu navođenja. Najkomercijalnije vrste su poliamid 6 i poliamid 6,6 [26].

Najlon 6 sintetizuje se iz aminokapronske kiseline bilo reakcijom polikondenzacije:



ili po dodatku:



Reakcija se obično odvija u inertnoj atmosferi azota pri povišenoj temperaturi od oko 260 °C. Dobijeni polimer se sastoji od amidnih grupa orijentisanih u istom smeru. Najlon 6 ima molekulsku masu u rasponu od 14000 do 20000; $T_g = 47$ °C, a temperatura topljenja $T_m = 215$ °C.

PA 6,6 nastaje reakcijom polikondenzacije:



PA 6,6 ima molekulsku masu veću od 10000, $T_g = 50$ °C, a $T_m = 265$ °C. Za razliku od najlona 6 kod poliamida 6,6 svake dve amidne veze su usmerene u suprotnom smeru.

Slično mnogim sintetičkim polimerima najlon je delom kristalni, a delom amorfni. Susedni makro-molekularni lanci najlona povezani su Van der Valsovim silama i vodoničnim

vezama između NH i CO grupa. To olakšava stvaranje višestruko savijenih molekularnih lanaca raspoređenih u kristalnim aglomeratima u obliku filma (debljine 6 – 10 nm) i fibrilarnim agregatima. Ti kristalni delovi često su ugrađeni u sferne agregate koji se nazivaju sferuliti; to su agregati molekula koje imaju dovoljno velike dimenzije (do 0,1 μm) da se mogu prepoznati pod optičkim mikroskopom [26].

Najlon je termoplastično vlakno i zato se dobija postupkom pređenja rastopa kao kontinuirani filament. Svojstva PA 6 i PA 6,6 mogu se razlikovati u zavisnosti od uslova proizvodnje, kao što su prečnik vlakna, brzina izvlačenja i primenjene temperature. Relativna jačina i prekidno izduženje za poliamid 6 su 29 $\text{cN}\cdot\text{tex}^{-1}$ i 46 %, po redosledu navođenja. Relativna jačina PA 6,6 može biti u rasponu od 37 do 66 $\text{cN}\cdot\text{tex}^{-1}$ i prekidno izduženje u rasponu od 16 do 43 % s negativnom korelacijom između ova dva parametra [26]. I PA 6 i PA 6,6 pokazuju značajan stepen viskoelastičnih svojstava koja su istaknutija sa porastom temperature.

U tabeli 4 data je hemijska struktura PA vlakana.

Tabela 4. Hemijska struktura polamidnih vlakna [28]

Vrsta vlakna	Hemijska građa	Monomerna jedinica	Izvor	Oblici
PA 6,6	Poliheksametilen-adipamid	$[-\text{HN}-(\text{CH}_2)_6-\text{NHCO}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}-]_n$	Iz heksametilendiamida i adipinske kiseline	Vlakna, pređe različitih jačina
PA 6	Poli- ϵ -kapolaktam	$[-\text{HN}-(\text{CH}_2)_5-\text{CO}-]_n$	Iz ϵ -kapolaktama	Vlakna, pređe različitih jačina
PA 11	Poliundekanamid	$[-\text{HN}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CO}-]_n$	Iz undekanske kiseline	Vlakna, pređe različitih jačina

2.1.1.3 Pamučna vlakna

Pamučno (Co) vlakno je biljnog porekla koje čini oko jednu trećinu ukupne svetske proizvodnje tekstilnih vlakana. Pamučno vlakno raste na površini semena biljke pamuka (lat. *Gossypium*). Pamučna vlakana sadrže oko 90–95 % celuloze organskog sastava opšte formule $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Pamučna vlakna takođe sadrže voskove, pektine, organske kiseline i neorganske supstance koje proizvode pepeo kada vlakno sagori.

Celuloza je linearni polimer jedinica 1,4- β -D-glukoze povezanih glukozidnim vezama između atoma ugljenika broj 1 jednog molekula glukoze i broj 4 drugog molekula. Stepenn polimerizacije molekula celuloze može biti i do 10000. Hidroksidne grupe OH sa bočnih strana

molekulskog lanca povezuju susedne lance zajedno vodoničnom vezom i formiraju mikrovlaknaste trake koje su dalje raspoređene u veće gradivne blokove vlakana.

Pamučna vlakna su delom kristalna a delom amorfnja; udeo kristalnosti merena rendgenskim metodama je između 70 i 80 %.

Poprečni presek pamučnog vlakna podseća na oblik bubrega u kojem se može prepoznati nekoliko slojeva:

1. Spoljašnji ćelijski zid koji se sastoji od kutikule i primarnog zida. Kutikula je tanak sloj voska i pektina koji pokriva primarni zid, koji se sastoji od mikrovlakana celuloze. Ove mikrofibrile su raspoređene u mrežu spirala sa desnom i levom orijentacijom;

2. Sekundarni zid je sastavljen od nekoliko koncentričnih slojeva mikrofibrila koji periodično menjaju svoju ugaonu orijentaciju u odnosu na osu vlakna;

3. Centralna šupljina je lumen koji se sastoji od osušenih ostataka ćelijskog jezgra i protoplazme.

Svojstva pamučnih vlakana mogu imati velike varijacije u zavisnosti od botaničkih grupa biljaka iz koje se dobija vlakno, zemljišta na kome se biljka uzgaja, klimatskih i vremenskih uslova, načina uzgoja i mnogih drugih faktora. Dužina vlakna koja se može dobiti iz semena kreće se od 3 do 63 mm. Vlakna koja su kraća od 12 mm se ne smatraju pogodnim za pređenje i stoga nemaju komercijalnu vrednost za tekstilnu industriju. Tipična dužina mešavine indijskog i azijskog pamuka (lat. *Gossipium herbaceum* i *Gossipium arboreum*) je 9,5–25 mm, za američki gorski pamuk (lat. *Gossipium hirsutum*) 19–35 mm, za egipatski pamuk (lat. *Gossipium barbadense*), koji je takođe poznat kao južnoamerički i ekstra dugi rezani pamuk, 38–63 mm. Najduži pamuk, međutim, čini samo nekih 5 % ukupno proizvedenog pamuka. Većina vlakana koja se koriste u industriji su dužine od 20 do 32 mm.

Finoća pamučnog vlakna može se definisati:

- podužnom masom, koja je obično između 0,13 i 0,21 tex i
- poprečnim presekom vlakna (iako nije kružan) za koji se procenjuje da je između 12 i 20 μm .

Pojedinačna pamučna vlakna mogu pokazati jačinu do 5 cN i prekidno izduženje do 10 %. Najbolji pokazatelj zateznih svojstava vlakana je relativna jačina što predstavlja odnos apsolutne jačine i podužne mase. U suvim uslovima relativna jačina pamučnih valakana je 25–45 $\text{cN}\cdot\text{tex}^{-1}$, u vlažnim uslovima pamučna vlakna postaju jača za 10–20 %. U standardnim atmosferskim uslovima (65 % relativne vlažnosti i 20 °C) repriza vlage za pamuk je u proseku 7,5 %.

Pamučna vlakna su otporna na baze i supstance za izbeljivanje, ali ih mogu lako oštetiti jake koncentrovane kiseline kao što su hlorovodonična i sumporna kiselina i jaki oksidansi kao što su kalijum-permanganat i natrijum-hipohlorit [26].

2.1.1.4 Vuna - vlakna merino vune

Vlakna merino vune imaju široku primenu u izradi sportske odeće a najčešće se koriste za izradu odeće za biciklizam i trčanje. Vunena vlakna (Wo) se odlikuju malom jačinom, dobrom trajnošću i prekidnim izduženjem koje u suvim uslovima iznosi 30 % a u vlažnim 50 %. Poprečni presek vunenih vlakana je blago elipsastog oblika. Prečnik vlakna merino vune može biti manji od 15,5 μm dok kod konvencionalnih vunenih vlakna on može biti veći od 70 μm . U zavisnosti od vrste, dužina konvencionalnih vunenih vlakana se kreće u rasponu od 35 do 350 mm, dok se dužina vlakana merino vune kreće u rasponu od 60 do 110 mm. Vlakna merino vune imaju pozitivna svojstva toplotne regulacije, kontrole vlage i mirisa, a i biorazgradiva su [29, 30].

2.1.1.5 Elastomerna vlakna

Elastomerna (EL) vlakna, među kojima su najzastupljenija elastanska i elastodienska vlakna, su vlakna iz grupe hemijskih vlakana (od sintetičkih polimera) koja se odlikuju izuzetnim elastičnim oporavkom (95 %) i moguće ih je istegnuti do 700 %. Ova vlakna je moguće istegnuti na trostruku dužinu, a da se nakon prestanka opterećenja opet vrate na prvobitnu dužinu. Elastansko vlakno (EL), koje je šezdesetih godina prošlog veka predstavila kompanija *DuPont*, je poznato pod trgovačkim nazivom *Lycra*, takođe je poznato kao *Elastan* (nemačko govorno područje) i *Spandex* (englesko govorno područje).

Standard ISO 2076:2013 [31] naglašava da su EL vlakna sastavljena od segmentiranog poliuretana sa masenim udelom od minimalno 85 %. Ovakav poliuretan je sačinjen od alifatičnih polietara i poliestara (meke oblasti) i poliuretanskih segmenata (krute oblasti). EL filamenti se ne koriste samostalno već se koriste za obavljanje pređa izrađenih od prirodnih ili sintetičkih vlakana ili njihovih mešavina [32].

Ova izuzetno povoljna elastična svojstva, omogućavaju da se EL vlakno (u malim procentima) kombinuje sa drugim vlaknima što omogućava izradu tekstilnih materijala ili odeće koja se odlikuju elastičnošću i udobnošću. To je doprinelo velikom zastupljenosti ovih vlakana u izradi sportske odeće [32].

2.1.2 Razvoj proizvodnje novih vlakana i pređa za sportsku odeću

Poslednjih godina zabeležen je značajan porast u razvoju novih vlakana koja zadovoljavaju potrebe brzo rastućeg tržišta sportske funkcionalne odeće. Potražnja za funkcionalnom sportskom odećom pokrenula je inovacije u vlaknima, pređama i tekstilnim materijalima za izradu sportske odeće.

U tabeli 5 dat je pregled novih hemijskih vlakana od sintetičkih i prirodnih polimera i pređa izrađenih od tih vlakna koje se koriste za izradu aktivne sportske odeće [33].

2.1.2.1 Šuplja vlakna

Šuplje vlakno se može definisati kao filament ili štapelno vlakno sa jednim ili više praznih (vazdušnih) jezgara koja su aksijalno ugrađena [34]. Primarni cilj je bio proizvodnja vlakna koja će imati lumen po ugledu na pamučna vlakna. Danas je moguće skoro sva hemijska vlakna proizvesti kao šuplja vlakna. U sportskoj odeći najveću primenu imaju PES i PA šuplja vlakna koja se proizvode sa okruglim, trilobalnim, kvadratnim i heksagonalnim poprečnim presekom [34 – 37].

Šuplja vlakna imaju bolju toplotnu izolaciju, kao i poboljšana svojstva savijanja i torzije u odnosu na konvencionalna vlakna [35, 36]. Najveću primenu imaju u izradi zimske sportske odeće, kao i odeće sa funkcijom toplotne zaštite [35]. Veoma su lagana što je rezultat šupljina u njihovoj strukturi [36].

Welkey je trgovačko ime za PES šuplje vlakno. Ovo vlakno koje se koristi za izradu sportske odeće ima centralnu šupljinu kao i mnoštvo manjih šupljina raspoređenih po celoj površini. Kombinacija ovih šupljina značajno povećava apsorpciju vlage, a samim tim udobnost odeće koja je izrađena od ovih vlakana. Pored toga, vazdušni prostor unutar vlakana omogućava uvećanje toplotne otpornosti tekstilnog materijala [35].

PES vlakno sa trgovačkim nazivom *Thermolite* ima široku primenu u sportskoj odeći namenjenoj zimskim sportovima. Ovo vlakno u šupljinama „hvata“ vazduh i na taj način poboljšava udobnost i toplotna svojstva odeće. Specifična površina šupljih vlakana doprinosi ubrzanom isparavanju vlage, što omogućava da se tekstilni materijali izrađeni iz ovih vlakana osuše i do 50 % brže od konvencionalnih pamučnih tekstilnih materijala [37].

Tabela 5. Hemijska vlakna od sintetičkih i prirodnih polimera za proizvodnju sportske odeće [33]

Vrsta vlakna	Trgovačko ime	Svojstva vlakana i preda od njih	Primena
Poliestarska vlakna	<i>Fieldsensor</i>	Brzo odvodi znoj, brzo prenosi vlagu na spoljašnju površinu tekstilnog materijala. Visoka poroznost omogućava cirkulaciju vazduha unutar tekstilnog materijala.	Odeća za golf, atletska odeća, biciklistička odeća, odeća za skijanje i snovborda, planinarska odeća [38, 39].
	<i>Coolpass</i>	Mikro vlakno s otvorima koji imaju efekat sifona što omogućava bolju regulaciju vlage. Znoj se odvodi sa kože i prenosi na spoljašnji sloj tkanine, što pomaže kod regulacije telesne temperature, a koža ostaje suva. Sportska odeća proizvedena od ovog vlakna daje osećaj toplote tokom zime a hladnoće tokom leta.	Donji deo u troslojnom sistemu [40]
	<i>Triactor</i>	<i>Triactor</i> upija znoj i suši se mnogo brže od konvencionalnih PES vlakana, čime se unutrašnjost odeće održava suvom. To se postiže promenom preseka poliestarskog filamentna u Y oblik. Njegova konstrukcija smanjuje dodirnu površinu materijala sa kožom, što doprinosi hladnijem i osvežavajućem efektu.	Odeća za golf; atletska odeća i čarape [41]
Poliamidna vlakna	<i>Tactel</i>	Ova vlakna imaju trilobalni poprečni presek. Vlakna su mekana na dodir, lagana i brzo se suše. Suše se do osam puta brže od pamuka, postižu se do tri puta čvršći tekstilni materijali u odnosu na pamučne i imaju dobra svojstva elastičnosti.	Vetroodbojne tkanine, žensko intimno rublje, odeća za plesače i gimnastičare [42].
	<i>Tactel Micro</i>	Izvanredna jačina	Vetroodbojne tkanine [43]
	<i>Supplex Micro</i>	Izvanredna jačina	Vetroodbojne tkanine [43]
	<i>Hydrofil</i>	Poliamidni polimer koji se sastoji od 85 % PA 6 i 15 % poli(etilenoksid) diamina. Ima povećan kapacitet apsorpcije vlage na nivou celuloznih vlakana.	Sportska odeća [44]
	<i>Meryl Satine</i>	Mekoća dodira i dobra otpornost na habanje.	Odeća za ekstremne sportove [45]
	<i>Meryl Microfibre</i>	Povećana mekoća	Sportska odeća koja se nosi pored kože [45]
	<i>Meryl Next</i>	Šuplje vlakno sa dobrim toplotnim svojstvima.	Odeća za skijanje [45]
Regenerisana celulozna vlakna	<i>Tencel</i>	Izuzetno visok kapacitet apsorpcije vlage. Jedinstvena struktura nano fibrila. Glatka površina. Čvrsta i mekana vlakna, otporna na habanje i kidanje. Visoka zatezna čvrstoća u mokrom i suvom stanju. Izrada mešavina s prirodnim i veštačkim vlaknima.	Sportska odeća: gornja odeća i donje rublje [46]

2.1.2.2 Mikrovlakna

Mikrovlakna se mogu definisati kao jako fina hemijska vlakna čija podužna masa je manja od 0,9 dtex a često ispod 0,4 dtex [47]. Povoljna osobina mikrovlakana je velika lakoća, dok se tekstilni materijali izrađeni od mikrovlakana odlikuju izuzetnom čvrstoćom (uprkos velikoj finoći filamenata) dobrom propustljivošću vlage i vazduha i mekanim opipom. Pored toga, mikrovlakna se odlikuju izuzetnim estetskim svojstvima. Najčešće se mikrovlakna proizvode kao poliestarska i poliamidna. Takođe, u manjoj meri se proizvode i kao akrilna, polipropilenska i mikrovlakna od regenerisane celuloze. Mikrovlakna mogu imati i posebna svojstva kao što su vodoodbojnost i vodonepropusnost uz istovremeno dobru propustljivost vazduha i izvanredna mehanička svojstva što se postiže posebnim tehnologijama izrade. Ova vlakna se odlikuju povećanom poroznošću što je rezultat velike finoće. Ova svojstva poboljšavaju prenos vlage kao i toplotna svojstva materijala [48, 49].

2.1.3 Karakteristični zahtevi tekstilnih materijala za sportsku odeću

Sportska odeća namenjena profesionalnim sportistima mora da ispuni zahteve toplotno-fiziološke, ergonomske i kožno-senzorne udobnosti. U daljem tekstu prikazan je pregled nekih novih specifičnih vlakana, pređa i tekstilnih materijala koji imaju ulogu postizanja potrebnih svojstava sportske odeće.

2.1.3.1 Vlakna sa toplotnoregulacionim delovanjem

Vlakna sa svojstvom regulacije toplote mogu poboljšati toplotno-fiziološku udobnost apsorpcijom ili oslobađanjem toplote. Odeća izrađena od ovih vlakana može imati efekat grejanja ili hlađenja tela zavisno od temperature prostora. Ova odeća sadrži materijale sa promenom faza (engl. PCM - *Phase Change Materials*). PCM sa promenom temperature prelaze iz čvrstog u tečno agregatno staje i obrnuto tj. zagrevaju ili hlade nosioca odeće [50]. Ovi materijali imaju mogućnost akumuliranja ili oslobađanja energije (toplote) [51].

Na tržištu je dostupno preko petsto PCM (prirodnog ili sintetičkog porekla) sa raznovrsnim toplotnim kapacitetima i tačkama topljenja. U tekstilnoj industriji najveću primenu ima parafin [52]. Tokom osamdesetih godina prošlog veka, Nacionalna vazduhoplovna i svemirska administracija (engl. *National Aeronautics and Space Administration* — NASA) je primenila PCM u tekstilu s ciljem izrade odeće sa toplotno-regulacijskim svojstvima, što se

smatra prvom primenom PCM materijala u tekstilu. Ova odeća je imala zadatak da spreči posledice po zdravlje astronauta koje nastaju usled naglih promena temperature u svemiru [53].

Vlakna sa toplotneregulacionim delovanjem imaju primenu u izradi različitih vrsta sportske odeće, sportskog donjeg veša, odeće za biciklizam, planinarenje, zimske sportske odeće itd. [54].

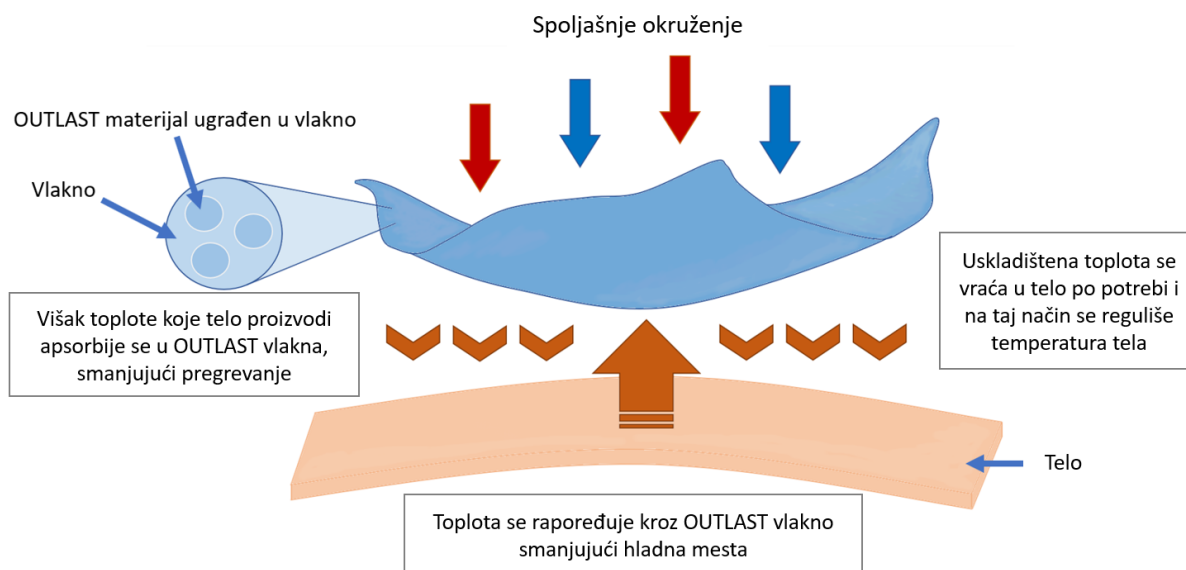
PCM se u području tekstila mogu primeniti na sledeće načine:

- a) ugradnja mikrokapsuliranih PCM supstanci u vlakna u toku procesa hemijskog ispredanja [55];
- b) PCM se na tekstilnu podlogu nanose procesima naslojavanja ili lamiranja [56] ili
- c) nanošenjem PCM na tekstilne materijale primenom tehnike sito štampe [56].

Prednost prvog načina primene PCM je poboljšavanje toplotne izolacije i pritom nema uvećanja debljine i površinske mase tekstilnog materijala [56]. Dok naslojavanje PCM-a na tekstilnu podlogu povećava debljinu, površinsku masu, krutost tekstilnog materijala a negativno utiče na njegova mehanička svojstva [55].

I pored velike rasprostranjenosti upotrebe PCM u tekstilu, zabeležen je kratkotrajni efekat njihovog dejstva [57]. Ispitivan je uticaj PCM ugrađenih u poslovno odelo na toplotno-fiziološku udobnost nošenja i ustanovljen je kratkotrajan efekat hlađenja sa promenom intenziteta telesne aktivnosti [58].

Danas su na tržištu dostupne mnoge komercijalne PCM supstance sa svojstvom toplotne regulacije među kojima se posebno ističe *Outlast*. Primenom *Outlast* tehnologije proizvode se: pređe, tkanine, pletenine i netkani tekstilni materijali izrađeni od viskoznih i/ili akrilnih vlakana u koje su ugrađeni mikrokapsulirani PCM. Način delovanja *Outlast* tehnologije prikazan je na slici 1 i zasniva se na principu skladištenja (apsorbovanja) toplote koju telo stvara usled fizičkih aktivnosti ili visoke temperature prostora istovremeno hladi telo. Uskladištena toplota, ukoliko je to potrebno, može se osloboditi sa ciljem zagrevanja tela. Na ovakav način omogućava se regulacija temperature tela [50, 58]. Istraživano je dejstvo hlađenja *Outlast* pletenine i na osnovu eksperimentalnih rezultata utvrđeno je delovanje PCM supstanci od oko 15 minuta, s tim da je delovanje najizraženije u prva tri minuta [58, 59].



Slika 1. Način funkcionisanja Outlast vlakana [33]

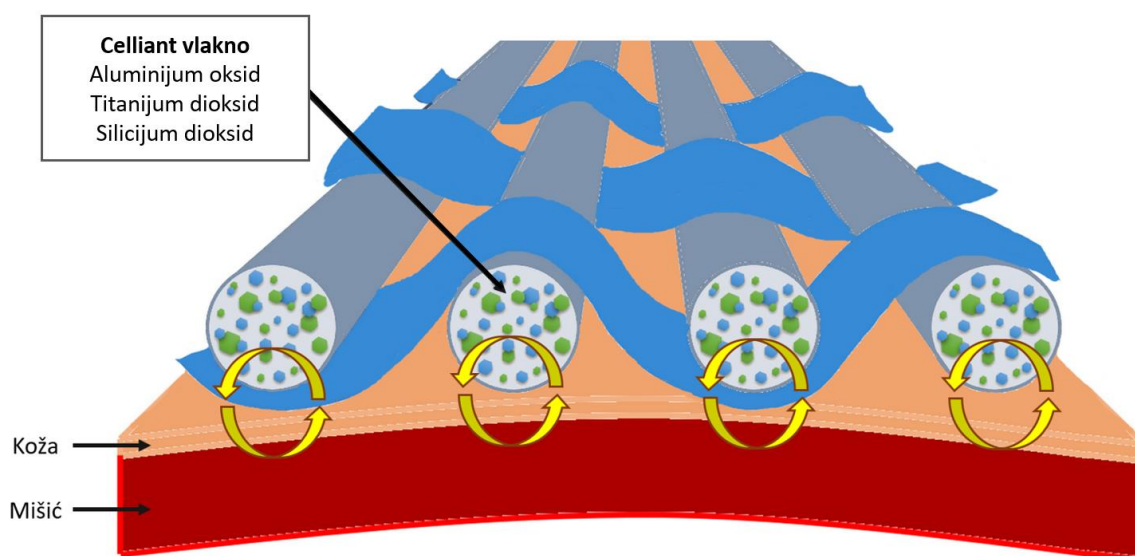
Za izradu sportske odeće se koriste vlakna visoke udobnosti (*Coolmax® active*, *Viloft® thermal*, *Ciebet* itd.) kod kojih su specijalna svojstva postignuta pomoću specifičnih morfoloških karakteristika ovih vlakana. Izvanredna kapilarnost se postiže promenom oblika poprečnog preseka. Ovaj proces je veoma brži kod ovih u poređenju sa konvencionalnim vlaknima.

Coolmax® active je PES vlakno visokih performansi kompanije *Invista*. Ovo vlakno sadži četiri ili šest kanala koji formiraju transportni sistem uvećane specifične površine koji doprinosi boljem odvođenju vlage sa kože na spoljašnji sloj tekstilnog materijala, što omogućava da koža nosioca odeće bude suva. Tekstilni materijali izrađeni od ovih vlakana odlikuju se poboljšanim svojstvima kontrole vlage i propustljivosti vazduha [33].

Viloft® thermal je viskozno vlakno kompanije *Kelheim Fibers GmbH* sa spljoštenim poprečnim presekom čime je uvećana specifična površina za preko 50 %. Ovakva struktura vlakna doprinosi promeni strukture pređe a samim tim i tekstilnog materijala i odeće izrađenih od ovih vlakana. *Viloft® thermal* vlakna se dobijaju iz drvene celuloze i odlikuju se izuzetnom mekoćom, prozračnošću i brzom apsorpcijom vlage sa kože. Najveću primenu imaju u proizvodnji donjeg veša, čarapa i tekstilnih materijala namenjenih proizvodnji sportske odeće. Na tržištu su dostupne mešavine ovog vlakna sa PES i Co vlaknina. Prema rezultatima ispitivanja, mešavine bogate *Viloft* vlaknom doprinose poboljšanju toplotnih svojstava tekstilnih materijala [60].

Celliant[®] je trgovačko ime za polimerno vlakno sintetisano od polietilentereftalata kod koga su u jezgri vlakna ugrađene optički aktivne čestice. Proizvođač tvrdi da *Celliant*[®] tehnologija u interakciji sa elektromagnetnom emisijom ljudskog tela (ljudsko telo emituje infracrveno zračenje) pretvara toplotu u infracrvenu energiju stimulišući lokalnu cirkulaciju. Time se povećava nivo kiseonika u telu i smanjuje bol koja nastaje kao posledica vežbanja. *Celliant*[®] tehnologija ovako unapređuje sportska dostignuća, kvalitet sna i zdravlja [61, 62].

Način funkcionisanja *Celliant* tehnologije prikazan je na slici 2.



Slika 2. Način funkcionisanja *Celliant* tehnologije [33]

2.1.4 Karakteristike tekstilnih materijala za sportsku odeću

Razvoj sporta obuhvata poboljšanje performansi sportista traženjem načina za proučavanje ljudskog tela i projektovanja sportske odeće sa posebnim funkcijama. Početkom 1980-ih na tržištu sportske odeće uvedeni su pleteni tekstilni materijali. Luksuzni brendovi počeli su da upotrebljavaju pletenine sa ciljem izrade sportske odeće koja „grli figuru“. Mnogi tekstilni materijali počeli su da se izrađuju od visoko kvalitetnih vlakana i pređa sa složenim strukturama, što je pomoglo da se poboljšaju funkcionalna svojstva odevnih predmeta za tržište sportske odeće. Poslednjih godina dosta je urađeno na razvoju pletenih i tkanih tekstilnih materijala koji se koriste za izradu sportske odeće [63].

Pletenine su se nekada smatrale inferiornijim u odnosu na tkanine zbog njihove relativne nestabilnosti. Međutim, inovacije u tehnologiji pređenja i pletaćih mašina su doprinele da pletenine često imaju bolja svojstva u odnosu na tkanine. Mnogi brendovi danas, na

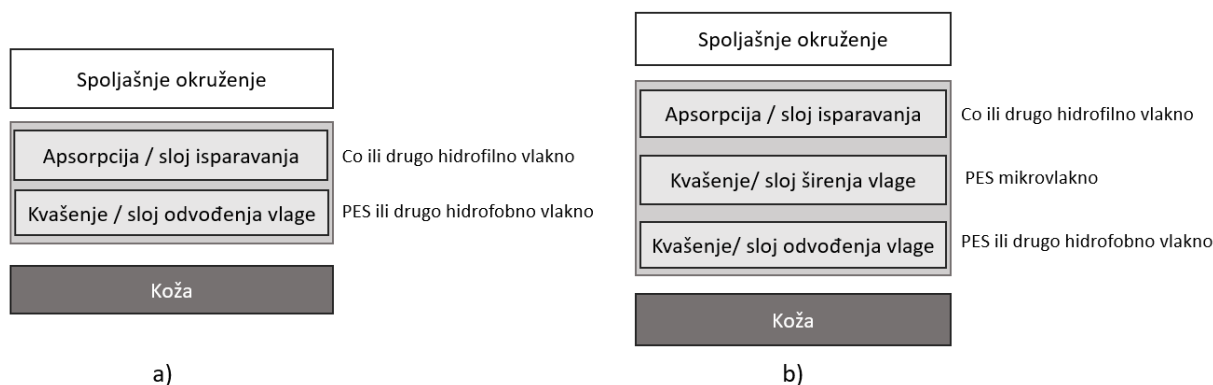
savremenom globalnom tržištu, koriste pletene tekstilne materijale zbog njihovih naprednih svojstava: povećane elastičnosti, male krutosti i dobre poroznosti. Ovo omogućava poboljšanu toplotnu regulaciju, upravljanje vlagom kao i nesmetano kretanje, obezbeđujući prednost pletenina u odnosu na druge tekstilne materijale prilikom izrade sportske odeće [64, 65].

Karakteristike tekstilnih materijala kao što su parametri korišćene pređe, prepletaj i završna dorada mogu značajno uticati na performanse sportske odeće i time na toplotnu regulaciju ljudskog tela [64]. Struktura tekstilnog materijala ima važnu ulogu u dizajnu sportske odeće [65].

Prepletaj pletenine ima veliki uticaj na njena svojstva. Pletenine u desno-levom prepletaju bolje apsorbuju vlagu u odnosu na pletenine izrađene u pike i saće prepletaju. Poboljšana svojstva kontrole vlage desno-levih pletenina su posledica oblika petlje i položaja kraka petlje [66].

Jedan od načina da se poboljša toplotna udobnost sportske odeće je upotreba tekstilnih materijala koji imaju strukturu mikro mreže. Upotrebom ove vrste materijala omogućava se povećana ventilacija i na taj način se poboljšava hlađenje tela. Mrežasta struktura tekstilnog materijala se može postići na dva načina. Prvi je postizanje mrežašte strukture u postupku pletenja, a drugi se odnosi na lasersku mikro-perforaciju. Drugi način omogućava postizanje izuzetno malih rupa na tekstilnom materijalu [67].

Višeslojne pletenine postale su uobičajene za aktivnu sportsku odeću. Performanse višeslojnih pletenina u toplotno-fiziološkoj regulaciji su bolje od konvencionalnih jednoslojnih tekstilnih materijala. Svaki sloj ima posebnu funkciju. Sloj pored kože brzo odvodi znoj do spoljašnjeg sloja, koji ga upija i brzo raspršuje u atmosferu isparavanjem. Čineći to, telesna toplota se smanjuje i održava telo hladnim. Za unutrašnji sloj (sloj do tela) koriste se sintetička vlakna sa dobrim svojstvima prenosa vlage, npr. poliestar, polamid, akril ili polipropilen, dok se za spoljašnji sloj koriste vlakna koja dobro upijaju vlagu, npr. pamuk, vuna, viskoza ili njihove mešavine (slika 3a). Provodni unutrašnji sloj brzo prenosi znoj na upijajući spoljašnji sloj, uglavnom kao rezultat kapilarnog efekta. Spoljašnji, upijajući sloj materijala funkcioniše kao tampon zona za višak znoja.



Slika 3. Višeslojni tekstilni materijali: a) dvoslojna struktura i b) troslojna struktura

Takođe je konstruisana troslojna struktura (slika 3b). Upotreba „superfine“ niti od mikrovlakana omogućava proizvodnju gustih tkanina što dovodi do efikasnijeg kapilarnog delovanja uz bolju toplotno-fiziološku regulaciju [23].

2.1.5 Primena sublimacione transfer štampe na pletenim tekstilnim materijalima

Prema „*Textile terms and definition*“, štampanje tekstila je definisano kao proizvodnja dizajna ili motiva na podlozi primenom bojila ili drugih reagenasa, obično štamparske paste ili boje [68]. Štampanje tekstila je umetnost i nauka o ukrašavanju tekstilnih materijala uzorkom ili dizajnom. Danas su na raspolaganju različite direktne i indirektno tehnike štampanja tekstila, a najpopularnije su transfer, digitalna i sito štampa [69].

Transfer štampa je definisana kao: „Postupak kojim se dizajn prenosi sa jedne podloge, obično papira, na drugu. Upotrebljavaju se nekoliko tehnika kao što su prenošenje rastopa, oslobađanje filma i mokri prenos, ali najvažnija je prenošenje parom (sublimacioni prenos). Odabrane disperzne boje prenose se u pari na vlakna kada su transfer papir i tekstilni materijal u kontaktu u presi pri temperaturi od 170 ° do 220 °C“ [68].

Sublimaciono štampanje se realizuje u dva koraka:

1. štampanje na posebnom transfer papiru pomoću štampača;
2. prenos uzorka ili dizajna sa papira na tekstilni materijal toplotom pomoću prese [70].

Prednosti transfer štampe su: jednostavan i brz proces, brza promena boje i dizajna, mogućnost štampanja pletenih i netkanih tekstilnih materijala nestabilnih struktura, nema zagađenja vazduha i vode, poboljšane mogućnosti dizajna, niska potrošnja energije. Nedostaci transfer štampe su: mogućnost deformacije vlakana, dobar kvalitet je moguće postići na materijalima od poliestarskih (PES) vlakana, boja je vidljiva samo na jednoj strani tekstilnog materijala [70].

Za proces štampanja sublimacionom tehnikom koriste se disperzne boje, tzv. sublimacione boje. Dobro je poznato da disperzne boje nisu jonske, pa su pogodne za štampanje hidrofobnih vlakana (najčešće PES) na visokim temperaturama fiksiranja. Ovim procesom boje se trajno ugrađuju u strukturu tekstilnog materijala [71, 72]. Međutim, disperzne boje nisu pogodne za štampanje hidrofilnih vlakana. Nemoguće je direktno štampati pamučne materijale kao ni materijale iz mešavine pamučnih i sintetičkih vlakana disperznim bojama i sublimacionim papirom.

Upotreba disperznih boja veoma je ograničena u štampanju prirodnih vlakana jer u tim uslovima ove boje nemaju moć obojenja [72]. Zbog toga je širom sveta uloženo mnogo napora kako bi se omogućila upotreba transfer štampe na hidrofilnim tekstilnim supstratima. Bilo je mnogo različitih pristupa za modifikaciju tekstilnih materijala [71 – 80]. Na primer, štampanje prirodnih vlakana transfer tehnikom bilo je moguće modifikacijom sublimacionog papira [81 – 84].

Pamučne pletenine modifikovane su pomoću POLAPPRET PU-S, POLAPPRET AC-S (A) sa ciljem omogućavanja sublimacione transfer štampe disperznim bojama. Utvrđeno je da povećana koncentracija nanetih sredstava dovodi do blagog smanjenja stepena beline za štampanu pozadinu. Otpornost na habanje i pranje kako suvih tako i mokrih uzoraka je vrlo dobra za štampane pletenine. Relativna jačina boje (odnos K/S) za štampane pletenine bila je zadovoljavajuća nakon pranja za PES štampane uzorke. Modifikacija pletenina upotrebom POLAPPRET PU-S pokazala je bolje rezultate u pogledu trajnosti otisaka i kvaliteta boje u poređenju s onim modifikovanim sa POLAPPRET AC-S (A) [73].

PES/elastin (92/8 % i 90/10 %) pletenine namenjene proizvodnji donjeg veša štampane su tehnikom sublimacione transfer štampe. Utvrđeno je da se vrednosti propustljivosti vazduha smanjuju za oko 40 % nakon štampanja, takođe, gustina pletenina povećana je za oko 15 %, dok se debljina smanjila za oko 18 %. Dobijeni su dobri rezultati postojanosti boje (otpornost na habanje, kućno i komercijalno pranje) ocena 5 [85].

U dodatku, istraživana je uticaj kolor štampanja na poroznost pletenina štampanih tehnikom sublimacione transfer štampe. Poroznost pletenina procenjena je na osnovu slika dobijenih pomoću *Nikon* mikroskopa, CCD kamere i softvera *NIS Elements*. Na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da merenje poroznosti zavisi od vrste prepletaja i parametara pređe. Takođe, utvrđeno je da se ova metoda može koristiti za pletenine male debljine i da nije pogodna za deblje pletenine. Pored toga, upotrebljena boja utiče na merenje poroznosti: tamnije nijanse negativno su uticale na ova merenja [86].

Jedno od mogućih rešenja koja omogućavaju štampanje 100 % pamučnih tekstilnih materijala kao i mešavina pamuka sa sintetičkim vlaknima pomoću tehnike sublimacione transfer štampe je sublimacioni polimerni prah. Ovaj prah je komercijalno dostupan i obično se koristi za štampanje različitih vrsta mešavina pamučnih ili 100 % pamučnih tekstilnih materijala [87].

2.1.6 Numeričko vrednovanje boje

Boja kao rezultat interakcije svetlosti, površine posmatranog predmeta i ljudskoga vida je subjektivni doživljaj posmatrača.

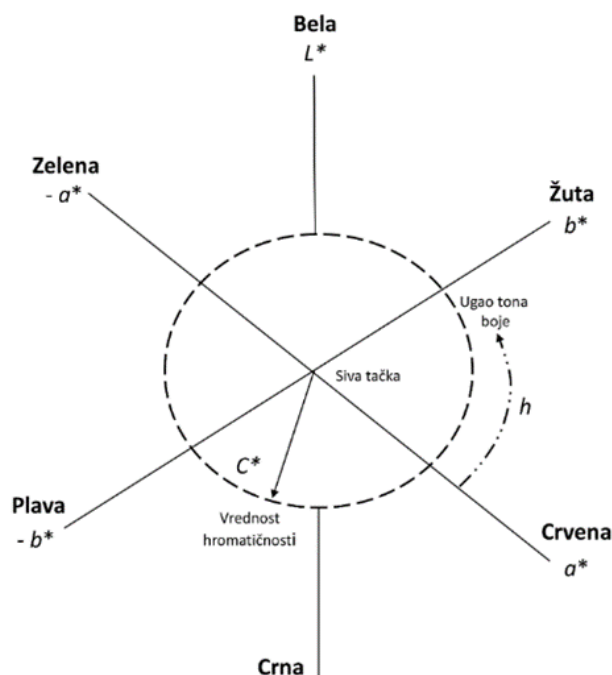
Numerička procena boje i razlike u boji proučava metrika boja. Metrikom boja omogućuje se objektivno i standardizovano određivanje njihovog tona, zasićenosti i osvetljenosti, uz pomoć brojčanih pokazatelja. Međunarodna komisija za osvetljenje CIE (fr. *Commission Internationale de l'Eclairage*) izdala je osnove metrike boja 1931 godine, dok su značajne dopune objavljene 1976. godine [88, 89].

Prostor boja može da se definiše kao metoda koja se koristi za vizuelizaciju boja. To je trodimenzionalni geometrijski prostor sa koordinatama koje definišu sve boje koje ljudsko oko raspoznaje. U prostoru boja određenu boju predstavlja tačka. Koordinate daju položaj boje ali ne definišu o kojoj se boji se radi, to zavisi od korišćenog prostora [90].

CIE je 1976. godine definisao uniformisani trodimenzionalni prostor zasnovan na teoriji suprotnih boja. Boje su definisane sa tri ose: dve hromatske ose a^* i b^* i ahromatska L^* (engl. *luminance*) koja označava osvetljenost ($L^* = 0$ je crno, $L^* = 100$ je belo). Hromatska osa a^* ima orijentaciju crveno-zeleno. Pozitivna a^* osa je usmerena ka crvenoj a negativna osa prema zelenoj boji. Hromatska osa b^* ima orijentaciju žuto-plavo. Pozitivna b^* osa usmerena je ka žutoj a negativna ka plavoj boji. Ovi parovi boja zeleno-crveno i plavo-žuto odgovaraju parovima boja u teoriji suprotnih procesa (engl. *opponent color theory*) koja objašnjava kako ljudsko oko vidi boje.

L^* , a^* i b^* koordinate boje su numerički rezultati dobijeni prema utvrđenim formulama [91, 92].

Na slici 4 grafički je prikazan *CIElab* prostor boja.



Slika 4. CIElab prostor boja, izrađeno po uzoru na Becerir B. 2017. [91]

Procena razlike boje (ΔE^*) vrši se poređenjem dve boje. Jedna je izabrana kao standard (ili cilj – referentna oblast), a druga za uzorak. Ukupna razlika boje predstavlja razliku između dve boje u CIElab sistemu. Može se definisati kao euklidska razlika koordinata za dva položaja boja referentnog i poređivanog uzorka [89].

Međunarodna komisija za osvetljenje je 1995. uvela formulu za industrijske primene sa punim nazivom nove formule „CIE 1994 ($\Delta L^* \Delta C_{ab}^* \Delta H_{ab}^*$) model razlike boje“ za koji je zvanična skraćenica CIE94 i simbol razlike boje ΔE_{94}^* . Ova formula za izračunavanje razlike boje je u stvari modifikacija CMC(1:c) formule [93].

Postoje mnogo faktora koji utiču na vizuelnu ocenu, kao što je priroda uzorka kao i uslovi u kojima se vrši ocenjivanje. CIE je ustanovio dva tehnička komiteta TC1-29 (ocenjivanje razlike boje u industriji) i TC1-28 (parametri koji utiču na ocenjivanje razlike boje) koji su udruženo doneli set referentnih uslova pod kojima nova formula može sa uobičajenim vrednostima parametara biti korišćena. Referenti uslovi koji se koriste u ocenjivanju razlike boje u tekstilnoj industriji su [94]:

- homogenost boje uzoraka;
- razlika boje između njih $\Delta E_{ab}^* \leq 5$;
- uzorci postavljeni u pravcu linije kontakta;
- ugao posmatranja mora veći od 4° ;

- e) uzorci osvetljeni pri 1000 lux i posmatrani prema uniformnoj sivoj pozadini pri $L^* = 50$ standardnom osvetljenju D65.

CIE94 formula je:

$$\Delta E_{94}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H \cdot S_H}\right)^2} \quad (5)$$

$\Delta L^* = L^*_{uzorak} - L^*_{standard}$

+ ΔL^* označava da je uzorak svetliji od referentnog uzorka

- ΔL^* označava da je uzorak tamniji od referentnog uzorka

$\Delta a^* = a^*_{uzorak} - a^*_{standard}$

+ Δa^* označava da je uzorak crveniji od referentnog uzorka

- Δa^* označava da je uzorak zeleniji od referentnog uzorka

$\Delta b^* = b^*_{uzorak} - b^*_{standard}$

+ Δb^* označava da je uzorak žući od referentnog uzorka

- Δb^* označava da je uzorak plavlji od referentnog uzorka [95]

gde su:

ΔL^* – razlika u osvetljenosti,

ΔC_{ab}^* – hromatičnost (zasićenje),

ΔH_{ab}^* – nijanse upoređivanih uzoraka,

S_L, S_C, S_H – koeficijenti kompenzacije za osvetljenost, hromatičnost i ton boje,

$S_L = 1, S_C = 1 + 0,045 \cdot C_{ab}^*, S_H = 1 + 0,045 \cdot C_{ab}^*$.

2.2 Pregled novih dostignuća u oblasti tekstilnih materijala za sportsku odeću

U daljem tekstu dat je pregled nekih rešenja aktivne sportske odeće koja za cilj imaju poboljšanje performansi sportista a zasniva se na novim tehnologijama proizvodnje vlakana i tekstilnih materijala kao i bezšavne tehnologije izrade odevnih predmeta. Korišćeni su tekstilni materijali koji imaju specijalna svojstva kao što su kompresija i higroskopnost, što je postignuto upotrebom različitih vlakana koja se razlikuju po svojstvima i strukturi. Takođe, postignuto je poboljšanje performansi sportske odeće primenom novih tehnika spajanja delova odeće.

Utvrđeno je da upotreba tekstilnih materijala sa unapređenim svojstvima prenosa vlage mogu poboljšati efikasnost kardiovaskularnog sistema sportista [96]. Takođe, zabeležno je da

upotreba tekstilnog materijala za izradu bejzbol sportske odeće sa dobrim svojstvima kontrole vlage doprinosi povećanju brzine bacanja lopte [97].

Izrađena je pletenina koja na određenim mestima odevnog predmeta ima različitu gustinu i prepletaj što za posledicu ima manji aerodinamički otpor odeće za bicikliste [98], dok kod kupaćih kostima orijentacija vlakna u pređi je najbitniji faktor kod aerodinamičkog otpora [99].

LZR Racer kupaći kostim je nastao iz saradnje kopanije *Speedo* i NASA. Ovaj kupaći kostim, namenjen profesionalnim sportistima, je dizajniran sa ciljem smanjenja otpora vode tokom plivanja [100]. Pri njegovoj izradi korišćena je ultrazvučna tehnika spajanja šavova i na taj način je za 6 % smanjen otpor vode u odnosu na kupaće kostime šivene konvencionalnom tehnikom. Takođe, razvijen je model kupaćeg kostima *Hydro Form Compression System*, koji ima izuzetna svojstva kompresije što omogućava da se u potpunosti pripije uz telo. Kompresijski efekat je povećan na bitnim delovima tela što omogućava produženu fizičku aktivnost sa manjom potrošnjom energije i boljim učinkom do 5 % [101].

Kompresijska sportska odeća (engl. CAW - *Compresion Athletic Wear*) je odeća dizajnirana sa ciljem što boljeg pripijanja uz telo gde najbitniju ulogu ima elastičnost korišćenog tekstilnog materijala. Za izradu CAW se u najvećoj meri koriste PA pletenine [102, 103]. Vrhunski sportisti nose CAW sa ciljem poboljšanja rezultata kao i skraćivanja perioda oporavka ukoliko dođe do povreda. CAW ima primenu u sportovima visokih performansi: atletici, zimskim sportovima, biciklizmu itd. [104]. Pored sporta, tehnologija kompresije se koristi u polju medicine jer poboljšava izdržljivost, toplotnu regulaciju, povećava oksigenaciju mišića, itd. [105, 106].

Jedan od vodećih sportskih brendova *Adidas* razvio je brojne inovativne tekstilne materijale *Climalite*, *Climacool*, *Climachill* i dr., koji znatno poboljšavaju udobnost odeće.

Climalite je dvoslojni tekstilni materijal kod kojeg je poboljšan transport vlage sa tela u toku fizičkih aktivnosti. Na licu materijala se nalaze Co dok na naličju PES vlakna. Ovaj materijal je izrađen hidrofilnom obradom. Prilikom znojenja, PES vlakna odvođe vlagu ka spoljašnjoj hidrofilnoj strani materijala gde dolazi do isparavanja. Hidrofilna dorada dodatno pospešuje odvođenje znoja sa kože prema okolini, dok sloj pored kože hladi telo i onemogućava pregrevanje [107].

Climacool tehnologija koristi tekstilni materijal projektovan tako da omogućava ventilaciju, regulaciju temperature i ubrzano sušenje tokom sportskih aktivnosti. *Climacool* se odlikuje povećanom mikro-ventilacijom što odvodi znoj sa kože, pozicioniranjem mrežica

ispod pazuha i/ili na leđima. Ovaj materijal se koristi za izradu različitog asortimana sportske odeće i obuće.

Kod *Climachill* [108] tekstilnog materijala kompanije *Adidas*, učinak hlađenja je postignut korišćenjem specijalne pređe *SubZero* i loptica od aluminijuma. One su strateški postavljene na delove odevnog predmeta tako da hlade delove tela koji su najpodložniji zagrevanju tokom fizičkih aktivnosti. Pređa *SubZero* ima oblik spljoštenog valjka što pojačava efekat hlađenja. *Adidas* naglašava da je efekat hlađenja veći za 36 % u odnosu na *Climacool*.

Kompanija *Columbia* predstavila je tehnologije *Omni-Freeze* i *Omni-Freeze ZERO*, gde je efekat hlađenja postignut upotrebom PES tekstilnog materijala u čiji su unutrašnji deo postavljeni polimeri koji imaju veliku moć upijanja u obliku kruga prečnika 0,381 cm. Prilikom znojenja oni upijaju vlagu, nabubre i tako smanjuju temperaturu materijala [109]. Ovaj tekstilni materijal je obrađen zaštitom od ultraljubičastog zračenja jer je namenjen za izradu sportske odeće koja će se nositi u toplim vremenskim uslovima. Ovu odeću koja je dala dobre rezultate su testirali profesionalni sportisti na izuzetno visokoj temperaturi u *Grand Canyon* (SAD) [110].

Dri-FIT™ je tekstilni materijal izrađen od poliuretanskih mikrovlakana, koji ima funkciju održavanja kože suvom prilikom znojenja tokom sportskih aktivnosti i koristi se za izradu majica, kratkih pantalona, čarapa i dr. [111].

Regulacija temperature je od ključne važnosti za sportsku odeću. Kompanija *Under Armour* sprovela je istraživanja sa ciljem dobijanja tekstilnih materijala sa posebnim funkcijama. *Under Armour* ima više različitih tehnologija koje se fokusiraju na specifična svojstva sportske odeće kao što su kontrola temperature i vlage (odvođenje znoja) kako bi se povećala udobnost sportske odeće i učinak sportista. Efekat hlađenja postignut je na više načina: odvođenjem toplote od tela (*Coolsvitch*, *Iso-Chill*) korišćenjem materijala sa maksimalnom prozračnošću (*Heatgear®*, *Heatgear® Armour*, *Heatgear® Armourvent™*), reflektovanjem toplote (*Coldblack®*) ili upijanjem vlage (*MicroThread*). *Under Armour*, takođe ima odeću koja zadržava toplotu. Povećanje telesne toplote omogućeno je upotrebom odeće sa povećanom toplotnom izolacijom (*Amour® Fleece*, *Coldgear®*, *Coldgear® Infrared* i *PrimaLoft®*). *Coldgear® Reactive* tehnologija se promovise kao „vaš lični termostat“ i koristi izuzetno lak tekstilni materijal izrađen od mikrovlakana koji se hladi kada sportista trči i zagreva se kada usporava ili se zaustavlja kako bi održao prijatnu temperaturu tela [112].

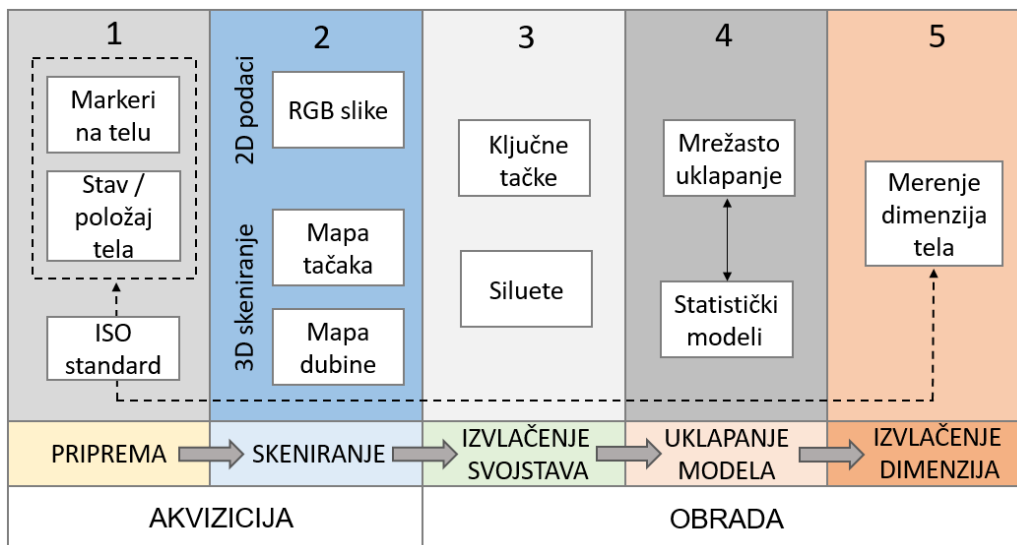
2.3 Softveri i metode za dizajn sportske odeće i skeniranje tela

Sportska odeća zahteva estetske karakteristike kao što su atraktivan i prijatan izgled, kao i funkcije koje poboljšavaju performanse sportista, pružaju dodatnu udobnost i promovisu zdravlje nosioca. Današnja sportska odeća je lakša, mekša, izdržljivija i brže se suši, što je postignuto velikim ulaganjima sportskih brendova i modnih kompanija koje ulažu mnogo novca u razvoj tekstilnih materijala i optimizaciju procesa proizvodnje i dizajna odeće.

Poslednjih godina programi za trodimenzionalni (3D) dizajn i simulaciju odevnih predmeta počeli su masovno da se koriste u tekstilnoj industriji. Digitalna izrada prototipa omogućuje konceptualni dizajn i virtuelno istraživanje kompletnog proizvoda koristeći računarsku tehnologiju pre fizičke izrade prototipa. Dizajneri obično koriste digitalnu izradu prototipa za validaciju, vizuelizaciju i optimizaciju tokom razvojnog procesa proizvoda. Korišćenjem digitalnog prototipa, mali broj fizičkih prototipa je potreban za validaciju dizajna i za testiranje šireg spektra performansi proizvoda sa visokom preciznošću. Dakle, štedi vreme i novac. Virtuelna simulacija odevnih predmeta dobija na značaju poslednjih nekoliko godina u različitim oblastima modne industrije. Korišćenjem specijalizovanih CAD (*computer-aided design*) softvera (npr. *OptiTex*, *Lectra*, *Gerber...*) moguće je digitalno simulirati ponašanje odevnog predmeta na ljudskom telu, bilo u statičnom stanju ili tokom pokreta. Pomoću ovih programa može se vršiti procenjivanje da li odeća dobro stoji (engl. *fit*), dizajna, krojnih delova, detalja o tekstilnim materijalima i karakteristika drapiranja. Takođe, dimenzije tela virtuelnog manekena mogu se menjati, tako da se mogu kreirati realističnije simulacije prema zahtevima potrošača. Pored toga, 3D virtuelne simulacije odeće mogu se koristiti prilikom predstavljanja proizvoda krajnjem korisniku umesto dvodimenzionalnih (2D) fotografija [18, 113, 114].

Korišćenjem 3D skenera moguće je vršiti izuzetno precizno merenje dimenzija ljudskog tela što je od velikog značaja kod izrade sportske odeće namenjene profesionalnim sportistima od koje se zahteva da savršeno stoji [113]. Da bi se obezbedila uporedivost i ponovljivost, merenja tela su standardizovana kroz definiciju položaja merenja i orijentacije tela [115]. Istraživanja sugerišu da stručnjaci za merenje dimenzija ljudskog tela i 3D skeneri postižu uporedivu tačnost, kao i da je ponovljivost bolja za 3D skenere [116]. Još jedna prednost korišćenja 3D skenera u odnosu na stručne merače je brzina merenja. Proces automatskog skeniranja ljudskog tela je često nekoliko sekundi i može ići do trideset sekundi za skeniranje visokog kvaliteta [117].

Proces merenja tela može se podeliti u pet faza: (1) priprema, (2) skeniranje, (3) izdvajanje svojstava, (4) uklapanje modela i (5) izvlačenje dimenzija (slika 5). U pripremnoj fazi (faza 1), markeri za prepoznavanje obeležja (određenih delova) tela se mogu postaviti na telo. Od osobe se traži da zauzme unapred definisanu pozu i miruje. Skeniranje tj. faza 2, proizvodi 3D mapu tačaka ili mapu dubine sa setom slika (ako se koriste RGB kamere). U fazi 3 ključne tačke i siluete se izdvajaju iz 3D skenova i slika. U fazi 4 vrši se procenjivanje optimalne 3D šablonske mreže ljudskog tela. Tehnika uklapanja mreže omogućava izradu statičkih modela tela. Statički modeli omogućavaju regresiju mreže šablona direktno iz slike i karakteristike slike. Konačno u fazi 5, telesne mere se izvlače iz obrađenih podataka (3D skenova, slika, ključnih tačaka i šablonskih mreža). Potrebno je naglasiti da su faze 2 i 5 obavezne, dok su faze 1, 3 i 4 opcione [115]. Proces merenja tela, metode i njihov raspored su prikazani na slici 5.



Slika 5. Proces merenja tela, sve metode merenja uključuju skeniranje i faze izdvajanje dimenzija tela, izrađeno po uzoru na Bartol et al. 2021. [115]

Postoje tri najčešće korišćene tehnologije skeniranja za prikupljanje podataka o ljudskom telu: pasivni stereo (engl. *passive stereo*), strukturisano svetlo (engl. *structured light*) i snimanje vremena leta (engl. *time-of-flight imaging*).

Pasivni stereo koristi slike (fotografije) iz više tačaka gledišta za rekonstrukciju 3D površine tela koristeći princip triangulacije. Ova tehnologija skeniranja nije uspešana u slučaju niske ili nepostojeće teksture. Strukturisano svetlo proširuje pristup pasivnog sterea projektovanjem poznatih svetlosnih obrazaca, što ublažava glavni nedostatak pasivnog sterea. U tehnologiji strukturisanog svetla, 3D površina tela se rekonstruiše iz deformacija

projektovanog svetlosnog uzorka. Što se tiče strukturisanog svetla, razlikuju se projektorske i laserske metode. U tehnologiji snimanja vremena leta, modulirano svetlo se projektuje na osobu i direktno se dobija 3D površina tela merenjem vremena putovanja modulirane svetlosti [115].

Zahtevi koji se moraju zadovoljiti tokom dizajniranja i inženjerskog projektovanja sportske odeće namenjene za sportove visokih performansi (posebno one povezane sa aerodinamičkim otporom i gubitkom energije tokom sportske aktivnosti) odnose se na svojstva (aerodinamička i hidrodinamička, mehanička i toplotna svojstva) i konstrukcijske karakteristike tekstilnog materijala.

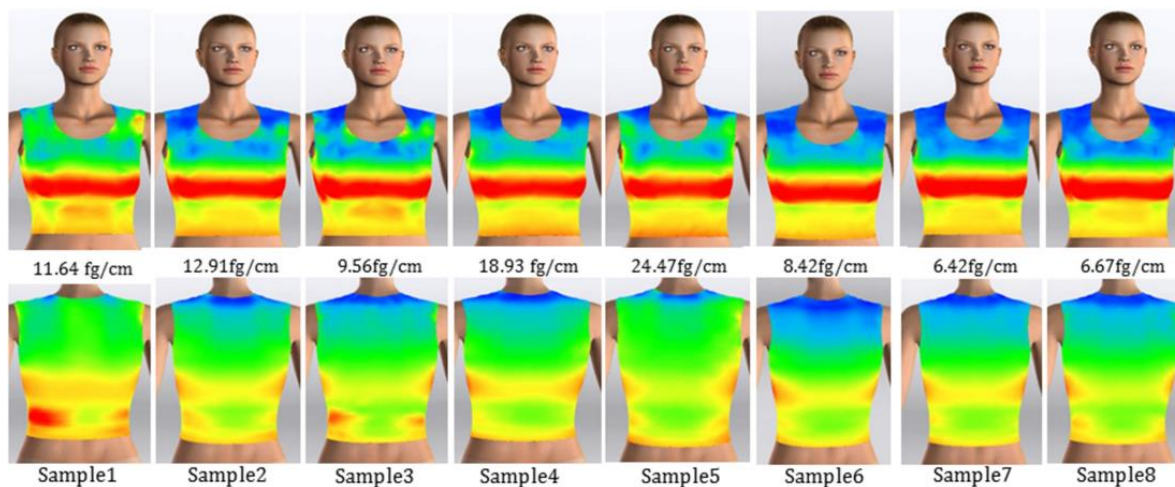
Toplotno stanje sportista je jedan od ključnih ergonomskih faktora prilikom dizajna sportske odeće. Korišćenjem tehnologije bezšavnog pletenja moguće je proizvesti sportsku odeću koja omogućava poboljšanje mikroklimе kao i povećanu udobnost. Ova tehnologija omogućava proizvodnju odeće koja na različitim delovima odevnog predmeta ima različita svojstva kao što su poboljšana svojstva propuštanja vazduha i vodene pare, elastičnost itd. [118 – 121].

Kada je u pitanju sportska odeća kod koje je neophodno usko prianjanje, primarni faktor koji se mora razmatrati prilikom dizajna je elastičnost tekstilnog materijala, a naročito elastični oporavak. Zbog uskog prianjanja odeće na neke zakrivljene delove tela, dolazi do nastajanja radijalnog pritiska. Jačina pritiska zavisi od modula elastičnosti korišćenog tekstilnog materijala, oblika tela kao i kontaktne površine tela i odevnog predmeta. Merenjem kompresijske sile na određenim mestima na telu, kao i na osnovu rezultata ispitivanja zateznih parametara tekstilnog materijala, može se ustanoviti uzajamni odnos između elastičnih svojstva tekstilnog materijala i realizovanog odevnog predmeta. Na taj način se može omogućiti da se taj odevni predmet prilagodi telu ili delu tela.

Jariyapunya et al. [122] istraživali su mehanička svojstva osam pletenina (različitih elastičnih svojstava), računarsko projektovanje i izrade 3D simulacija odeće za *fitness*. Rezultati mehaničkih svojstava pletenina određivani su pomoću softvera *OptiTex* i predstavljaju zatezna svojstva pletenina određenih na površini simuliranog modela na deset kritičnih tačaka na telu. Na osnovu ovih rezultata izrađena je *Tension map* (slika 6) tj. obojena karta simuliranog odevnog predmeta na telu virtualnog manekena gde su prikazane vrednosti istezanja ($\text{u gf}\cdot\text{cm}^{-1}$)¹, zatezanja kao i rastojanja između odeće i virtualnog manekena. Na osnovu 3D simulacije izrađeni su prototipovi *fitness* odeće od osam pletenina i vršeno je merenje pritiska koje odevni

¹ gf (engl. *gramme force*) odgovara sili mase od 1 grama u gravitacionom polju Zemlje. Kako je $g=9,809 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ i $F=m\cdot a$, to se relacija između N (*Newton*) i kgf može prikazati kao: $1 \text{ N}=1\cdot9,807^{-1}=0,9807 \text{ cN} \approx 1 \text{ cN}$.

predmeti vrše na telu testnih osoba pomoću *PicoPress* testera. Konačno, izvršeno je upoređivanje rezultata dobijenih pomoću ove dve metode.



Slika 6. Tension mape *fitness* majica izrađena od osam različitih pletenina,

preuzeto iz Jariyapunya et al. 2017. [122]

Mahnčić et al. [119] istraživali su dinamičko ponašanje i analizu prijanjanja ronilačkih odela. Modeli ronilačkih odela se razvijaju metodom 3D ravnjanja (engl. *3D flattening method*), što omogućava izradu modela odeće direktno na 3D računarskom modelu tela i odvajanje 3D površina i transformaciju u 2D krojne delove. Izvršeno je 3D skeniranje tela ispitanika muškog i ženskog pola u cilju analize telesnih dimenzija u statičkim i dinamičkim položajima i korišćeni su obrađeni modeli tela za izradu i simulaciju prototipova ronilačkih odela. Na dobijene krojne delove primenjeni su svi neophodni parametri za 3D simulaciju, kao i vrednosti parametara mehaničkih svojstava neopren materijala korišćenog za izradu ronilačkih odela. Razvijeni računarski prototipovi korišćeni su za analizu istezanja na područjima relevantnim za promene dimenzija tela prema dinamičkoj antropometriji. Analiziran je i pritisak koji ronilačko odeo vrši na telo u statičkim i dinamičkim uslovima. Za izradu stvarnog prototipa korišćeni su uzorci odevnih predmeta za koje je izvršena računarska verifikacija prototipa. Izrađeni prototipovi su takođe korišćeni za analizu elastičnih svojstava korišćenih materijala i pritiska koje odevni predmeti vrše na telo u statičkim i dinamičkim uslovima. Na osnovu dobijenih rezultata izvršena je analiza korelacije između promena tela u dinamičkim položajima utvrđenih na 3D i realizovanim prototipovima. Dobijeni rezultati sugerišu da je postignuta odlična podudarnost između simuliranih i realizovanih prototipova. Metoda 3D ravnjanja se pokazala pogodnom za dizajniranje i verifikaciju sportske odeće od koje se očekuje usko prijanjanje.

2.4 Udobnost pri nošenju aktivne sportske odeće

Prilikom kupovine odeće presudni faktor u ocenjivanju kvaliteta jeste udobnost [123]. Udobnost koju osoba oseća tokom nošenja odeće je subjektivna reakcija koja je rezultat delovanja više različitih faktora. Dobra poroznost omogućava difuziju vodene pare od tela nosioca kroz pore u tekstilnom materijalu ka okolini. Toplotna izolacija odeće u hladnim klimatskim uslovima osigurava optimalnu toplotnu regulaciju ljudskog tela, što se postiže određenim povoljnim svojstvima tekstilnog materijala.

Da bi se osoba osećala udobno u odeći koju nosi mora se postići balans u sistemu „osoba-klima-odeća“.

Sportska odeća mora da poseduje sledeće funkcije [124]:

- fiziološku funkciju, koja obezbeđuje da odeća pruža toplotnu ravnotežu nosioca;
- kožno-senzornu udobnost;
- ergonomsku funkciju: odeća mora pružati ergonomsku udobnost i
- estetsku funkciju: odeća mora ispuniti modne zahteve kao što su boja, kroj i dizajn.

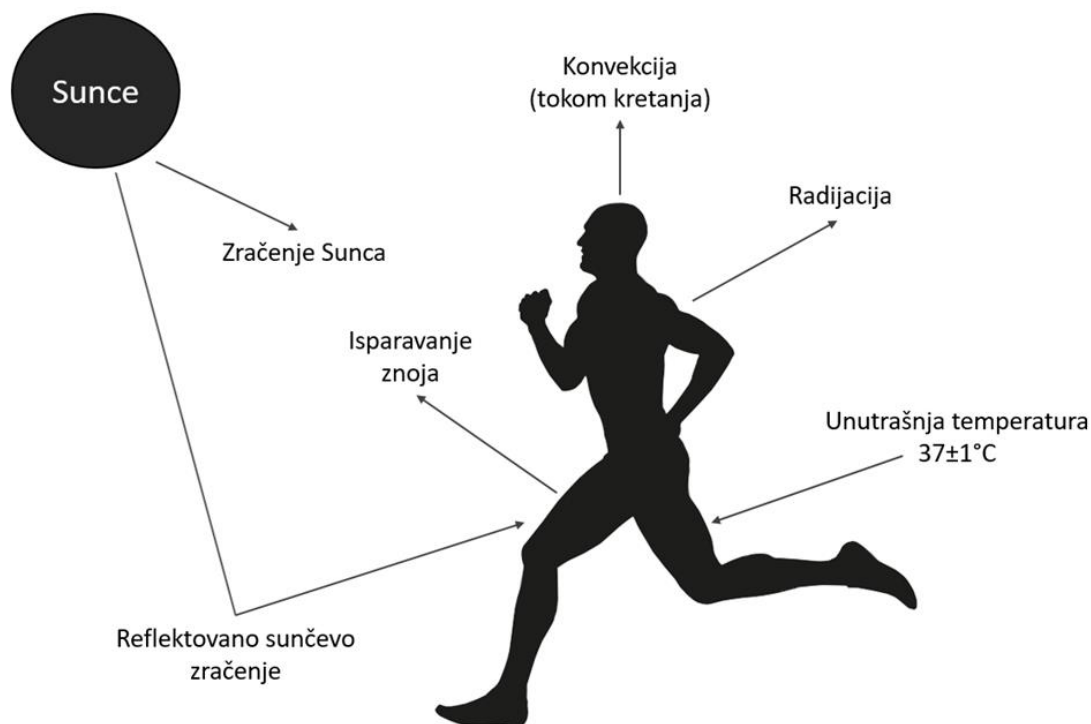
Literatura ukazuje da postoje četiri glavne metode za ocenjivanje udobnosti pri nošenju odeće: subjektivna procena, objektivna merenja, kombinacija subjektivnih i objektivnih metoda i računarsko modelovanje interakcije čovek-tekstil. U objektivnim metodama, ponovljivost rezultata je odlična i dobijaju se kvantifikovani rezultati. Ali, u nekim slučajevima se takvi rezultati sasvim razlikuju od stvarne percepcije čovekove udobnosti. Studije ukazuju da je subjektivna analiza udobnosti manje pouzdana od objektivne, jer se ljudi međusobo razlikuju. Stoga se zaključuje da je kombinacija objektivnih i subjektivnih metoda valjan pristup ocenjivanja udobnosti tekstilnih materijala i odevnih predmeta [125].

2.4.1 Toplotno-fiziološka udobnost pri nošenju aktivne sportske odeće

Iz ugla toplotno-fiziološke udobnosti, odeća se može okarakterisati kao tzv. „kvazi-fiziološki“ sistem, koji razmenjuje toplotu tela i okoline, a pritom omogućava povoljnu mikroklimu [124]. Odeća, koja se odlikuje povoljnim toplotno-fiziološkim svojstvima, omogućuje toplotno-fiziološki balans pri različitim nivoima fizičke aktivnosti [59].

Postoje četiri modela prenosa toplote kako bi se održala toplotno-fiziološka regulacija ljudskog tela: kondukcija, konvekcija, radijacija (zračenje) i isparavanje. Tokom nošenja sportske odeće i povećane fizičke aktivnosti čak 80 % energije se konvertuje u toplotu u toplim

atmosferskim uslovima (kada je temperatura vazduha veća od temperature tela). U ovim uslovima, konvekcija povećava toplotno opterećenje (slika 7), dok isparavanje predstavlja jedini model gubitka toplote. Potrebna količina isparavanja, kako bi se održala potrebna unutrašnja temperatura tela ($37 \pm 1^\circ\text{C}$), određuje se zbirom metaboličke proizvodnje toplote kao i razmene toplote putem radijacije i konvekcije [20].



Slika 7. Metode prenosa toplote tokom sportskih aktivnosti, izrađeno po uzoru na Manshahia i Das 2014. [20]

2.4.1.1 Metode vrednovanja toplotno-fiziološke udobnosti

Metode ispitivanja svojstava bitnih za karakterizaciju toplotno-fiziološke udobnosti prvenstveno se odnose na merenje prenosa toplote i vodene pare u statičkom i dinamičkom stanju. Metode ispitivanja mogu se podeliti u tri grupe:

- metode merenja toplotnih svojstava tekstilnih materijala (vruća ploča, engl. *hot plate*);
- metode merenja svojstava odevnih predmeta (toplotna lutka) [126] i
- metode merenja toplotne udobnosti odevnih predmeta pomoću testnih osoba u klimatski kontrolisanim prostorijama [123].

Najbitniji fiziološki parametri tokom vrednovanja toplotnog opterećenja ljudi prilikom fizičkih aktivnosti u različitim klimatskim uslovima su: temperatura kože, brzina pulsa, količina izlučenog znoja i subjektivna procena toplotne udobnosti. Telesna temperatura je važna za određivanje nivoa toplotne udobnosti, stresa prouzrokovanim visokim ili niskim temperaturama prostora (ambijenta) [59]. Prosečna temperatura kože se koristi pri određivanju udobnosti odeće u hladnim klimatskim uslovima dok se fiziološka veličina - količina izlučenog znoja na koži, koristi za određivanje udobnosti odeće u toplim klimatskim uslovima [124].

Pri povećanom izlučivanju znoja (što je fiziološki odgovor tela na fizičku aktivnost i povećanu temperaturu okoline), kada nije moguće isparavanje vlage sa površine tela, dolazi do raspoređivanja znoja tj. vlage po telu sportiste (najčešće na leđima i grudima) [20]. U ekstremnim klimatskim uslovima i napornoj fizičkoj aktivnosti izluči se čak 2,5 l znoja [127]. Sposobnost prenosa vlage kroz tekstilni materijal namenjen za izradu sportske odeće ima značajnu funkciju pri određivanju nivoa udobnosti [128]. Znoj se kroz tekstilni materijal prenosi kroz dva povezana procesa: kvašenjem i apsorpcijom [129]. Prilikom kontakta vlage sa tekstilnim materijalom dolazi do različitog nivoa kvašenja. Ovaj proces se odvija u toku kontakta vazduha i vlage sa tekstilnom površinom. Ispitivanja procesa kvašenja zasnivaju se na merenju kontaktnih uglova na granicama površina u cilju utvrđivanja stepena kvašenja u toku interakcije tečnosti i tekstilnog materijala [130]. Glavni faktori koji utiču na mogućnost kvašenja tekstilnog materijala su struktura i svojstva vlakana kao i površinska svojstva tekstilnog materijala [131, 132]. Tečnost se zatim prenosi kroz tekstilni materijal kapilarnim dejstvom ili apsorpcijom. Apsorpcija tekstilnog materijala zavisi od sirovinskog sastava vlakana, konstrukcijskih parametara pređe, strukture tekstilnog materijala, završne obrade kao i vlažnosti i temperature prostora [129, 133].

Toplotne lutke su anatomski dizajnirane prema obliku ljudskog tela i koriste se za naučno testiranje toplotnog okruženja bez rizika ili grešaka svojstvenih testiranju sa ljudima. Poslednjih godina, većina tekstilnih i odevnih laboratorija i industrija analizira toplotni interfejs ljudskog tela i njegovog okruženja pomoću toplotnih/znojnih lutki, što predstavlja koristan dodatak direktnim eksperimentima sa ljudskim subjektima. Prve toplotne lutke je 1940-ih razvila američka vojska i sastojale su se od jedne zone za uzorkovanje celog tela. Moderne lutke mogu imati preko trideset individualno kontrolisanih zona. Svaka zona (određeni deo tela) sadrži grejni element i temperaturne senzore unutar „kože“ lutke. Ovo omogućava kontrolnom softveru da zagreje lutku na normalnu temperaturu ljudskog tela, dok beleži količinu energije koja je potrebna za to u svakoj zoni i temperaturu te zone [126, 134].

Toplotne lutke predstavljaju pouzdani merni alat koji omogućava:

- relevantnu simulaciju razmene toplote ljudskog tela: celo telo i regionalno,
- merenje trodimenzionalne razmene toplote,
- integraciju gubitaka suve toplote na realan način,
- objektivnu metodu za merenje segmentne toplote fluksa pri testiranju različite lične zaštite opreme: vojna borbena odeća, zaštitna odeća za vatrogasce, ronilačka odela itd.,
- određivanje vrednosti toplotnog otpora odeće (R_{ct}), otpornosti odeće protoku vodene pare (R_{et}), ukupne i regionalne za odeću i gore navedena zaštitna odela.
- brza, tačna i ponovljiva merenja gde testiranje na ljudima je previše rizično za njihove živote,
- isplativ instrument za uporedna merenja i razvoj industrijskih proizvoda [135].

Subjektivne metode ispitivanja udobnosti odeće su od velikog značaja u procesu ocenjivanja toplotno-fiziološke udobnosti. Ove metode ispitivanja, za razliku od objektivnih (ispitivanje svojstava tekstilnih materijala u vezi sa toplotno-fiziološkom udobnošću), mogu u određenim slučajevima dati realnije indikacije udobnosti, koje su u skladu sa percepcijom potencijalnih kupaca odeće. Pored toga, poznavanje toplotno-fiziološke udobnosti od strane procenjivača (testiranih subjekata) je od suštinskog značaja za razvoj i marketing testiranog proizvoda. Testovi se izvode u kontrolisanim laboratorijskim uslovima (gde se održava konstantna temperatura i relativna vlažnost) i gde ispitanici procenjuju materijale i udobnost odeće. Tokom i nakon testiranja, ispitanici popunjavaju upitnike za procenu udobnosti i daju numeričke ocene na pitanja o nivou udobnosti. Osnovne skale udobnosti su: Bedfordova skala, ASHRAE skala i MTV (*Mean Thermal Vote*) skala. Bedfordova skala je uvedena 1936. godine na osnovu istraživanja ocene udobnosti ljudi koji obavljaju lakše poslove u industriji. Bedford je kategorisao odgovore na skali od 1 do 7, pri čemu je 1 „prevruće“ a 7 „previše hladno“. Kasnije je zaključio da je odeću koja je okarakterisana kao „udobna“ praktičnije označiti nulom, a osećaje vezane za povećanje toplote pozitivnim, dok se one povezane sa povećanjem hladnoće označiti negativnim vrednostima. Zatim je nultu zonu definisao kao zonu u kojoj se više od 70 % ispitanika oseća prijatno, a najmanje 86 % ispitanika istu zonu ocenjuje između „udobno toplo“ i „udobno hladno“.

ASHRAE skala je nastala 1971. godine na osnovu studije u kojoj je nivo udobnosti bio u korelaciji sa parametrima temperature, vlažnosti i dužine izlaganja određenim parametrima. Napravljena je skala u skladu sa Bedfordovim razmatranjima koja sadrži sedam nivoa u rasponu ocena od -3 do +3, a simetrična je oko nultog nivoa. Nalazi iz studije pomogli su u stvaranju

standarda ASHRAE 55, 1992. godine. Prema ovom standardu definisana je zona komfora, to je zona u kojoj 80 % ispitanika smatra prihvatljivim odmor ili obavljanje lakših aktivnosti. U okviru toga definisane su standardne zone udobnosti koje odgovaraju odeći sa vrednostima toplotne izolacije između 0,5 clo² (letnja odeća) i 0,9 clo (zimski odeća).

MTV skala je formirana na osnovu poređenja procesa prenosa toplote koji je istraživan u 30 različitih klimatskih uslova i subjektivnih procena za 20 ocena za svaki od klimatskih uslova. Ocene na skali se kreću od -3 (prehladno) do +3 (prevruće). Na ovoj skali, rezultati u rasponu od -1 do +1 smatraju se zadovoljavajućim za procenu udobnosti [134].

2.4.2 Ergonomska udobnost pri nošenju aktivne sportske odeće

Ergonomska udobnost je od izuzetne važnosti za sportsku odeću tokom različitih fizičkih aktivnosti. Najvažniji zahtevi ergonomske udobnosti koju tekstilni materijal treba da poseduju su omogućavanje slobode kretanja, smanjenje opterećenja/naprezanja i prilagođavanje obliku tela [136]. Ovo je pre svega okarakterisano dizajnom i konstrukcijom odeće i može biti pod uticajem elastičnosti tekstilnog materijala [137]. Ergonomska razmatranja nalažu da mehaničke karakteristike odeće odgovaraju pokretu, stepenu slobode, opsegu kretanja (ROM), sile i momenta sile ljudskih zglobova. Oblik i dobro prijanjanje odeće ljudskom telu, kao i pritisak i trenje koje odeća vrši na telu, neki su od faktora koji utiču na ovaj aspekt [138].

Ergonomska udobnost nošenja je od velikog značaja u aktivnim sportovima kao što su trčanje gde dolazi do ekstenzije i kontrakcije kože usled visokog stepena pokreta tela, koji menja odgovarajuće telesne mere [139]. Sportska odeća ne bi smela sputavati ove pokrete. U suprotnom će nastati nelagodnost i neželjeni efekat pritiska odeće [140].

Pružanje odgovarajuće udobnosti odeće za telo u pokretu je kompleksan zadatak. Interakcija između telesnih veličina i oblika, fiziološke varijacije, svojstava materijala, dizajnerskog rešenja, životne sredine i fizičke aktivnosti određuju nivo ergonomske udobnosti sportske odeće.

Ergonomski zahtevi i ergonomski aspekti prema stepenu važnosti za korisnike sportske odeće su sledeći:

- 1) pravilni kroj ili način na koji odeća stoji na telu;

² clo (1 clo = 0,155 m²·K·W⁻¹) je jedinica toplotne izolacije odeće, koja je udobna za osobu koja se odmara na 21 °C, gde je relativna vlažnost manja od 50 % i kretanje vazduha je 6 m·min⁻¹; ovo je ekvivalentno osobi koja nosi trodelno odelo i donji veš.

- 2) smanjenje osećaja vrućine i poboljšanje ventilacije što se postiže dizajnom i upotrebom adekvatnog tekstilnog materijala;
- 3) lakoća kretanja [141].

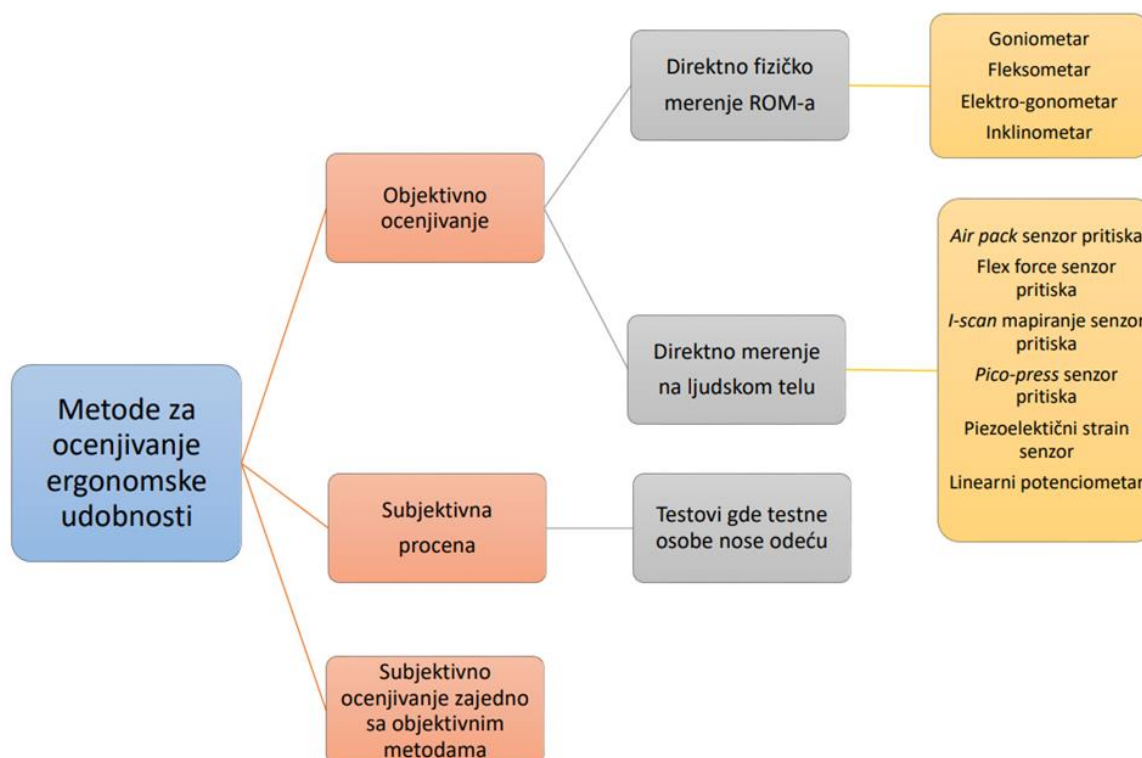
Poboljšanje ergonomske udobnosti tokom nošenja sportske odeće postiže se povećanom elastičnošću i smanjenjem površinske mase, debljine i krutosti tekstilnog materijala. Ovi faktori igraju značajnu ulogu u uticaju tekstilnog materijala na stepen slobode kretanja tela. U sportskim aktivnostima postoji dinamika interakcije između odeće i tela: toplotno-fiziološka, taktilna i psihološka interakcija. Interakcija zavisi od različitih svojstava tekstilnih materijala i odeće, uslova okoline, vrste i nivoa aktivnosti sportiste koji nosi odeću [142, 143]. Današnja sportska odeća sa povećanom elastičnošću igra važnu ulogu u optimizaciji performansi sportista omogućavanjem slobode kretanja, poboljšavajući udobnost, umanjujući rizik od povreda ili zamora mišića i smanjenja trenja ili otpora [144].

Stres, trening, umor, preopterećenje i uslovi okoline utiču na ljudske performanse i stepen slobode kretanja. Neravnomerna raspodela težine odeće i velika opterećenja mogu stvoriti nelagodnost i nepravilno opterećenje mišićno-skeletnog sistema, smanjenje mogućnosti kretanja [145]. Zato je cilj proizvodnja sportske odeće od lakih tekstilnih materijala kao i optimizacija dizajna, što bi doprinelo većoj funkcionalnosti odeće i poboljšanju ergonomije. U isto vreme, lakši tekstilni materijal bi omogućio dodatne prednosti u vidu smanjenja toplotnog opterećenja. Smanjivanje debljine, površinske mase i krutosti treba da pozitivno utiče na sveukupnu udobnost pri nošenju sportske odeće. Takođe, i mehanička svojstva tekstilnog materijala mogu biti važna odrednica ergonomske udobnosti sportske odeće [146].

2.4.2.1 Metode vrednovanja ergonomske udobnosti sportske odeće

Standardna metoda za procenu ergonomske udobnosti, posebno za sportsku odeću, ne postoji. Razvoj standarda ispitivanja za svaku vrstu odeće u smislu udobnosti, prijanjanja i funkcionalnosti u skladu sa aktivnostima i pokretima koji se očekuje za krajnju upotrebu, mogao bi pomoći proizvođačima u proceni i poboljšanju udobnosti odeće. Procena udobnosti odeće je složen zadatak gde je uključeno nekoliko aspekata koji su veoma subjektivni i povezani sa određenim aktivnostima. Procena ergonomske udobnosti sportske odeće nije bila široko primenjivana delimično i zbog potrebnih protokola koji uključuju testne osobe i posebno opremljene prostorije, što je jako skupo [125].

Izbor odgovarajućih parametara, testnog protokola i prostorija (klima komora) su od presudne važnosti za procenu udobnosti tekstilnih materijala i odeće [125]. Na slici 8 prikazane su metode koje se koriste za ocenjivanje ergonomske udobnosti sportske odeće.



Slika 8. Metode za ocenjivanje ergonomske udobnosti sportske odeće

2.4.2.2 Vrednovanje slobode kretanja

Performanse sportiste mogu sasvim sigurno biti ugrožene lošom odećom, tj. faktorima kao što su opseg kretanja, domet i pokretanje ruku. Optimizacija *fit* (prianjanja) odeće (smanjenje težine odeće i fizičkog stresa tokom nošenja sportske odeće) postiže se kroz inovativni dizajn odeće. Odeća mora odgovarati sportisti bez ograničenja punog opsega kretanja (ROM - *Range of motion*), treba da bude udobna i da ne iritira kožu. Ergonomska razmatranja nalažu da mehaničke karakteristike odeće odgovaraju pokretu, stepenu slobode kretanja, kao i sili i momentu ljudskih zglobova [125].

Ispitivanje prototipova odeće na lutkama i ljudima tj. *fit* modelima je uobičajena praksa u odevnoj industriji sa ciljem ocenjivanja kvaliteta i otklanjanja grešaka na krojevima [147, 148]. *Fit* modeli sede, hodaju a testni protokol je najčešće prilagođen sportu za koji je odeća dizajnirana. Studije kontrolisanog prilagođavanja i testovi habanja, kod odeće u stvarnim

uslovima, su uobičajena praksa u dizajnu i ispitivanju funkcionalne odeće. Takođe, u ovim studijama često se koriste i pokretne lutke.

Razvoj robotskih uređaja za testiranje, koji imitiraju kretanje zgloba i opseg kretanja čoveka, moglo bi dati pouzdani laboratorijski test udobnosti odeće za određivanje opsega kretanja [149].

Niz eksperimentalnih modela se koristi za objektivnu procenu ograničenja pokretljivosti. U početku, testirano je niz jednostavnih pokreta koji bi mogli biti izvedeni uz minimalnu obuku i opremu [150]. U novijim studijama mereno je opterećenje korišćenjem goniometra, *Leighton* fleksometara, potenciometara sa mikroračunarskim sistemom [151] i inklinometra [152].

2.4.3 Kožno-senzorna udobnost kod nošenja sportske odeće

U cilju pronalazjenja metoda za ocenjivanje kožno-senzorne udobnost pri nošenju odeće često se koristi koncept opipa (engl. *fabric hand*) tekstilnog materijala. Razumevanje i vrednovanje afiniteta potrošača su otvorile važno polje interesovanja u nedavnim istraživanjima u tekstilnoj industriji poznatim kao „opip“, „taktalna udobnost“ ili u širem smislu „kožno-senzorna udobnost pri nošenju odeće“ što se odnosi na ukupne osećaje koje se doživljavaju kada se tekstilni materijal dodiruje ili manipuliše prstima [153]. Pošto je opip zasnovan na subjektivnom ukusu ljudi, očigledno može značiti različite stvari različitim ljudima. Afiniteti ka određenim vrstama tekstilnih materijala su različiti, a u ekstremnim slučajevima čak i suprotni [154]. Opip utiče na ukus potrošača i njihovu percepciju proizvoda i shodno tome na mogućnost kupovine. Ovo svojstvo tekstilnih materijala je izuzetno važno za proizvođače i dizajnere tokom razvoja i odabira tekstilnih materijala namenjenih za izradu odeće [155].

U literaturi, opip se definiše na nekoliko načina:

- procena kupca koja zavisi od vremena, mesta, godišnjih doba, mode i ličnog ukusa [156],
- kvalitet tekstilnog materijala ili pređe se ocenjuje reakcijom dobijenom čulom dodira, kada se oseća tekstilni materijal između prstiju i palca [156],
- ukupan broj osećaja tekstilnog materijala izraženih dodirrom, savijanjem prstiju, zaglađivanjem itd. [156],
- percepcija udobnosti odeće koja je senzorna reakcija nervnih završetaka na spoljne stimulanse uključujući toplotu, pritisak, bol i td. koji proizvode neurofiziološke impulse koji se šalju mozgu [157].

Nema sumnje da je opip tekstilnih materijala jedan od važnih testova i da su ga široko koristili mnogi stručnjaci u tekstilnim fabrikama kao i potrošači. Stručnjaci u fabrikama, posebno u odeljenjima za završnu doradu, svakodnevno sprovode ovu procenu kako bi kontrolisali svojstva proizvoda. S druge strane, svaki potrošač svojom „rukom-opipom“ ispituje svojstva tekstilnog materijala da bi odabrao dobar materijal za odeću prema svom osećaju i iskustvu prilikom kupovine [158]. Takođe su sprovedena ispitivanja u kojem su učestvovalе testne osobe koje su subjektivnim procenama ocenjivale kožno-senzornu udobnost majica [159].

Opip se ispituje uglavnom čulom dodira, a senzorni signali koji se šalju mozgu se formulišu i grupišu kao subjektivna percepcija osećaja na sledeći način:

- taktilni osećaji: bodljikavo, golicanje, hrapavo, glatko, grebanje, svrab, lepljivo...,
- osećaj vlage: lepljivo, vlažano, mokro, neupijajuće...,
- osećaj pritiska (prianjanje uz telo): labavo, lagano, teško, mekano, kruto...,
- toplotni osećaji: hladno, mlako, toplo, vruće... [157].

Opip je složen parametar i povezan je sa nekoliko svojstava tekstilnih materijala kao što su kompresibilnost, elastičnost, jačina, gustina, hrapavost, površinska hrapavost i toplotne karakteristike. Osobine tekstilnih materijala koje najviše utiču na opip tekstilnog materijala su generalno navedene kao glatkoća tekstilnih materijala (28 %), mekoća (22 %), krutost (8 %), hrapavost (7 %), debljina (5 %) i površinska masa (5 %). Takva svojstva tekstilnih materijala kao što su toplota, tvrdoća, elastičnost, sklonost gužvanju, drapiranje i druga svojstva manje utiču na opip i ulaze u preostali deo (25 %) [156].

2.4.3.1 Faktori koji utiču na kožno-senzornu udobnost

U tekstilnim proizvodima osnovni elementi koji mogu suštinski uticati na opip imaju međusobno povezan odnos i utiču na senzornu udobnost krajnjeg proizvoda. Naime, karakteristike opipa pređe zavise od svojstava vlakana što dalje sugerišе da svojstva pređe utiču na karakteristike opipa tekstilnog materijala.

Elementi koji imaju ključni uticaj na opip tekstilnog materijala su:

- Karakteristike vlakana: vrsta materijala, morfološka struktura, finoća, dužina, elastičnost, kompresibilnost itd.
- Karakteristike pređe: tip pređe (vrsta vlakna od koje je izrađena pređa), podužna masa, upredenost itd.

- Karakteristike tekstilnog materijala: način proizvodnje (tkani, pleteni i netkani), površinska masa, debljina, površinska hrapavost, struktura itd. [160].

2.5 Nosiva tehnologija - pametna odeća i inteligentna odeća

U ovom poglavlju biće objašnjen pojam i funkcija pametnog tekstila, pametne i inteligentne odeće kao i nosive tehnologije, dok će najviše pažnje biti posvećeno rešenjima koja se nalaze na tržištu kao i istraživanjima iz oblasti pametne odeće namenjene sportistima za praćenje opterećenja i poboljšanja performansi tokom fizičkih aktivnosti.

2.5.1 Definisanje, podela i razvoj pametne odeće

Oblast pametne odeće je u fokusu javnosti skoro četrdeset godina, od kada je počeo razvoj i proizvodnja pametnog tekstila i odeće.

Odeća sa ugrađenim elektronskim elementima se klasifikuje u tri osnovne grupe [161]:

- 1) E-odeća (engl. *e-clothing*) – u ovu grupu odeće su ugrađeni elektronski uređaji kao što su: tastature, senzori, mikrofoni, slušalice itd. Ovakva odeća se ranije nazivala pasivna pametna odeća;
- 2) Pametna odeća (eng. *smart clothing*) – u ovu grupu spada odeća u koju su ugrađeni mikroprocesori, ekrani i omogućena je dvosmerna vizuelna i zvukovna komunikacija (prenos podataka sa odeće u okolinu i obrnuto). Ovakva odeća se takođe naziva i aktivna pametna odeća;
- 3) Inteligentna odeća (engl. *intelligent clothing*) – u ovu grupu spadaju odevni predmeti koji u samom materijalu imaju ugrađene minijaturne električne komponente, senzore, komunikacijske uređaje kao i softver koji stalno analizira stanje okoline i samog tela čoveka koji tu odeću nosi. Ovakva odeća prilagođava parametre odeće potrebama nosioca tj. ima aktivni karakter pa se zato naziva inteligentnom odećom. Nekad se nazivala elektronskom pametnom odećom.

2.5.2 Pametni tekstil

Termin pametan tekstil je definisan još 1989. godine u Japanu. Tada je javnosti predstavljen tekstilni materijal u koji je ugrađena svilena nit što je omogućilo pamćenje oblika otiska pri interakciji ovog tekstilnog materijala i nekog predmeta [162].

Pametni tekstil se definiše kao tekstilni materijal koji može da oseti (detektuje) i reaguje pomoću aktivnog kontrolnog mehanizma na uslove okoline koji se nazivaju stimulansi [163]. Stimulansi kao i odgovori mogu biti električni, toplotni, hemijski, magnetni ili mogu imati drugo poreklo. Napredni materijali kao što su tekstilni materijali sa dobrom propustljivošću vlage i vazduha (engl. *breathable textile materials*), vatro-otporni ili ultra-jaki tekstilni materijali se prema ovoj definiciji ne mogu svrstati u pametne materijale [164].

Pametan tekstil se stvara uvođenjem provodljivih materijala u tekstilne strukture. Najčešće korišćen provodljivi materijal za ovu namenu je srebro. Osim srebra koriste se zlato, bakar i nerđajući čelik. Provodljivi materijali se kombinuju sa neprovodljivim tj. sa polimerima. Tehnike proizvodnje uključuju tkanje, pletenje, šivenje i vez [165].

U tabeli 6 dat je pregled prednosti i nedostataka pojedinih tehnika proizvodnje pametnog tekstila.

Tabela 6. Pregled prednosti i nedostataka pojedinih tehnika proizvodnje pametnog tekstila [166]

Tehnika proizvodnje	Prednosti	Nedostaci
Pletenje	Kožno-senzorna udobnost; Mala površinska masa; Velika elastičnost	Komplikovan proces proizvodnje; Ograničenja u odabiru prepletaja
Tkanje	Dugotrajnost; Smanjena mogućnost skupljanja tkanine u toku pranja; Smanjena mogućnost ispiranja boje	
Vez	Mogućnost postavljanja baznog materijala u svim pravcima (uvećanje kontakta koža/elektroda)	
Naslojavanje i laminiranje	Dobra provodljivost; Održavanje originalnih svojstava vlakana	Visoka cena proizvodnje; Teškoće pri obimnoj proizvodnji
Štampanje	Smanjena cena proizvodnje; Mogućnost masovne proizvodnje	Trajanje odštampanog motiva; Optimalana svojstva se mogu postići samo na glatkim i ravnim podlogama

2.5.3 Nosiva tehnologija i nosivi računar

Pored termina nosivi računar (engl. *wearable computer*), koriste se i nazivi nosiva tehnologija (engl. *wearable technology*), nosive naprave (engl. *wearable devices*), podesan za nošenje (engl. *wearables*) i odnose se na elektronsku tehnologiju ili računare koji su inkorporirani u odeću ili modne detalje koji se mogu udobno nositi na telu korisnika.

Nosivi računar je računarski uređaj sastavljen na način koji omogućava njegovo nošenje na telu korisnika. Koncept je pokrenut iz računara koji je dostupan gde god se korisnik nalazio [167]. Nosivi računari olakšavaju interakciju između čoveka i računara. Minijaturan je, ugrađen u lični prostor korisnika i uvek je pristupačan.

Razlika između nosivih uređaja (kao što su pametni sat ili naočare) i nosivih računara je ta da prve nije moguće programirati, dok su nosivi računari prilagodljivi i slični kućnim računarima.

U poslednjoj dekadi, nosiva tehnologija (engl. *wearable*) je izazvala mnogo pažnje u akademskoj zajednici i industriji, i postala veoma popularna. Najnovija definicija nosive elektronike je: „Uređaji koji se mogu nositi i/ili spojiti sa ljudskom kožom kako bi kontinuirano i blisko pratili aktivnosti individue, bez ometanja i prekidanja kretanja korisnika nazivaju se nosivom tehnologijom“ [168].

Nosiva tehnologija je definisana kao elektronski uređaj koji je lociran u blizini tela ili na samom telu kako bi obezbedio inteligentni servis koji može biti deo većeg pametnog sistema pomoću korišćenja komunikacionog interfejsa.

Primena i korišćenje nosive tehnologije ima široki uticaj u područjima medicinske nege, fitnesa, obrazovanja, transporta, finansija, video igara i muzike. Najveći cilj nosive tehnologije, u svakom od pomenutih polja je efikasno uključivanje funkcionalne i nosive elektronike i računara u svakodnevni život pojedinaca. Pre nego što su postali komercijalno dostupni, nosivi uređaji su se koristili u području vojne tehnologije [169].

2.5.4 Pametna odeća

Kao što je već pomenuto, pametna odeća je definisana kao novi tip odeće koji može obezbediti introaktivni odgovor na stimulanse, procesuirati informacije i aktivirati odgovore.

Pametna odeća se može klasifikovati u tri podgrupe:

- odeća od pasivnog pametnog tekstila koji samo oseća okolinu, tu spadaju senzori;

- odeća od aktivnog pametnog tekstila koji oseća stimulanse iz okoline i reaguje na njih, pored funkcije senzora oni takođe imaju funkciju aktuatora;
- odeća od veoma pametanog tekstila, koji je sposobna da prilagodi svoje ponašanje prema okolnostima.

Suh et al. [170] klasifikovali su razvoj pametne odeće u četiri nivoa:

- 1) Prvi nivo obuhvata period od 1980. do 1997. godine. Ova odeća je razvijena iz nosivog računara. Odeća iz ovog perioda je predstavljala platformu za nošenje elektronskih komponenata i nije bilo komercijalizacije.
- 2) Drugi nivo obuhvata period od 1998. do 2001. godine. Tada dolazi do združivanja modnog i tekstilnog sektora. Ostvaruje se saradnja između proizvođača elektronskih naprava i modnih kuća. Napravljen je veliki napredak u izradi elektronskih naprava, ali nisu mogli biti zadovoljeni zahtevi masovne proizvodnje. Neki veći napredak još uvek nije bio postignut.
- 3) Treći nivo razvoja obuhvata period od 2002. do 2005. godine. Za razliku od prethodnog nivoa razvoja pametne odeće, kad je glavni fokus bio na tehničkoj izvodljivosti, u ovom periodu je dosta pažnje posvećeno marketingu, tako što su se istraživači fokusirali na potrebe korisnika i mogućnosti modne industrije. Dosta je urađeno na minimalizaciji elektronskih komponenata i povećavanju funkcionalnosti i optimizaciji tehničkih funkcija.
- 4) Četvrti nivo razvoja pametne odeće je od 2006. godine pa na dalje. Veliki napredak je postignut za odeću sa ugrađenim nosačima zvuka. Uočeno je uključivanje poznatih brendova koji su počeli izradu pametne odeće. Pametna odeća postaje dosta razvijena i nije ograničena na rukovanje korisnika.

2.5.5 Inteligentna odeća

Inteligentna odeća se može definisati kao odeća koja može „pročitati“ potrebe korisnika, na osnovu podataka unutar odevnog predmeta ili van njega i odreagovati u skladu sa namenom [161].

Grupa autora [171] definisala je inteligentnu odeću kao specijalni računar koji je ugrađen u tekstilni materijal i koja može realizovati percepciju, skladištiti podatke i imati računarske funkcije.

2.5.5.1 Podela i karakteristike pametne i inteligentne odeće

Pametna i inteligentna odeća mogu se podeliti u pet glavnih grupa: sportska, medicinska, modna, lična zaštitna odeća i odeća za vojne primene. Zajedničke karakteristike svih ovih pet grupa trebale bi ispuniti zahteve koje ispunjavaju konvencionalni tekstilni materijali kao što su pranje, istežanje i savijanje. Pored toga, javljaju se i drugi zahtevi kao što su otpornost na habanje, ultraljubičasto zračenje i drugo. Pametna odeća treba da obezbedi izdržljivost, održivost i ekonomičnu potrošnju energije. Osim toga, trebalo bi biti pouzdana. Mogućnost pranja pametne odeće je kritična za komercijalni uspeh. Industrijska proizvodnja nosive tehnologije i pametne odeće treba da se razmotri kao novo područje istraživanja, budući da je masovna proizvodnja pametne odeće još uvek izazov [172].

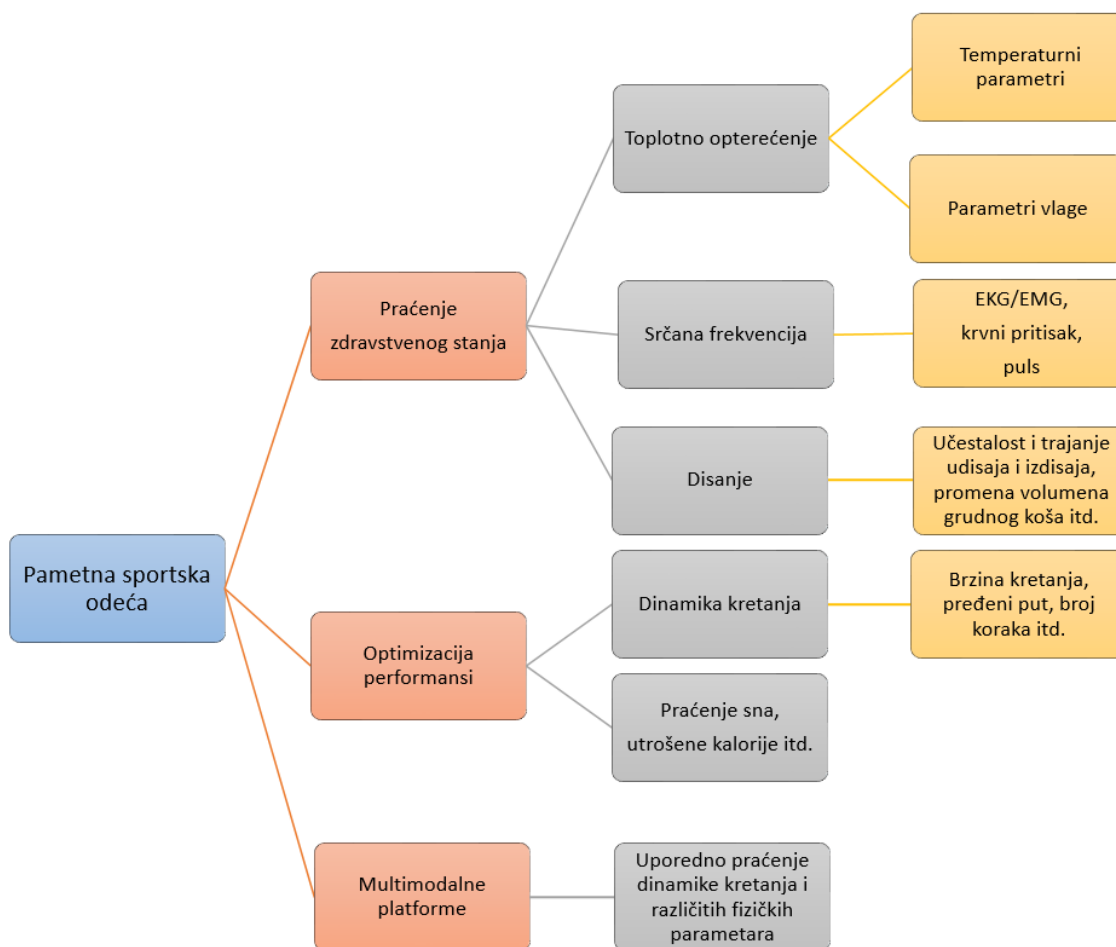
Dizajn je od velike važnosti prilikom izrade pametne i inteligentne odeće, zato se danas traže načini da se estetske, funkcionalne i tehničke karakteristike ove odeće usklade kako bi ova odeća bila udobna i funkcionalna [173].

2.5.5.1.1 Pametna odeća za proučavanje opterećenja sportista

Inteligentna i pametna odeća za sportiste služi za praćenje zdravstvenog stanja tokom napornih fizičkih aktivnosti kao što su treninzi, sportske utakmice ili takmičenja. Ovakva odeća ima funkciju očuvanja zdravlja sportista, što se postiže praćenjem vitalnih funkcija. Takođe služi i za poboljšavanje performansi sportista. Prikupljanje podataka se može vršiti na dva načina, prvi način se odnosi na ugrađivanje čipova (podaci se naknadno analiziraju), dok se kod drugog načina podaci emituju u stvarnom vremenu preko *Bluetooth*TH tehnologije i nadgledaju od strane medicinskog ili sportskog osoblja [174]. Na osnovu dobijenih podataka prati se fizičko i toplotno opterećenje sportista, proverava se da su postignuti fizički naponi u granicama normale kako bi se sprečile povrede.

Pametna i inteligentna sportska odeća se koristi za praćenje zdravstvenog stanja tj. procesa disanja, monitoring elektrokardiograma (EKG) i elektromiografije (EMG). Takođe i za poboljšavanje sportskih performansi tj. praćenje dinamike kretanja i praćenje više vitalnih funkcija u isto vreme [161]. Multimodalne platforme sa integrisanim sensorima se mogu definisati kao nosivi sistemi koji istovremeno omogućavaju praćenje dinamike kretanja i fizioloških parametara [175].

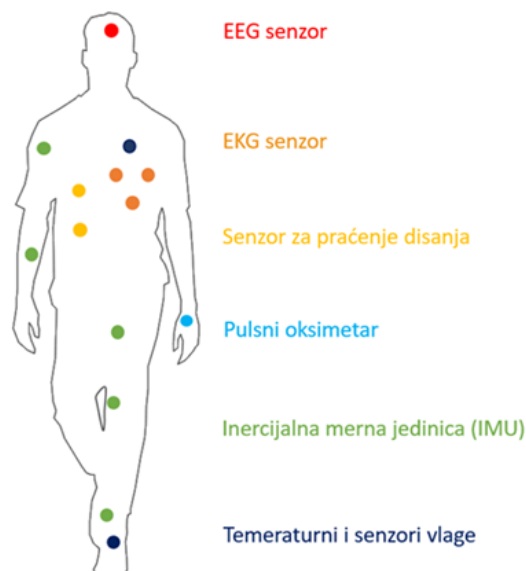
Na slici 9 prikazana je podela pametne i inteligentne odeće i nosivih sistema prema njihovoj funkciji.



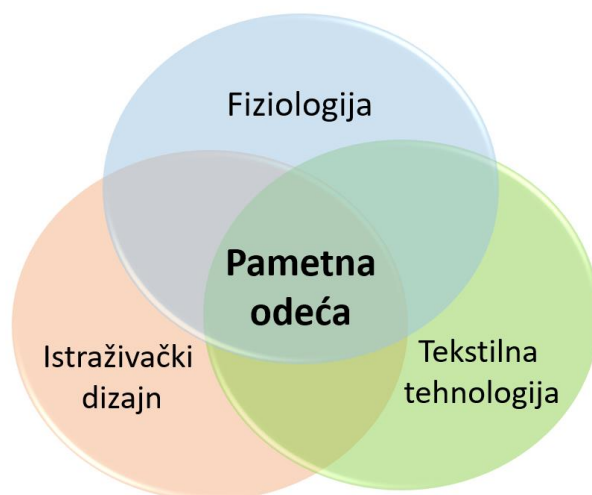
Slika 9. Podela pametne sportske odeće prema funkciji

Na slici 10 prikazana su tipična mesta pozicioniranja senzora za praćenje različitih fizioloških parametara (EKG, EEG, senzori za praćenje disanja, pulsa i inercijalne merne jedinice - IMU) ugrađenih u pametnu odeću.

Pametna odeća predstavlja predmet multidisciplinarnog istraživanja, gde su uključene različite istraživačke oblasti od fiziologije, istraživačkog dizajna do tekstilne tehnologije (slika 11).



Slika 10. Tipično pozicioniranje senzora ugrađenih u pametnu odeću za praćenje fizioloških parametara, izrađeno po uzoru na Angelucci et al. 2021. [166]



Slika 11. Pristup multidisciplinarnih istraživanja u oblasti pametne odeće, izrađeno po uzoru na Suh et al. 2010 [170]

Popularnost sportske pametne odeće i nosive tehnologije za praćenje zdravstvenog stanja ubrzano raste i očekuje se da će u narednom periodu (pet godina) ovo tržište premašiti 5,55 milijardi američkih dolara. Ovaj period je okarakterisan kao „era nosive tehnologije“ [176].

2.5.6 Elektronske komponente koje se upotrebljavaju za izradu pametne odeće i nosive tehnologije

U ovom poglavlju biće navedene komponente koje su neophodne za rad i funkcionisanje pametne odeće i nosive tehnologije. Pored mikrokontrolera i senzora za praćenje određenih fizioloških parametara neophodne su baterije za napajanje nosivih sistema električnom energijom kao i dodatne elektronske komponente.

2.5.6.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler (MCU) se može okarakterisati kao mini računar (sistem na čipu) i predstavlja ključnu komponentu koja omogućava rad nosive tehnologije. Upotreba mikrokontrolera smanjuje višestruke elektronske komponente koje su zaslužne za obavljanje različitih funkcija primenom jedinog čipa [177]. Mikrokontroler omogućava internet stvari (IoT) tj. povezivanje uređaja putem interneta. On se često koristi u nosivoj tehnologiji zato što je jednostavan za programiranje, reprogramiranje, ima povoljnu cenu, veličinu, kompatibilan

je sa sensorima, ima mogućnost kontrolisanja kompleksnih outputa (izlaza) kao što su grafički displeji [178]. Najveća prednost mikrokontrolera je mogućnost optimizacije i prilagođavanja kako bi se zadovoljile različite potrebe korisnika i omogućilo njegovo korišćenje za različite aplikacije [179].

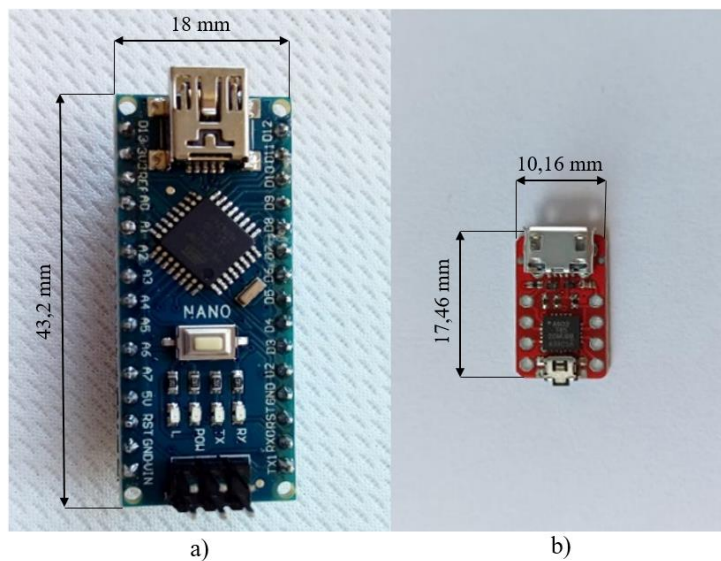
Mikrokontroler sadrži određene delove: procesor koji čita ulazne podatke i obrađuje informacije (koje su programirane za donošenje odluka i pisanje izlaznih podataka), oscilator i sat (engl. *timer clock*) koji sinhronizuje potrebne podatke. Deo mikrokontrolera je i memorija. Ona se sastoji od tri dela – memorija sa slučajnim pristupom RAM (engl. *random-access memory*) koja gubi podatke nakon prestanka napajanja, ROM memorija (engl. *read only memory*) gde se podaci ne mogu menjati ili je to moguće veoma sporo uraditi i fleš memorija (engl. *flash*) gde su podaci programirani za čuvanje. Pinovi, odnosno digitalni ulazi i izlazi, čine završni deo mikrokontrolera i oni su veza do/iz mikrokontrolera. Čitaju ulazne podatke i ispisuju izlazne podatke. Takođe, mikrokontroler sadrži i port za serijsku komunikaciju (IIC, UART/USB) i analogno-digitalni pretvarač (ADC) omogućava da se analogni ulazni podaci očitavaju kao digitalni [180].

Različiti tipovi mikrokontrolera imaju različite arhitekture. Fon Nojmanova arhitektura (*von Neumann*) ima tri magistrale – liniju podataka (koja nosi podatke između ulaza/izlaza), adresnu liniju (lokacija memorije) i kontrolnu liniju (određuje da li se podaci čitaju ili upisuju). Harvardska arhitektura je brža u odnosu na Fon Nojmanovu arhitekturu i ima dodatnu četvrtu liniju, liniju uputstva (podaci i instrukcije se procesuiraju u isto vreme) [179].

Razmatranja od strane dizajna, koja se moraju uzeti u obzir prilikom primena nosive tehnologije, uključuju i tip programiranja. Programski jezik je jako bitan. Inženjeri koji se bave oblašću nosive tehnologije za programiranje mikrokontrolera najčešće koriste *C*, *C++*, *Java*, *Swift* i *Python* programske jezike [179]. Ovo omogućava kontrolu komponenata i funkcija koje mikrokontroler može brzo menjati. Pouzdanost zavisi od tačnosti nadgledanih podataka. Različite aktivnosti mogu uticati na tačnost senzora, što zavisi od toga kako funkcionišu specifični senzorski elementi [181]. Održivost je ključna jer ona određuje životni ciklus pametnog odevnog predmeta [182]. Kada postoji neki napredak u elektronici (npr. baterije), to utiče na razvoj i izmenu samog proizvoda. Napredak u oblasti materijala je jednako uticajan na dizajn celokupnog nosivog sistema.

Danas su veoma rasprostranjene *Arduino* ploče (slika 12) koje u svom sastavu, pored ostalih komponenata, sadrže i mikrokontroler. Mogućnost široke primene, bogate baze primera

nadogradnje i povezivanja sa drugim komponentama kao i javno dostupni kod (engl. *open source*), doprineli su velikoj popularnosti *Arduino* platforme.



Slika 12. Primeri mikrokontrolera: a) *Arduino nano* i b) *Watuino Nanitte 85*

2.5.6.2 Temperaturni senzori

Promena temperature je funkcija prosečne energije kretanja molekula. Kao što je toplota dodata sistemu, molekularno kretanje se uvećava i sistemu se povećava temperatura. Teško je, međutim, direktno izmeriti energiju molekularnog kretanja, tj. temperaturni senzori su generalno dizajnirani da mere svojstva koja se menjaju kao odgovor na temperaturu. Uređaji se zatim kalibrišu na temperaturne skale pomoću standarda [183].

Tradicionalni senzori koji se koriste za merenje temperature su detektori temperature koji mere otpornost (RTD), termistori i termoelementi [166]. Druge vrste temperaturnih senzora koji mogu biti pogodni za mnoge druge primene, uključuju poluprovodničke temperaturne senzore, infracrvene senzore itd. [184]. Pored toga, senzori temperature mogu se podeliti na kontaktne i beskontaktne. Kod kontaktnih senzora merenja se vrše usled dodira između senzora i medija, dok beskontaktni senzori rade po principu energije zračenja zagrejanog tela.

2.5.6.2.1 Poluprovodnički temperaturni senzori

Postoje 12 elementarnih poluprovodnika: bor (B), ugljenik (C), silicijum (Si), fosfor (P), sumpor (S), germanijum (Ge), arsen (As), selen (Se), kalaj (Sn), antimon (Sb), telur (Te) i

jod (J). Danas, od elementarnih poluprovodnika, primat ima Si, dok se As, P i B upotrebljavaju za dopiranje silicijuma, što za posledicu ima promenu njegove provodljivosti [185].

Poluprovodnik čija provodnost zavisi od prisustva nekog drugog elementa se naziva primesnim poluprovodnikom. Atomi dodatih elemenata se nazivaju primesama. Ako je njihova koncentracija mala tada oni ne utiču značajno na električna svojstva poluprovodnika. Ako je koncentracija primesnih atoma velika onda je njihov uticaj na električna svojstva poluprovodnika dominantan unutar širokog intervala temperature. Zato se poluprovodničkim komponentama, primeše dodaju u odgovarajućim količinama (najčešće u intervalu od 10^{14} cm^{-3} do 10^{20} cm^{-3}) posebnim tehnološkim postupcima. Kada se poluprovodnik dopira petovalentnim primesama dobija se poluprovodnik n-tipa, a kada se dopira trovalentnim primesama dobija se poluprovodnik p-tipa [185].

Poluprovodnički temperaturni senzori proizvode se pomoću poluprovodničke tehnologije koja omogućava da se ovi uređaji proizvode efikasno i povoljno. To, takođe, dozvoljava da ovi uređaji imaju svojstva dizajnirana za lako povezivanje sa mnogim drugim vrstama poluprovodničkih uređaja, kao što su pojačala, regulatori snage, bafer izlazni pojačivači i mikrokontroleri za kondicioniranje signala itd.

Ovi senzori nude visoku preciznost i linearnost u radnom opsegu od oko $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Poluprovodnički temperaturni senzori koriste temperaturno zavisni odnos između napona baza-emiter tranzistora bipolarnog spoja³ (BJT) i struje njegovog kolektora:

$$V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln \left(\frac{I_c}{I_s} \right) \quad (6)$$

gde je:

V_{BE} – napon baza-emiter,

k – Bolcmanova konstanta,

T – apsolutna temperatura,

q – naelektrisanje elektrona,

I_s – struja povezana sa geometrijom i temperaturom tranzistora i

I_c – struja povezana sa geometrijom i temperaturom kolektora.

³ Bipolarni tranzistor (BJT) je poluprovodnički uređaj sa tri izvoda koji se sastoji od dva p-n spoja. Izvodi BTJ-a su: emitor (oblast tranzistora iz koje se injektuju nosioci naelektrisanja) baza (oblast u koju se injektuju ti nosioci) i kolektor (oblast u koju ekstrakcijom iz baze dolaze nosioci).

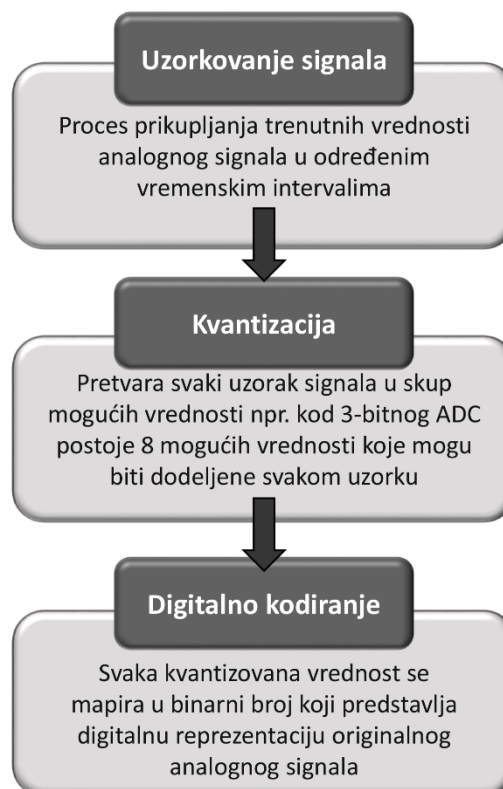
Zbog nelinearne temperaturne zavisnosti I_S , mnogi dizajni senzora koriste kola proporcionalna apsolutnoj temperaturi (PTAT) kako bi eliminisali temperaturni uticaj I_C i I_S [184].

Postoje dva tipa tranzistora bipolarnog spoja: NPN tranzistori i PNP tranzistori [185].

Tranzistori su se prvobitno izrađivali od germanijuma, dok se danas proizvode od silicijuma. Ovi senzori sadrže poluprovodničke materijale ili tanke filmove koji se nanose na silicijum sa ciljem stvaranja senzitivnog efekata [186].

Savremeni analogni i digitalni poluprovodnički temperaturni senzori su napravljeni na bazi tehnologije integrisanih kola gde tranzistor, čiji je kolektor povezan sa bazom, koristi p-n spoj (dioda). Analogni senzori imaju integrisan podsistem koji linearizuje zavisnost između temperature i izlaznog signala. ADC koji se koristi za pretvaranje signala temperature, je integrisan u digitalne senzore [187]. Za ovu vrstu merenja, bilo da je izvedena digitalnim ili analognim sensorima, potrebna je obrada prikupljenih podataka na mikrokontroleru [186]. Na slici 13 prikazan je princip rada ADC.

Nedostaci poluprovodničkih temperaturnih senzora je da unutrašnje rasipanje može uzrokovati odstupanje od $\pm 0,5$ °C, što rezultira greškama u merenju temperature i ograničava opseg rada [184].



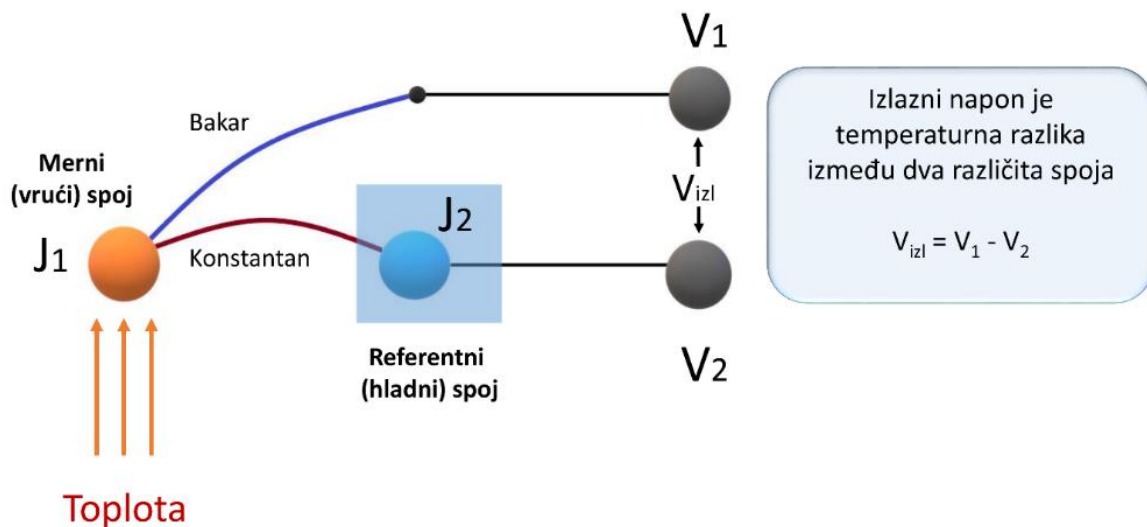
Slika 13. Princip rada ADC kroz korake

2.5.6.2.2 Termoelement

Termoelement, takođe poznat kao termopar (engl. *Thermocouples* – TCs) je termoelektrični senzor koji se u osnovi sastoji od spoja dva različita metala, kao što su bakar i konstantan (legura bakra i nikla). Jedan spoj se čuva na konstantnoj temperaturi i naziva se referentni (hladni) spoj, dok je drugi merni (topli) spoj. Kada su dva spoja na različitim temperaturama, na spoju se razvija napon koji se koristi za merenje temperature (slika 14).

Princip rada termoelementa je veoma jednostavan. Kada se spoje dva različita metala (bakar i konstantan) proizvodi se „termoelektrični“ efekat koji daje konstantnu potencijalnu

razliku od samo nekoliko milivolti (mV) između njih. Razlika napona između dva spoja naziva se „Seebeikov efekat“ jer se stvara temperaturni gradijent duž provodnih žica stvarajući EMF (elektromotorna sila). Izlazni napon iz termoelementa je funkcija promene temperature. Ako su oba spoja na istoj temperaturi, razlika potencijala između dva spoja je nula, drugim rečima, nema izlaznog napona $V_1 = V_2$. Međutim, kada su spojevi sastavljeni na različitim temperaturama, izlazni napon će biti detektovan u odnosu na razliku u temperaturi između dva spoja, $V_1 - V_2$. Ova razlika u naponu će se povećavati sa razlikom temperatura sve dok se ne dostigne maksimum (pik) napona spoja što je određeno karakteristikama dva različita metala koja se koriste [183].



Slika 14. Princip rada termoelementa

Prednosti termoelemenata uključuju veoma širok temperaturni opseg, brzo vreme odaziva, dostupnost u malim veličinama omotača, malu cenu i izdržljivost. Nedostaci termoelemenata uključuju smanjenu tačnost u poređenju sa detektorima temperature koji mere otpornost (RTD), podložniji je elektromagnetnim smetnjama (EMI) i radio frekventnim smetnjama (RFI), rekalkibracija je teška, zahteva skupu termoelement žicu (TC) od senzora do uređaja za snimanje i nije tako stabilan kao RTD.

2.5.6.2.3 Otpornički detektori temperature (RTD)

Za precizna merenja temperature u užim rasponima i skupljih elektronskih delova, koriste se otpornički detektori temperature (engl. *Resistance temperature detector* - RTD).

RTD je tanki žičani uređaj koji se koristi za određivanje temperature merenjem električne otpornosti metala. Varijacija otpora metala sa varijacijom temperature je data kao:

$$R_t = R_0[1 + (t - t_0) + \beta(t - t_0)^2 + \dots] \quad (7)$$

gde su:

R_t i R_0 - vrednosti otpornosti na t °C i 0 °C temperaturama i

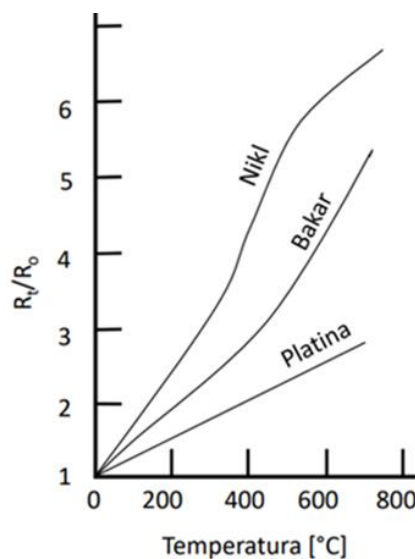
α i β - konstante koje zavise od vrste metala.

Ovaj izraz je za veliki raspon temperature. Za male opsege temperature dat je izraz:

$$R_t = R_0[1 + (t - t_0)] \quad (8)$$

U RTD uređajima, bakar, nikl i platina imaju široku primenu. Ova tri metala imaju različite varijacije otpora u zavisnosti od temperaturnih varijacija, što se naziva otpor-temperaturne karakteristike. Platina ima temperaturni opseg od 650 °C, a zatim bakar 120 °C dok nikl ima 300 °C.

Slika 15 prikazuje krivu zavisnosti temperaturnih karakteristika otpornosti za tri različita metala. Platinski RTD su najčešći tip RTD koji se koristi u industrijskim uslovima kao i svim vrstama merenja gde se zahteva izuzetna tačnost i stabilnost. Benefit upotrebe platine su: hemijska stabilnost, jednostavna proizvodnja žica i dobra reprodukcija električnih svojstava. RTD od nikla su jeftiniji i imaju dobru otpornost na koroziju. Međutim, nikl vremenom brže stari i gubi tačnost na višim temperaturama.



Slika 15. Zavisnost otpornosti od temperaturne varijacije različitih metala

Bakarni RTD-ovi imaju najbolju linearnost temperature i otpora u odnosu na platinske i niklene RTD od nikla, kao i najnižu cenu, a nedostatak je taj što bakar oksiduje na višim temperaturama [188].

U tabeli 7 date su neke od specifikacija platinskih, niklovih i bakarnih RTD-a.

Tabela 7. Karakteristike platinskih, niklovih i bakarnih RTD-a [188]

Tip RTD-a	Maksimalni opseg merenja	Dugotrajana stabilnost	Otpornost na koroziju	Linearnost temperature i otpora	Tipična optornost na 0 °C	Tipična optornost na 100 °C	Promena u otpornosti od 0 °C do 100 °C
Platinski	od -200 °C do 850 °C	odlična	odlična	dobra	100 Ω	138,5 Ω	38,5 Ω
Niklovi	od -80 °C do 260 °C	manje dobra	dobra	manje dobra	120 Ω	200,64 Ω	80,64 Ω
Bakarni	od -200 °C do 260 °C	dobra	manje dobra	odlična	9,035 Ω	12,897 Ω	3,867 Ω

Otporni termometri mogu se izraditi u više oblika (neograničeni elementi, elementi tankog filma i elementi u obliku namotaja) i u nekim slučajevima imaju superiornu stabilnost, tačnost i ponovljivost u poređenju sa termoelementima. Termoelementi koriste Zebekov efekat za stvaranje napona dok RTD koriste električni otpor i za rad im je potreban izvor napajanja. Otpor idealno varira gotovo linearno s temperaturom.

RTD u većini slučajeva zahtevaju izolovane provodnike. Izolovanje se vrši silikonom, politetrafluoroetilenom na nižim temperaturama dok se za više koriste fiberglas ili keramika. Na tački merenja potrebno je zaštitno kućište ili navlaka, koje se najčešće izrađuje od metalne legure.

RTD se može povezati u dvožičnoj, trožičnoj ili četvorožičnoj konfiguraciji. Dvožična konfiguracija RTD -a je najjednostavnija i najviše sklona greškama. U ovoj konfiguraciji, RTD je povezan dvema žicama na Vitstonovom mostu i meri se izlazni napon. Nedostatak ovog kola je u tome što se dva otpora priključnih žica direktno dodaju otporu RTD-a i dolazi do greške. Trožična konfiguracija je veoma rasprostranjena i ima široku primenu u industrijskoj praksi, dok se četvorožična konfiguracija koristi za najpreciznije primene.

Prednosti RTD-a:

- RTD se može lako instalirati i zameniti;
- dostupan je u širokom spektru;
- lako se rekalibriše i
- stabilnost se održava tokom dužeg vremenskog perioda.

Nedostaci RTD-a su niska osetljivost, potrebno je spoljašnje napajanje, veća cena od termoelemenata i vibracije utiču na njihov rad [183].

2.5.6.2.4 Termistori

Termistor je specifičan tip RTD-a. Termistori su napravljeni od metalnih žica, povezanih sa keramičkom bazom izrađenom od nekoliko sinterovanih, oksidnih poluprovodnika. Kao i kod ostalih otpornih termometara, promena temperature može se izračunati iz promene otpornosti. Ali za razliku od tradicionalnih RTD-a, odnos nije veoma linearan. Temperaturni opseg u kojem se mogu koristiti termistori je mali u poređenju sa tradicionalnim RTD [183].

Kod većine termistora se sa uvećanjem temperature javlja opadanje otpora, pa je temperaturni koeficijent otpora negativan. Ovi termistori se nazivaju NTC otpornici (engl. *Negative Temperature Coefficient*). Područje primene NTC je u rasponu od -50°C do -220°C .

Kada kod termistora sa uvećanjem temperature dolazi do opadanje otpora, onda je temperaturni koeficijent pozitivan i takvi termistori se nazivaju PTC otpornici (engl. *Positive Temperature Coefficient*). PTC se koriste u temperaturnom području od -50°C do -150°C [189].

Prednosti termistora su velika promena otpora sa temperaturom, brzo vreme odziva, dobra stabilnost, mogućnost merenja malih vrednosti i niske cene [183].

Nedostaci termistora su nelinearnost, ograničen opseg radne temperature, nepreciznost zbog pregrevanja i potreban je izvor struje [183].

2.5.6.3 Senzori vlage

Vlagometrija predstavlja oblast merenja sadržaja vode u čvrstim telima. Instrumenti kojima se vrše merenja su vlagomeri. Merenje i regulacija vlažnosti su od izuzetne važnosti u tekstilnoj, papirnoj i prehrambenoj industriji. Sadržaj vlage u čvrstim, praškastim i zrnastim materijalima definiše se kao gubitak mase nastao sušenjem:

$$SV = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (9)$$

gde su:

SV – sadržaj vlage [%],

m_1 – masa uzorka pre sušenja [g],

m_2 – masa uzorka nakon sušenja [g].

Uslovi merenja, period sušenja i temperatura definisani ponovljenih merenja.

Oblast merenja vlažnosti gasova naziva se higrometrija, dok se uređaji pomoću kojih se vrše merenja nazivaju higrometri. Apsolutna vlažnost tj. sadržaj vlage u gasovima definiše se kao masa pare u jedinici zapremine, može se izračunati prema izrazu:

$$D = \frac{m_p}{V} \quad (10)$$

gde je:

D – apsolutna vlažnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

m_p – masa pare [kg],

V – zapremina [m^3].

Apsolutna vlažnost može se definisati i u odnosu na masu suvog vazduha:

$$d = \frac{m_p}{m_s} \quad (11)$$

gde je:

d - apsolutna vlažnost u odnosu na masu suvog vazduha [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$].

m_s – masa suvog vazduha [kg].

Prema jednačini gasnog stanja i Daltonovog zakona za vazduh koji predstavlja smešu suvog vazduha i vodene pare, zapremine V i temperature T , može se napisati za suvi vazduh $p_s V = m_s R_s T$ ($R_s = 0,287$ kJ/kmolK), a za vodenu paru $p_p V = m_p R_p T$ ($R_p = 0,461$ kJ/kmolK), pa je sadržaj vodene pare:

$$d = 622 \frac{p_p}{p_s} \quad (12)$$

Određivanje relativne vlažnosti vrši se u odnosu na gas koji na datoj temperaturi i normalnom atmosferskom pritisku ($p_s = 101,3$ kPa) ima mogući sadržaj vlage:

$$\varphi = \frac{\text{masa vodene pare}}{\text{masa zasićene vodene pare}} = \frac{m_p}{m_{zp}} = \frac{p_p}{p_{zp}} \quad (13)$$

Pritisak zasićene vodene pare p_{zp} je nelinearna funkcija temperature t [$^{\circ}\text{C}$]. Može biti prikazana tabelarno ili približno analitičkim oblikom [190]:

$$p_{zp}(t) = 610,78 e^{17,2694t/(t+238,3)} \quad [\text{Pa}] \quad (14)$$

Vlažnost je važan indikator koji se odnosi na udobnost i performanse ljudi tokom rada i sporta. Senzori vlažnosti su elektronski uređaji koji omogućavaju merenje vlažnosti okoline i

konvertuju podatke u odgovarajući električni signal koji se može koristiti u različite svrhe. Danas je dostupno više različitih senzora za merenje relativne vlažnosti (RH). Neki od njih su: optički, kapacitivni, piezorezistivni, detektori vlage koji mere otpornost itd. Pri merenju vlažnosti pomoću senzora ne meri se vlažnost direktno već se od merenja veličina kao što su temperatura, pritisak, masa i električni otpor dobijaju vrednosti vlažnosti.

Senzori vlažnosti se koriste u različitim oblastima i imaju široku primenu, pa je zato potrebno zadovoljiti više zahteva pri njihovoj izradi:

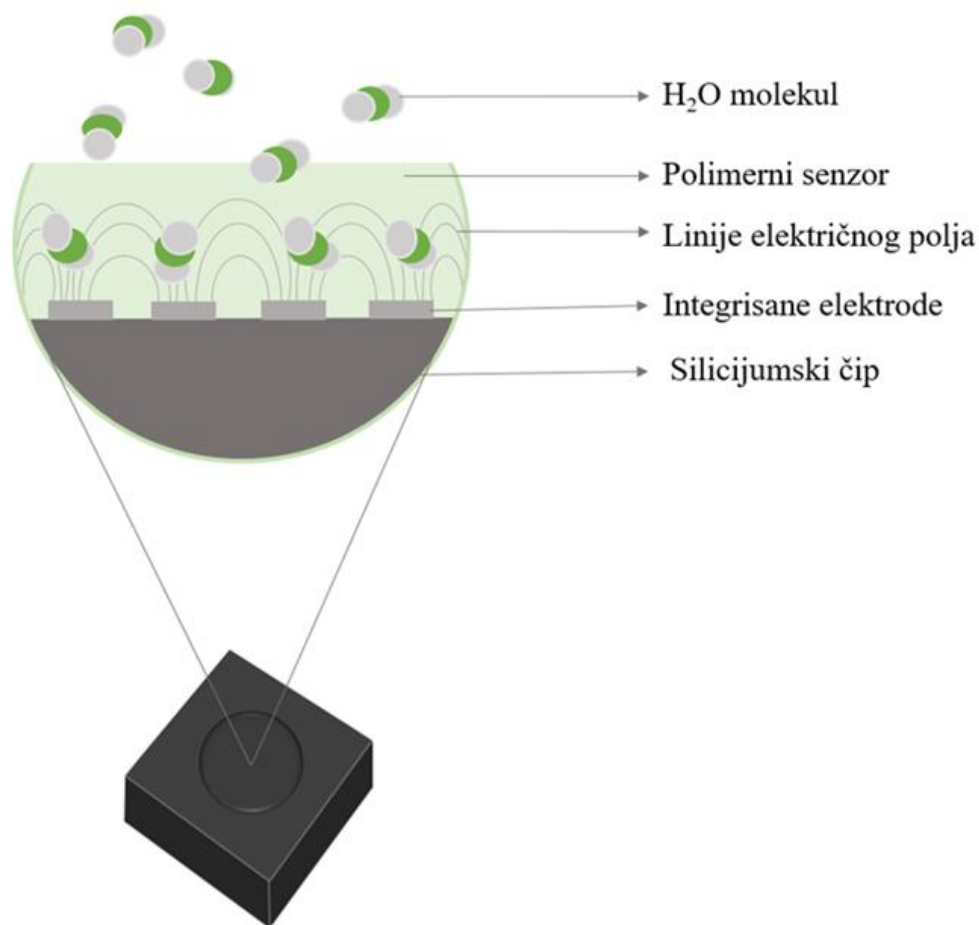
- dobra osetljivost i brz odaziv;
- merenje većeg opsega vlažnosti;
- brza ponovljivost sa malim histerezisom;
- otpornost na kontaminate;
- izdržljivost i dugovečnost;
- jednostavna konstrukcija i pristupačna cena [190].

2.5.6.3.1 Kapacitivni senzori vlažnosti

Kapacitivni senzori vlažnosti su najčešći senzori za merenje relativne vlažnosti. Danas, se oko 75 % senzora vlažnosti na tržištu zasniva na kapacitivnoj tehnici [191]. Dizajnirani su da mere relativnu vlažnost postavljanjem tankog metalnog oksida između dve elektrode. Kada dođe do promene RH atmosfere, električni kapacitet metalnog oksida će se promeniti. Ovi senzori su linearni i mogu da mere relativnu vlažnost u rasponu od 0 do 100 % sa tačnošću od 2 %.

Kapacitivni senzor vlažnosti se sastoji od higroskopskog dielektričnog materijala postavljenog između para elektroda koje formiraju kondenzator. Većina kapacitivnih senzora koristi plastične ili polimerne materijale kao dielektrične materijale, sa tipičnom dielektričnom konstantom u rasponu od 2 do 15. Kada nema vlage u senzoru, i ova konstanta i geometrija senzora određuju vrednost kapaciteta. Na normalnoj sobnoj temperaturi, dielektrična konstanta vodene pare ima vrednost od oko 80, što je mnogo veća od konstante dielektričnog materijala senzora. Zbog toga, apsorpcija vodene pare od strane senzora dovodi do povećanja kapaciteta senzora. U uslovima ravnoteže, količina vlage prisutna u higroskopnom materijalu zavisi i od temperature okoline i od pritiska vodene pare okoline. Ovo važi za higroskopni dielektrični materijal koji se koristi na senzoru [192].

Kapacitivni senzor vlažnosti SHTxx kompanije *Sensorian* (senzor integrisan u pametnu majicu) prikazan je na slici 16.



Slika 16. Senzor SHTxx kompanije *Sensorian*.

Prikaz poprečnog preseka integrisanih elektroda sa polimernim slojem.

Po definiciji, relativna vlažnost (RH) je takođe funkcija temperature okoline i pritiska vodene pare. Dakle, postoji veza između relativne vlažnosti, količine vlage prisutne u senzoru i kapaciteta kondenzatora. Ovaj odnos je osnova rada kapacitivnog instrumenta za vlažnost.

Promena kapaciteta u zavisnosti od relativne vlažnosti vazduha može se definisati sledećim izrazom:

$$C_{RH} = C_0(1 + \alpha_{RH}RH) \quad (15)$$

gde je:

C_0 – kapacitet pri RH = 0 %,

α_{RH} – konstanta kapaciteta pri datoj RH vrednosti.

Za razliku od induktivnih senzora koji generišu elektromagnetno polje, kapacitivni senzori generišu elektrostatičko polje.

Kapacitet predstavlja količinu uskladištene energije u obliku električnog polja. Kod kondenzatora sa paralelnim pločama kapacitet se izračunava kao količnik naelektrisanja i napona. Kapacitet (meren u Faradima) paralelnog pločastog kondenzatora se sastoji od dve provodničke ploče i izračunava se prema izrazu:

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d} \quad (16)$$

gde je:

C - kapacitet [F],

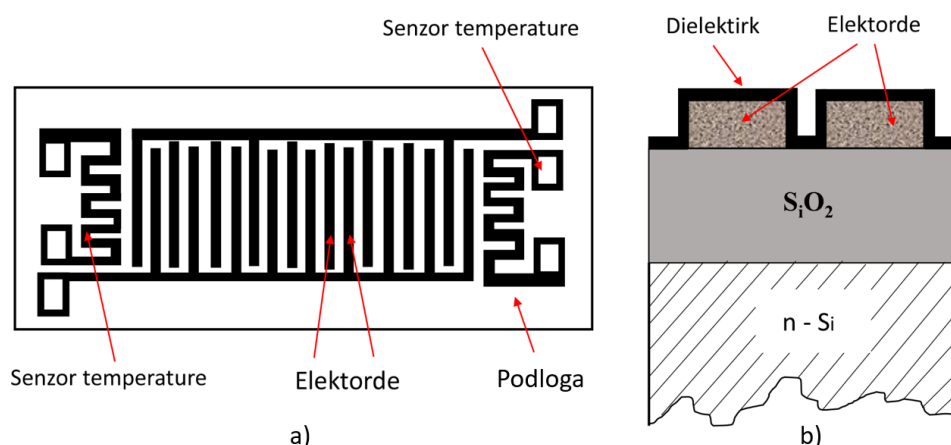
A - površina preklapanja dve ploče [m²],

ϵ_r - dielektrična konstanta materijala između ploča,

ϵ_0 - permitivnost slobodnog prostora [$8,85 \times 10^{-12}$ F·m⁻¹],

d - rastojanje između ploča [m].

Kapacitivni senzor vlažnosti na bazi tankog termostatskog polimernog filma proizveden je na podlozi od silicijum-dioksida. Na ovu podlogu se nanose dve metalne elektrode od aluminijuma, platine ili hroma. Oblik ovih elektroda formira interdigitalizovani uzorak. Na vrhu ovog sloja nanosi se dielektrični sloj. Izgled i poprečni presek kapacitivnog senzora vlažnosti je prikazan na slici 17. Takođe, dva temperaturna senzora postavljena su na istu podlogu kako bi se obezbedila temperaturna kompenzacija.



Slika 17. Kapacitivni senzor vlage izrađen tehnikom tankog sloja SiO₂

a) pogled odozgo i b) poprečni presek

U kapacitivnim sensorima, kao i u praktično svakom drugom tipu senzora, vlažnost se ne meri direktno već lančanim procesom. Pošto se senzor i pripadajuća elektronika ne mogu razmatrati odvojeno, svaki faktor utiče na performanse senzora.

Neodgovarajući izbor kalibracionih vrednosti može dovesti do drugačije distribucije greške linearnosti i može smanjiti tačnost instrumenta [192].

Prednosti kapacitivnog senzora vlažnosti su:

- veoma niska potrošnja energije i visoki izlazni signali;
- izlazni napon je skoro linearan;
- daju stabilne rezultate tokom duže upotrebe;
- detektovanje širokog spektra vlažnosti;
- može da izdrži temperaturu ispod 0 °C;
- ne zahteva nikakvo održavanje tokom dužeg perioda.

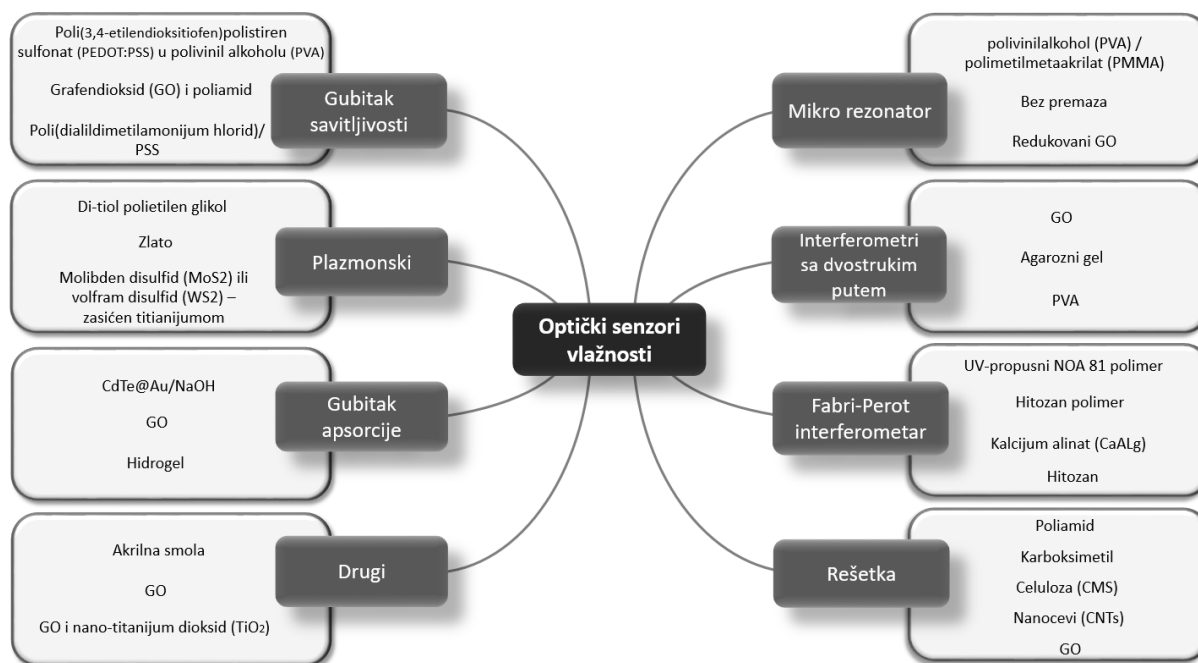
Nedostaci kapacitivnih senzora vlažnosti uključuju ograničenu dugoročnu stabilnost kao i određene agresivne materije, nedovoljna preciznost merenja za vrednosti ispod 5 % RH i zahteva dodatnu elektroniku za pretvaranje vrednosti kapaciteta u relativnu vlažnost.

2.5.6.3.2 Optički senzori vlažnosti

Pored poznatih prednosti da elektromagnetne smetnje (EMI) ne utiču na rad senzora, optički senzori vlažnosti su obično osetljiviji i nude širi spektar mogućnosti prilagođenih različitim aplikacijama (npr. kolorimetrijski, tačkasti, distribuirani) u poređenju sa drugim tradicionalnim sensorima vlažnosti. Međutim, često su glomazniji i skuplji zbog konverzije između svetlosti i električne energije. Optički senzori vlažnosti se oslanjaju na parametre, kao što su prenosna snaga, talasna dužina, frekvencija i faza. Poslednji je najjednostavniji pristup i koristi se za jeftinija (engl. *low-end*) merenja vlažnosti gde visoka tačnost nije zahtevna [193].

Za izradu optičkih senzora vlažnosti koriste se higroskopni materijali, kod kojih se prikom upijanja vlage iz vazduha menja električni otpor. Najčešće se koriste litijum hlorid, polistiren, aluminijum oksid, mada novi optički senzori često naglašavaju razvoj novih funkcionalnih materijala za poboljšanje performansi (slika 18) u smislu osetljivosti, vreme odgovora i specifičnosti. Može se videti da je istražen veliki izbor materijala za različite senzorske mehanizme [193].

Relativna vlažnost označava procenat vodene pare u mešavini vode i vazduha u odnosu na nivo zasićenja (tj. početak stvaranja kapljica vode) na datoj temperaturi. Na nižoj temperaturi, 100 % RH se može postići sa manje molekula vode. Ovaj efekat se može primetiti kod uobičajenog fenomena kondenzacije na hladnijim površinama.



Slika 18. Primeri funkcionalnih materijala za svaki tip senzornog mehanizma

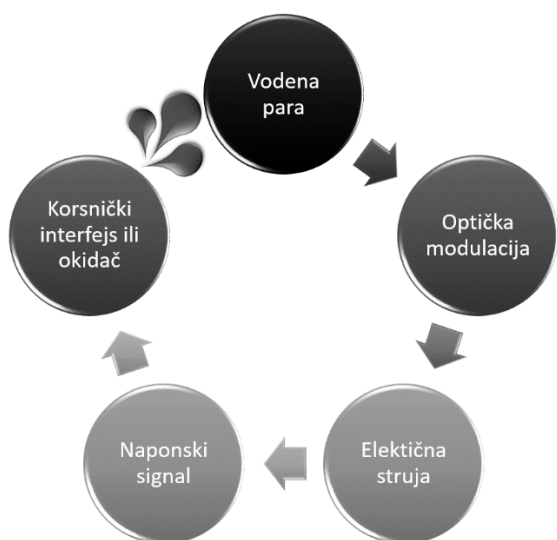
koji koriste optički senzori vlažnosti, izrađeno po uzoru na Rao et al. 2021. [193]

Optički senzor vlažnosti je definisan kao uređaj koji obezbeđuje meru relativne vlažnosti i daje informacije direktno korisniku ili služi kao aktuator za pokretanje sledeće faze u većem sistemu (slika 19) [193].

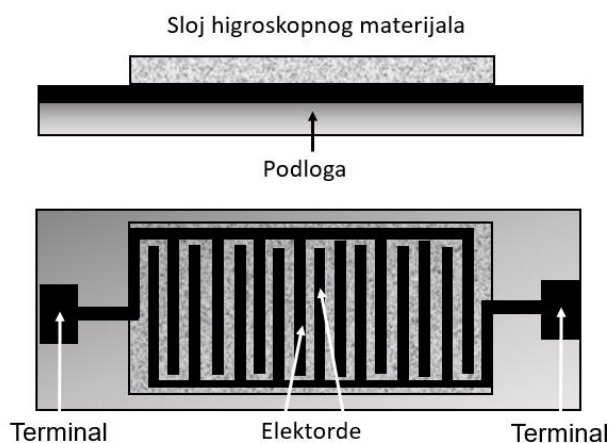
Optički pločasti senzor vlažnosti prikazan je na slici 20. Sa povećanjem vlažnosti dolazi do smanjenja otpornosti. Provodnici se nanose na podlogu preko koje se postavlja sloj higroskopskog materijala.

Iako optički senzori vlažnosti imaju visoku osetljivost, nekoliko nedostataka ometa njihovu praktičnu primenu uključujući činjenicu da su često glomazni, histerezis obično varira od 0,5 % do 1 % RH, nestabilnost pri kontinuiranoj upotrebi, relativno velika potrošnja energije, zahtev za neki oblik mehanizma kompenzacije temperature ako se žele postići precizna merenja vlažnosti, komplikovani proces proizvodnje i relativno visoki troškovi. Uprkos ovim ograničenjima, sposobnost optičkih senzora vlažnosti da prate niske nivoe vlažnosti je

superiorniji u odnosu na duge senzore vlažnosti i stoga se ovi uređaji uglavnom koriste u laboratorijskim uslovima [194].



Slika 19. Dijagram toka rada tipičnog optičkog senzora vlažnosti, izrađeno po uzoru na Rao et al. 2021 [193]



Slika 20. Optički pločasti senzor vlage

2.5.6.3.3 Detektori vlage koji mere otpornost

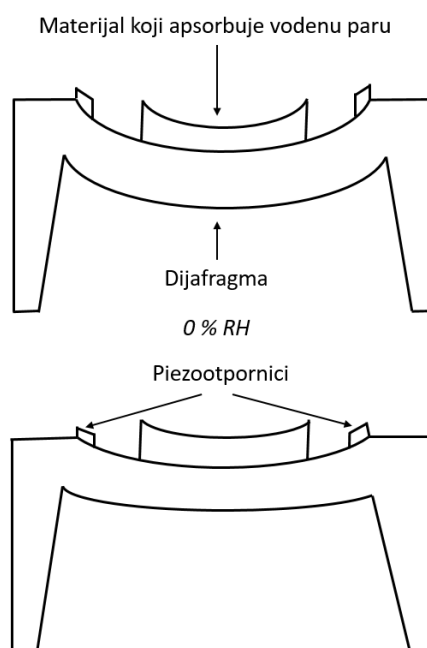
Mehanizam transdukcije senzora vlage koji mere otpornost uključuje promene u provodljivosti izazvane adsorpcijom vodene pare. Uobičajeno, senzori ovog tipa koriste tri glavne vrste materijala: keramiku, polimere i elektrolite. Osnovna konfiguracija ovih senzora liči na kapacitivne senzore vlažnosti sa tom razlikom što su dielektrični slojevi zamenjeni slojevima osetljivim na provodljivost.

U mnogim istraživanjima su korišćeni metalni oksidi sa hubneritovom (mineral MnWO_4) i spinalnom strukturom, kao npr. WO_3 , PbWO_4 , MoO_3 , ZrTiO_3 , LaFeO_3 , ZnWO_4 , $\text{WO}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ kompozit, $\text{ZnO-Y}_2\text{O}_3$ kompozit, K_2O dodat $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$, $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CrO}_3$ ($0 < x < 1$), $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$ ($0,1 < x < 0,4$), MMoO_4 ($M = \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Pb}$), $\text{Mg}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{MxO}_4$ ($x = 0$ ili $0,2$, $M = \text{La}$ ili Ga), $\text{Li-Fe}_2\text{O}_3$, MnWO_4 , NiWO_4 , CoWO_4 , ZnCr_2O_4 , MgCrO_4 , TiO_2 , MgAl_2O_4 , hematit, ZnO , Al_2O_3 , itd [194].

2.5.6.3.4 Piezorezistivni senzori vlažnosti

Piezorezistivni materijali su našli široku primenu u senzorskoj tehnologiji. Danas, transdukcija vlažnosti vazduha preko mehaničkog domena je dobro razvijena tehnika detekcije. Tipično, piezorezistivni senzori vlažnosti koriste suspendovanu strukturu obloženu slojem koji upija vodu. Filmovi na bazi polimera upijaju vodu u intervalu 2–6 %, što dovodi do uvećanja odnosa približno $5,5 \cdot 10^{-5} \cdot RH^{-1}$. Piezootpornici se koriste za detekciju savijanja ove strukture što je podstaknuto promenom vlažnosti [194].

Na slici 21 prikazan je opšti izgled piezorezistivnog senzora vlažnosti. Ovaj uređaj koristi piezootpornike postavljene na vrh dijafragme. Kako se vlažnost povećava, rezultujuća promena zapremine poliamidnog sloja zavisna od vlažnosti izaziva deformaciju bimorfa supstrata poliamidnog mosta i stoga dovodi do savijanja ploče ona se zatim transformiše u izlazni napon preko integrisanog piezorezistivnog mosta.



Slika 21. Izgled piezorezistivnih senzora vlažnosti

Buchhold et al. [195] usvojili su upotrebu lociranih piezootpornika na vrhu dijafragme obložene slojem poliamida. Povećavanjem vlažnosti menja se zapremina sloja poliamida što izaziva deformaciju poliamidnog mosta bimorfa supstrata i savijanje ravni. Ovo se detektuje kao izlazni napon preko integrisanog piezorezistivnog mosta. Pokazalo se da osetljivost piezorezistivnih senzora vlažnosti sa otpornicima smeštenim na periferiji dijafragme ne zavisi značajno od oblika dijafragme. Oblik dijafragme može biti zasnovan isključivo na tehnološkim rešenjima.

Najveća poteškoća u projektovanju piezorezistivnih senzora vlažnosti leži u obezbeđivanju adekvatnog termičkog kuplovanja kako bi se obezbedila precizna kontrola temperature. Pored toga, kao i kod drugih tipova senzora, temperaturno odstupanje je značajan problem za piezorezistivne senzore vlažnosti [194].

2.5.6.4 Senzori za praćenje kretanja

U ovom poglavlju biće pomenuti senzori koji se koriste za praćenje kretanja ljudi kao što su akcelerometar, žiroskop i globalni pozicioni sistem.

2.5.6.4.1 Akcelerometar

Akcelerometar je senzor koji pretvara kinetičko kretanje u električni signal koji se često koristi u pametnoj odeći i nosivoj tehnologiji za praćenje kretanja korisnika. Ovaj senzor meri ubrzanje tela, prouzrokovano gravitacijom ili pokretom i šalje podatke uređaju na blisku udaljenost. U primeru kada korisnik trči, troosni akcelerometar (engl. *3-axis accelerometer*) može dati izlazne podatke za maksimalnu i minimalnu brzinu, ubrzanje kao i orijentaciju [179].

Tipični akcelerometar dolazi u obliku integrisanih kola montiranih na štampanu ploču (engl. *custom circuit board*) i sastoji se od akcelerometarskog čipa, primopredajnika (engl. *transceiver*) za bezžičnu komunikaciju i priključka za bateriju [196].

Piezoelektrični, piezorezistivni i kapacitivni tipovi se najčešće primenjuju u komercijalnim uređajima.

U tabeli 8 data je podela akcelerometara.

Tabela 8. Podela akcelerometara

Tip senzora	Ključne tehnologije
Piezoelektrični	Piezoelektrični kristali se koriste za merenje dinamičkih promena pri akceleraciji, vibraciji i mehaničkom udaru
Piezootpornički	Otpor se menja sa ubrzanjem
Piezorezistivni	Piezorezistivni material se deformiše usled delovanja spoljašnje sile što dovodi do promene otpora
Kapacitivni	Kapacitet se menja pri promeni relativne lokacije dva objekta
Holov efekat	Kretanje se pretvara u električni signal usled promene magnetnog polja
Magnetnootporni	Otpor materijala se menja u prisustvu magnetnog polja
Temperaturni	Lokacija zagrejanih objekata se prati tokom ubrzanja sa promenom temperature

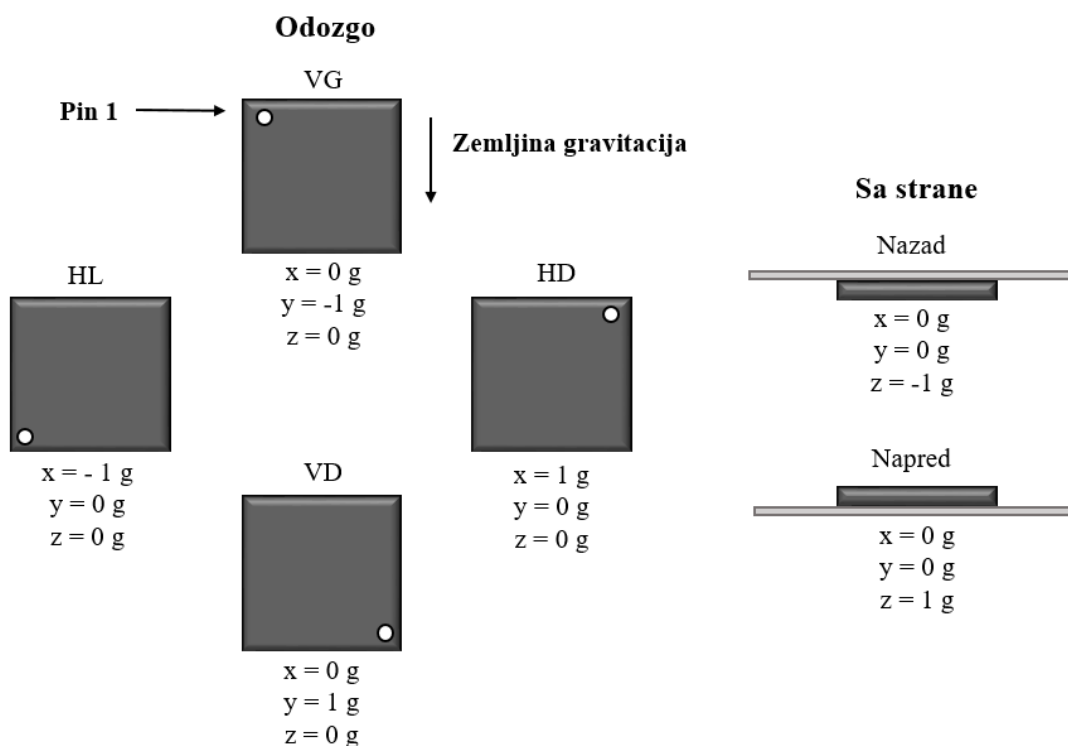
Napredak u tehnologiji kao što je niska potrošnja energije, minijaturizacija komponenti i povećavanje preciznosti omogućavaju detekciju složenih kretanja i čine akcelerometre nosivim. Ovaj napredak omogućio je praćenje sportskih aktivnosti, kvaliteta i kvantiteta vežbanja i rehabilitacije [197]. Postoje različiti primeri primene akcelerometara u nosivoj tehnologiji i manje u pametnoj i inteligentnoj odeći za različite spotove. Troosni akcelerometar

montiran na pametnu palicu za golf korišćen je za praćenje kretanja štapa sa ciljem poboljšanja tehnike zamaha golfera [198].

2.5.6.4.1.1 Princip rada troosnog akcelerometra

Sa troosnim senzorom akcelerometra, ubrzanje kretanja korisnika može se meriti u pravcima x, y i z ose u trodimenzionalnom prostoru [199]. Troosni akcelerometar je dizajniran od tri različita senzora kod kojih svaki meri ubrzanje (u jedinici gravitacije g) u jednoj od ravni (x, y i z).

Na slici 22 prikazan je uređaj MMA8451Q u šest različitih režima orijentacija koji su definisani na sledeći način: VG = vertikalno gore, HD = horizontalno desno, VD = vertikalno dole, HL = horizontalno levo, i pogledi sa strane (nazad i napred).



Slika 22. Prikaz uređaja MMA8451Q u šest različitih režima orijentacije

2.5.6.4.2 Žiroskop

Žiroskopi su vrsta senzora koja detektuje ugaono ubrzanje na svom disku. Ovi senzori se pored akcelerometra najčešće koriste za praćenje kretanja u nosivoj tehnologiji, pametnoj i inteligentnoj odeći.

Često se akcelerometar i žiroskop koriste zajedno kako bi se povećala tačnost merenja i kako bi se greške umanjile [200]. Postoje različiti tipovi žiroskopa: mehanički, optički i žiroskopi sa gasnim nosačem [201].

U tabeli 9 prikazan je pregled parametara kretanja koji se prate pomoću akcelerometra i žiroskopa.

Tabela 9. Praćenje parametra tokom sportskih aktivnosti pomoću akcelerometra i žiroskopa [179]

Senzor	Ubrzanje [m·s ⁻²]	Brzina [m·s ⁻¹]	Rastojanje [m]	Ugaona brzina [rad·s ⁻¹]	Ugaono ubrzanje [rad·s ⁻²]	Relativni ugao [rad]	Apsolutni ugao [rad]	Sila [N]	Moment [N·m]
Akcelerometar	Izmereno	Izvedena	Izvedeno (2x)	-	-	-	-	Dobijena masa	-
Žiroskop	-	-	-	Izmerena	Izvedeno	Izračunata razlika	Integrisan	-	Izveden po ineriji

2.5.6.4.3 Globalni pozicioni sistem

Globalni pozicioni sistem (*Global Positioning System* - GPS) je senzor koji se veoma često koristi i može se naći u uređajima kao što su pametni telefoni, satovi, u nosivoj tehnologiji i pametnoj odeći. Koristi se za navigaciju i informiše korisnike o njihovoj lokaciji. Podaci se šalju satelitu gde se vrši merenje precizne lokacije i vremena. On radi kao predajnik i prijemnik.

Uključivanjem frekvencije uzorkovanja GPS modula, može se izračunati serija kontinuiranih vremenskih vrednosti brzina. Stoga, GPS isporučuje vremenske serije vrednosti brzina, kumulativne udaljenosti i lokalizacije trčanja. Iz ovih podataka može se izvesti prosečna brzina i ukupna udaljenost [202].

Razvijena je ideja za izradu prototipa pametne majice za umetničko klizanje koja će imati ugrađen GPS sa ciljem praćenja kretanja klizača [203]. GPS je veoma koristan u timskim sportovima jer uklanja problem koji se javlja tokom analize kretanja i treneri mogu da upravljaju pozicijama igrača u timu [204, 205].

Nedostaci GPS-a su dodatna oprema (pametni telefon, pametni časovnik), velika potrošnja energije, kao i ograničenja upotrebe na otvorenom [202].

2.5.6.5 Baterije

Poslednjih godina došlo je do značajnih istraživanja kao i porasta interesovanja iz oblasti nosive tehnologije i pametne odeće. Ovi nosivi elektronski uređaji i odeća imaju određene zahteve kao što su fleksibilnost, lakoća i udobnost. Međutim, iako postoji napredak u razvoju nosivih i tekstilnih elektronskih uređaja, njihovo napajanje i dalje je u razvoju [206].

Za napajanje nosive tehnologije i pametne odeće najčešće se koriste punjive litijum-jonske baterije (LIB) [165]. LIB se široko primenjuju u svakodnevnom životu. Komercijalno su razvijene u kompaniji *Sony* tokom 1990.-ih i ubrzo su postale izuzetno popularne u potrošačkoj elektronici. LIB su najnovija tehnologija punjivih baterija, a tržišni potencijal za ove baterije ubrzano raste širom sveta. Trenutno, krute litijumske baterije proizvedene od metalnih folijskih materijala su moćne i imaju za različite primene zbog njihove velike gustine energije, dugog veka trajanja i male težine. Punjiva litijum-jonska baterija prikazana je na slici 23.

Poslednjih deset godina dosta je urađeno na razvoju fleksibilnih litijum-jonskih baterija. Ove baterije su atraktivne zbog mogućnosti korišćenja u različitim elektronskim uređajima i sistemima [206]. Tehnologije štampanja imaju veliki potencijal u proizvodnji lagane i jeftine baterije velikog kapaciteta koje generišu visoke napone, što je presudno za elektronske tekstilne (engl. *e-textile*) aplikacije.



Slika 23. Litijum-jonska punjiva baterija 3,7 V

Baterije izrađene na papirnom supstratu (engl. *paper batteries*) takođe imaju nekoliko prednosti u odnosu na čvrste baterije zbog male težine i lake integracije u pametni tekstil, što poboljšava vreme autonomije i obezbeđuje kapacitete velike snage zbog čega dobijaju sve veću popularnost. Nekoliko istraživača je izradilo fleksibilne baterije na papirnom i plastičnom supstratu [207, 208]. Ove baterije se proizvode tehnikom naslojavanja različitih provodljivih materijala na papirnom ili plastičnom supstratu. Međutim, istraživanja i dalje postoje u performansama i integraciji baterija na papirom supstratu. Štaviše, gotovo nijedna od poznatih metoda nije industrijski dostupna za proizvodnju potpuno funkcionalnog sistema zasnovanog

na papiru. Dodatno, većina poznatih metoda za proizvodnju uređaja za napajanje baterija na papirnim podlogama su dugotrajne i skupe.

Mnoge štampane baterije koje koriste električno provodljive niti, pokazale su sposobnost da napajaju različite elektronske uređaje sa specifičnim naponskim i strujnim zahtevima [206]. Vlaknaste litijum-jonske baterije (engl. *fibre lithium-ion batteries*) su atraktivne kao fleksibilna rešenja za napajanje nosive elektronike jer se mogu utkati u tekstil. Međutim, teško ih je proizvesti u dužinama većim od nekoliko centimetara, a duža vlakna imaju veće unutrašnje otpore što može ugroziti elektrohemijske performanse. Njihovo zadržavanje kapaciteta dostiže 90,5 % nakon 500 ciklusa punjenja-pražnjenja što je uporedivo sa komercijalnim baterijama. Ove baterije mogu se bezbedno prati a izrađene su pomoću industrijskog razboja i korišćene za napajanje pametne jakne koja omogućava nadgledanje zdravstvenog stanja [209].

2.5.7 Inter-Integrated Circuit I²C serijski komunikacioni protokol

Kompanija *Philips Semiconductors* (sada *NKSP Semiconductors*) je razvila dvosmerni dvožični sinhroni komunikacioni protokol koji se naziva *Inter-Integrated Circuit* (I²C) ili *I²C-bus*. I²C magistrala se koristi za komunikaciju jednog ili više upravljača odnosno „gospodara“ (engl. *master*) i više perifernih uređaja izvršitelja odnosno „robova“ (engl. *slave*). Periferni uređaju mogu biti: LCD (engl. *Liquid-crystal display*), analogno-digitalni i digitalno-analogni pretvarači, različite vrste senzora itd.

Svi I²C kompatibilni uređaji imaju interfejs na čipu koji im omogućava da komuniciraju direktno jedni sa drugima preko I²C-magistrale. Ovaj koncept rešava mnoge probleme povezivanja koji se susreću pri projektovanju digitalnih upravljačkih kola [210]. Upravljači tj. komponente se direktno spajaju na I²C magistralu bez dodavanja dodatnih komponenata.

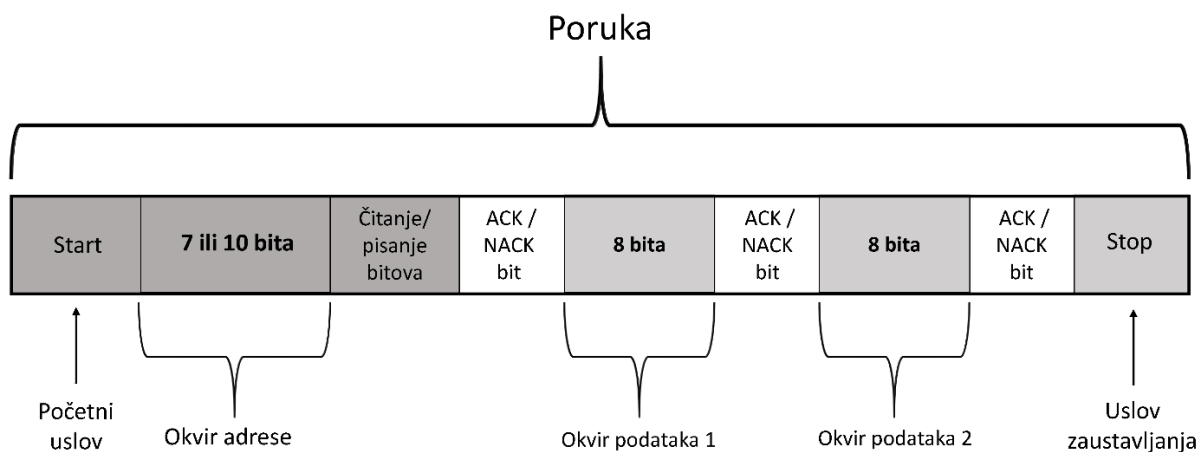
Jedna od najvećih prednosti I²C što koristi dve linije za prenos podataka. SDA serijski podaci (engl. *Serial Data*) je linija koju upravljač i izvršitelj koriste za slanje i primanje podataka, dok je SCL (engl. *Serial Clock*) linija koja prenosi signal sata. I²C je serijski komunikacioni protokol, tako da se podaci prenose bit po bit duž jednog kanala (SDA linije). Izlaz bitova sinhronizovan je sa uzorkovanjem bitova pomoću taktnog signala koji dele upravljač i izvršitelj. Signal sata uvek kontroliše upravljački uređaj. SDA i SCL linije su preko otpornika povezani na visok naponski nivo.

Neke karakteristike I²C magistrale:

- potrebne su samo dve linije za komunikaciju: SDA i SCL;

- svaki uređaj povezan na magistralu je softverski adresiran jedinstvenom adresom i jednostavni odnos upravljač/cilj postoji u svakom trenutku;
- serijski, 8-bitni orijentisani, dvosmerni prenos podataka može da se izvrši brzinom do 100 kbit/s u standardnom režimu, do 400 kbit/s u brzom režimu, do 1 Mbit/s u *Fast-mode Plus*, do 3,4 Mbit/s u režimu velike brzine;
- serijski, 8-bitni orijentisani, jednosmerni prenos podataka do 5 Mbit/s u ultra brzom režimu;
- filtriranje na čipu odbija skokove na liniji podataka magistrale kako bi se sačuvao integritet podataka;
- broj uređaja koji se mogu povezati na istu magistralu ograničen je maksimalnim kapacitetom magistrale [210].

Kod I²C magistrale podaci se prenose u porukama (slika 24). Poruke su razbijene u okvire podataka. Svaka poruka ima adresni okvir koji sadrži binarnu adresu izvršitelja i jedan ili više okvira podataka koje sadrže podatke koji se prenose. Poruka, takođe uključuje uslove za početak i zaustavljanje tj. bitove za početak i zaustavljanje, bitove za čitanje/upisivanje i ACK/NACK bitove između svakog okvira podataka.



Slika 24. Princip prenosa podataka korišenjem I²C

Početni uslov: SDA linija prelazi sa visokog na niski naponski nivo, pre nego da SCL linija prebaci sa visokog na niski naponski nivo.

Adresni okvir: sekvenca od 7 ili 10 bita jedinstvena je za svakog izvršitelja koji ga identifikuje kada upravljački uređaj želi da komunicira sa njim. Najčešće su 7-bitne, dok se kod novih standarda koriste i 10-bitne adrese.

Bit za čitanje/pisanje: jedan bit određuje da li upravljač šalje podatke izvršitelju (niski naponski nivo) ili zahteva podatke od njega (visoki naponski nivo).

ACK/NACK bit: Svaki okvir u poruci prati bit potvrde ACK (engl. *acknowledgment*) ili negativni bit NACK (engl. *negative-acknowledgement*). Ako je okvir adrese ili okvir podataka uspešno primljen, ACK bit se vraća pošiljaocu sa uređaja koji prima. Ukoliko nijedan izvršitelj ne prepozna adresu, rezultat je NACK bit. U ovom slučaju, upravljač mora da prekine zahtev jer ne postoji uređaj sa kojim bi komunicirao [211].

Uslov zaustavljanja: SDA linija prelazi sa niskog na visoki naponski nivo nakon što se SCL linija prebacuje sa niskog na visoki naponski nivo.

I²C nema linije za odabir izvršitelja (kao što ima *Serial Peripheral Interface* komunikacioni protokol) tako da mu je potreban drugi način da obavesti izvršitelja da se podaci šalju njemu, a ne drugom izvršitelju, što se postiže preko adrese. Adresni okvir se uvek nalazi odmah nakon početnog bita (početni uslov) u novoj poruci.

Upravljač šalje svakom izvršitelju koji je povezan sa njim adresu onog izvršitelja sa kojim želi da komunicira. Svaki od izvršitelja tada upoređuje adresu poslatu od strane upravljača sa svojom adresom. Ako se adresa poklapa, ona šalje niskonaponski ACK bit nazad upravljaču. Ako se adresa ne poklapa, izvršitelj ne radi ništa i SDA linija ostaje na visokom naponu.

Adresni okvir uključuje jedan bit na kraju koji obaveštava izvršitelja da li upravljač želi da upiše podatke u njega ili da prima podatke od njega. Ako upravljač želi da pošalje podatke izvršitelja, bit za čitanje/upisivanje je niskog napona. Ako upravljač zahteva podatke od izvršitelja, bit je visokog napona.

Nakon što upravljač detektuje ACK bit izvršitelja, prvi okvir podataka je spreman za slanje. Okvir podataka je uvek dug 8 bita i prvi se šalje sa najvažnijim bitom. Svaki okvir podataka je praćen ACK/NACK bitom da bi se proverilo da li je okvir uspešno primljen. ACK bit mora da primi ili upravljač ili izvršitelj (u zavisnosti od toga ko šalje podatke) pre nego što se sledeći okvir podataka može poslati.

Nakon što su svi okviri podataka poslani, upravljač može poslati uslov zaustavljanja izvršitelju da zaustavi prenos. Uslov zaustavljanja jeste prelaz sa niskog na visoki naponski nivo na SDA liniji nakon prelaska niskog na visoki naponski nivo na SCL liniji, pri čemu SCL linija ostaje na visokom naponskom nivou [211].

Prednosti korišćenja I²C za povezivanje sa određenim uređajima:

- koristi samo dve žice;

- podržava više upravljača i izvršitelja;
- ACK/NACK bit daje potvrdu da je svaki okvir uspešno prenet i
- dobro poznat i široko korišćen protokol koji omogućava projektovanje složenih mernih sistema koji koriste standardne komponente [211].

2.5.7.1 Povezivanje jednog upravljača i više izvršitelja

Pošto I²C koristi adresiranje, više izvršitelja može se kontrolisati sa jednim upravljačem. Sa 7-bitnom adresom, dostupno je 128 jedinstvenih adresa. Korišćenje 10-bitnih adresa je ređe i obezbeđuje 1024 jedinstvenih adresa. Za povezivanje više izvršitelja sa jednim upravljačem, potrebno ih je povezati otpornicima od 4,7 k Ω koji povezuju SDA i SCL linije na bateriju (Vcc) [211].

2.5.7.2 Povezivanje više upravljača i više izvršitelja

Više upravljača može biti povezano sa jednim ili više izvršitelja. Problem sa više upravljača u istom sistemu nastaje kada upravljači pokušaju da pošalju ili prime podatke u isto vreme preko SDA linije. Da bi rešio ovaj problem, potrebno je da svaki upravljač utvrdi da li je SDA linija niskog ili visokog napona pre nego što pošalje poruku. Ako je SDA linija niskog naponskog nivoa, to znači da drugi upravljač ima kontrolu nad magistralom, i da je potrebno da taj upravljač sačeka da bi poslao poruku. Ako je SDA linija visokog nivoa napona, onda je bezbedno preneti poruku [211]. U slučaju da više upravljačkih uređaja počnu kominikaciju dolazi do „sudara“ i tada se pokreće „arbitriranje“ (engl. *arbitration*), postupak koji osigurava da jedan upravljač kontroliše magistralu.

Pri povezivanju više upravljača sa više izvršitelja koriste se otpornici od 4,7 Ω koji povezuju SDA i SCL linije na Vcc [211].

2.6 Pregled dostignuća na području pametne sportske odeće za praćenje toplotnog opterećenja sportista

Za određivanje toplotnog stanja tokom sportskih aktivnosti, autori su pratili promene parametara, kao što su: unutrašnja temperatura [212 – 214], temperatura kože [213 -217] količina znoja [212, 218]. Određivanje temperature mikroklike odeće može da ponudi

jednostavan način da se utvrdi da li se ljudi osećaju prijatno u odeći koju nose [2]. Različiti temperaturni senzori integrisani u tekstil i odeću, nosivi uređaji i medicinski uređaji danas su dostupni za merenje temperature kože, unutrašnje temperature i proizvodnje znoja.

Nosivi uređaj u obliku ručnog sata razvijen je sa ciljem praćenja toplotne udobnosti. Ovaj nosivi uređaj može da radi 4 sata koristeći bateriju od 6 V. Korišćeni senzor je sposoban za automatsku prirodnu ventilaciju integracijom termopneumatskih aktuatora malih dimenzija [218].

Takođe je razvijen nosivi uređaj za snimanje i dugotrajno praćenje vitalnih funkcija osobe (elektrokardiogram, krvni pritisak i temperatura kože) i akcelerometar. Problem kod ovog nosivog uređaja jesu artefakti u svim snimljenim podacima [219].

Nosivi uređaj koji se nosi u ušima i meri temperaturu iz bubne membrane razvijen je i testiran u poređenju sa dva komercijalna ušna termometra. Tačnost merenja je povećana premazivanjem grafenskim mastilom sočiva infracrvenog senzora. Ovaj nosivi uređaj je proizveden korišćenjem tehnologije 3D štampanja. Za obradu signala korišćen je *Arduino Pro mini*, a signal je prenošen *Bluetooth*-om. Kao izvor napajanja korišćena je litijumska baterija od 3,7 V i 85 mAh. Dobijeni rezultati ukazuju da je ovaj nosivi uređaj pokazao veću tačnost u poređenju sa drugim ušnim termometrima [220].

Loša strana korišćenja nosivih uređaja koji se pričvršćavaju na telo tokom dužih fizičkih aktivnosti je mogućnost iritacije kože.

Testirana je upotreba tekstilnih elektronskih pređa (E-pređe) koje se koriste za merenje temperature kože tokom biciklističkih trka. Pametna odeća je nastala pričvršćivanjem E-pređa na komercijalno dostupna biciklistička odela. Rezultati temperature kože su zabeleženi korišćenjem E-pređa i termistora postavljenih na kožu. Zabeležene su razlike temperature kože izmerenim E-pređom i termistorom do čak 5,9 °C. Došlo je do problema prilikom kidanja E-pređe i prateće hardver opreme što je rezultovalo poteškoćama prilikom prikupljanja podataka. Najčešći kvar bili su konektori korišćeni za pričvršćivanje E-pređe na hardverske module. Pored toga, greška u merenju je nastala zbog lošeg kontakta između kože i E-pređe [13].

Proizvedeno je više minijaturnih temperaturnih senzora postavljenih na pređu. Pređe su lagane i imaju dobru fleksibilnost. Ovi senzori rade u temperaturnom opsegu od 30 °C do 42 °C ako se koristi odgovarajuća termo-provodljiva pasta. Pasta mora imati dobar temperaturni koeficijent i odgovarajuću linearnost [221].

Temperatura kože je merena korišćenjem pametne pređe ugrađene u pametne odevne predmete (narukvice, rukavice i čarape). Problem koji se javio pri korišćenju pametne pređe je

taj da svaka pametna tkanina izrađena korišćenjem ovih pređa mora biti projektovana prema tački pritiska u trenutku kada se vrše merenja. Pored toga, dizajn odevnih predmeta takođe mora biti prilagođen prema zahtevima pređe [12].

Tekstilni senzor je realizovan na tekstilnom materijalu primenom tehnologije štampe i premaza. Senzor omogućava pasivna merenja zapremine tečnosti znoja. Testirana je izvodljivost spajanja dve različite tehnike, impedanse i principa *transient plane source* (TPS). Oba principa senzora su testirana praćenjem sušenja mokre tkanine gde merenja pokazuju savršenu ponovljivost, tačnost i mogućnost merenja zapremina znoja manjih od 0,5 ml [16].

Pametna pletenina sa ugrađenim senzorom temperature za praćenje fizioloških parametara čoveka proizvedena je na pletačkoj mašini ugradnjom fine metalne žice kao senzorskog elementa u dvoslojnu poliestarsku pleteninu. Ova pletenina određuje temperaturu na osnovu promene električnog otpora u metalnoj žici. Testirana je u laboratorijskim uslovima pri različitim temperaturama okoline i zaključeno je da vlažnost ne utiče na tačnost senzora, ali na performanse senzora mogu uticati pokreti tela i disanje [222].

Pletenine osetljive na promenu temperature sa žičanim elementima od bakra, nikla i volframa pokazuje otpornost u rasponu od $3 \div 130 \Omega$. Autori navode da pletenina ima dobru zateznu čvrstoću. Izveden je matematički odnos između temperature i otpora pletenih senzora i to se može koristiti za optimizaciju njegovih dimenzija kako bi se postigao ciljani referentni otpor. Pletenina sa senzorom temperature može se integrisati u odevne predmete za kontinuirano merenje temperature kože za različite primene kao što su: sport, vojska, zdravstvo, kao i za procenu toplotnog opterećenja u ekstremnim klimatskim uslovima [223].

Izvesni autori [15] su integrisanim tekstilnim senzorima u majicama dugih rukava i pantalonama uskog kroja pratili aktivnosti i fiziološke parametre sportiste. Glavni fokus je bio na očitavanju EKG, iako je pronađena mogućnost merenja temperature. TPU film je korišćen za pričvršćivanje elektroda na željenom mestu zbog kompresije između gumene površine koja sprečava da tkanina klizi preko kože i za obezbeđivanje međusobnog kontakta. Autori navode da se javljaju problemi sa držanjem elektroda na predviđenom mestu, čak i pri blagim pomeranjem ruku tako da je dalji cilj istraživanja bio pronalaženje boljeg načina fiksiranja elektroda bez smanjenja udobnosti nošenja.

MIPHAS je sistem [17] za monitoring koji ima za cilj kontinuirano praćenje sportista tokom fizičkih aktivnosti. Ovaj sistem se sastoji od tri komponente: pametne majice, elektronskog uređaja i nekoliko softverskih komponenti. Nosivi uređaj u koji su ugrađena

nekoliko senzora izrađen je od tkanine, dok je zadatak elektronskog uređaja bio prikupljanje podataka vitalnih parametara i prenos podataka u realnom vremenu do softverskih komponenti.

Od strane izvesnog autora predstavljena je pametna majica uskog kroja sa ugrađenim elektrodama za merenje otkucaja srca i pletenim tekstilnim senzorom vlage za detekciju znoja. Oni su naveli da su potrebni dalji eksperimenti kako bi se definisala konačna konfiguracija senzora vlage [224].

2.7 Pregled doktorskih disertacija iz oblasti nosive tehnologije i pametne odeće

U ovom poglavlju dat je kratak pregled doktorskih disertacija iz oblasti pametne odeće i nosive tehnologije za praćenje fizioloških parametara.

Sistem za praćenje temperature ljudskog tela tokom sportskih aktivnosti sadrži nosivi uređaj u koji je ugrađeno šest temperaturnih senzora i radio modul čiji je zadatak da šalje podatke udaljenom prijemniku povezanom sa personalnim računarom. Sistem sadrži M0 LORA *Adafruit Feather* mikrokontroler, 6 termistora i displej. Ekran omogućava praćenje temperature, statusa baterije i pouzdanosti bežične veze. Ako veza ne funkcioniše, nosivi uređaj beleži merenja u lokalnu memoriju. Termistori su povezani sa nosivim sistemom preko kablova približne dužine 1 m. Sistem prikuplja podatke i šalje ih prijemniku pomoću LORA modula. Pored toga, podaci se čuvaju i za naknadnu obradu. Među sensorima u izotermnim uslovima pronađeno je temperaturno odstupanje od oko 0,1 °C [225].

U doktorskoj disertaciji [226] prikazan je proces dizajniranja, razvoja i testiranja pametnog odevnog predmeta u koji su integrisani senzori za praćenje fizioloških parametara osobe (fotopletizmografija - PPG, galvanska reakcija kože i temperaturni parametri). Korišćeni senzori su jeftini, imaju malu potrošnju energije i ugrađeni su u narukvicu. Oni omogućavaju dugotrajno praćenje, čuvanje i emitovanje (*Bluetooth* komunikacija) fizioloških parametara, što je bitno kod mnogih hroničnih bolesti, neuroloških poremećaja i mentalnih bolesti.

Testiranje senzora je sprovedeno na deci koja boluju od ASD (pretkomorski defekt septum) korišćenjem fotopletizmografije optičke tehnike merenja koja služi za otkrivanje promene volumena krvi u mikrovaskularnom sloju tkiva. PPG je ekvivalentna merenju otkucaja srca i ima široku kliničku primenu u tehnologiji koja se koristi u komercijalnim medicinskim uređajima: oksimetri, vaskularna dijagnostika i digitalnim aparatima za merenje krvnog pritiska. Zaključeno je da ti signali imaju veliku mogućnost za neinvazivno prikupljanje

podataka. Iako se tipično koriste na vrhovima prstiju, ti signali se mogu prikupljati i na rukama/zglobovima tokom niza fizičkih aktivnosti ugradnjom senzora u pojasevima [226].

Doktorska disertacija [227] prikazuje razvoj pametnih odevnih predmeta: dve pametne majice, pametne kape i jakne osjetljive na dodir. Pametna kapa je izgrađena od mikrokontrolera, temperaturnog senzora i LED (engl. *light-emitting diode*) „zakrpa“, prekidača i baterije koji su sakriveni u unutrašnjost kape. Svetleće diode su locirane na gornjem spoljašnjem delu kape i svetle zelenom ili plavom bojom u zavisnosti od temperature okoline. Pametne majice su sposobne da međusobno komuniciraju. Prva majica ima aplikaciju na prednjoj strani u vidu nekoliko cvetova. U jednom od ovih cvetova smeštena je svetleća dioda, u drugom vibrirajući motor, a u trećem infracrveni primopredajnik (engl. *infrared transceiver*). Kod druge majice je hardver više izložen i vidljiv. Druga majica takođe sadrži infracrveni primopredajnik kao i prekidač na dodir i tri svetleće diode. Obe majice primaju infracrveni signal. Kada prva majica dobije signal, ona ponovi poruku, uključi vibrirajući motor i upozorava nosioca majice. Tada LED diode svetle u drugoj boji što označava da je poruka primljena. Druga majica šalje IR signal kad se prekidač uključi. Kada majica primi signal, displej šalje informaciju preko signala tri LED diode. Majica može biti programirana da upozori nosioca svaki put kad se druga majica nađe u blizini. Za povezivanje komponenti korišćen je provodljivi konac i trake dok su elektronske komponente našivene i „kamufilirane“ kao perlice.

Soundie je pametna jakna u koju su ugrađeni mikrokontroler u obliku „zakrpe“, zvučnik koji je pričvršćen šivenjem i jednostavni senzor na dodir. Ovaj senzor se sastoji od dve provodljive tkanine koje su našivene na jaknu. Jedna od njih je povezana na ulazni port a druga je povezana na uzemljenje (GND). Prva elektroda je smeštena tako da izlazi iz džepa jakne i dizajnirana je da ima izgled cvetnog motiva.

Kada je ljudsko telo (objekat) smešteno između elektrode (zakrpe) mikrokontroler prima analogni signal napona koji je proporcionalan otpornosti objekta. Ova jakna je programirana da generiše zvukove čija je visina tona proporcionalna otpornošću objekta koje detektuje senzor. Jakna je „nečujna“ dok senzor ne detektuje dodir, a kada „pišti“ sve glasnije to je jače pritiska njen nosilac (kako se povećava površina i pritisak kontakta kože i elektrode, tako se otpor smanjuje). Pored toga, jakna sadrži i drugu provodljivu zakrpu na rukavu, koja kada se pritisne na provodljivu elektrodu emituje niz zvukova [227].

Cyber-physiological sistem, u kombinaciji sa ugrađenim sistemom, bežičnom komunikacijom i Java platformom konstruisan je sa ciljem praćenja zdravlja korisnika. Fokus ovog sistema je neprestano praćenje i emitovanje informacija putem interneta korisnicima

široom sveta. Bežični čvor senzora je projektovan za spajanje i do 8 kanala senzora. Različiti senzori su testirani na čvoru senzora. Takođe je konstruisan sistem prikupljanja i čuvanja podataka. Korišćenje Java jezika čini ovaj sistem sposobnim za korišćenje na bilo kojoj računarskoj platformi [228].

Za dugotrajno praćenje fizioloških parametara van bolničkog okruženja, razvijen je nosivi sistem sa biomedicinskim sensorima koji su locirani na odgovarajućim pozicijama i nisu uočljivi. Cilj ove doktorske disertacije [229] bio je razvoj biomedicinskih senzora koji su bezšavno ugrađeni u tekstilni materijal za dugotrajno praćenje EKG signala i procesa disanja dok se izvršavaju svakodnevne aktivnosti kao što su hodanje, vežbanje, spavanje i sedenje.

Za EKG praćenje konstruisane su elektrode koje su ugrađene u netkani tekstilni materijal. Ove elektrode transformišu visoki ulazni signal u nisku impedansu preko izlaznog napona kola. Tekstilne elektrode se sastoje od sloja transduktora na površini materijala dok se ispod njih nalazi električno kolo. Transduktori i putevi signala postignuti su tehnikom sita štampe korišćenjem Ag/AgCl štamparske paste.

Praćenje procesa disanja omogućeno je tekstilnim sensorom na supstratu od netkanog tekstila. Elastični i neelastični netkani tekstilni materijali bočno su spojeni tehnikom ultrasoničnog spajanja (engl. *ultra sonic bonding*). Elastični netkani tekstilni materijal je korišćen za izradu grudnog pojasa i pojasa koji se postavlja na područje abdomena. Ovi pojasevi služe za praćenje procesa disanja što se postiže merenjem promene dužine senzora u određenom smeru i primenjenog naprezanja. Pravougaone ploče za kapacitivne senzore ili otvorene regulatorne spirale za induktivne senzore su aplicirane štampom (srebrna boja) na supstrat. Njihov relativni položaj se menja kada se aktivira elastični deo. Svaka ploča je prvobitno postavljena tako da se provodljiva područja minimalno preklapaju. Kada se rastegljivi deo uređaja koristi, ploče se pomeraju u suprotnim smerovima, menjajući efektivno područje a samim tim i vrednosti kapaciteta i induktivnosti. Ove razlike u kapacitetu ili induktivnosti se pretvaraju u izlazni napon u kolima koja su individualno projektovana za svaki senzor.

Osim dizajna koji se zasniva na dvostrukim supstratima, demonstriran je respiratorni induktivni senzor na jednom supstratu. Da bi se formiralo područje induktivne osetljivosti tanke magnetne žice su prišivene na rastegljivu podlogu od netkanog tekstilnog materijala. Tekstilni supstrati koji nose provodljive materijale se naknadno laminiraju kako bi se stabilizovala struktura i mehanički zaštitio senzor. Nakon toga, ovi nosivi senzori su transformisani u nosivi sistem za nadgledanje ljudske fiziologije [229].

Takođe je konstruisan sistem za praćenje kretanja sportista koji omogućava dugoročni lični pristup kao i procenu performansi i kinematičkih parametara koji se koriste u plivanju za karakterizaciju pokreta plivača. Sistem omogućava poređenje između iskusnih plivača i definisanje razlika između tehnika plivanja. Takođe, služi kao alternativni alat za praćenje rehabilitacije, davajući način za kvantifikaciju pokreta udova kod postmoždanog udara. Sistem se zasniva na modularnom pristupu, gde se nekoliko senzorskih modula moglo sastaviti i koristiti zajedno za prikupljanje informacija. Paralelno sa tim, svetlosno-optički senzor je konstruisan u svrhu merenja uglova ljudskih zglobova i sa ciljem da se ovaj senzor kasnije integriše u nosivi sistem.

Iskustva koja su potekla prilikom monitoringa plivanja pokazala su da inercijalni senzori mogu pružiti bitne informacije o performansama plivača preko praćenja promene uglova zglobova u određenim vremenskim periodima. Moguće je naći razliku u različitim stilovima plivanja analiziranjem prikupljenih podataka kretanja. Ovaj sistem koristio bi se i u oblasti rehabilitacije, kod subjekata nakon moždanog udara kako bi se uspostavile metode za analiziranje performansi gornjih ekstremiteta tokom postizanja određenih ciljeva [230].

Bežični biomedicinski uređaji malih dimenzija predstavljaju novu eru pristupačnih uređaja koji se koriste za praćenje zdravstvenog stanja. Fleksibilna elektronika igra ključnu ulogu u omogućavanju bežičnih medicinskih aplikacija za mobilni fiziološki nadzor. U disertaciji je predstavljeno prvo bežično, fleksibilno, integrisano rešenje za biomedicinske aplikacije. Uveden je okvir za modularni dizajn a ishod je prva fleksibilna i rastegljiva antena integrisana s biosenzorom i postavljena na ljudsku kožu.

Primeri prototipa uređaja uključuju proveru upotrebe lekova, EKG i fiziološki nadzor. Kombinacija sa senzorom omogućena je preko *Bluetooth* primopredajnika i pametnog telefona. Signali se prenose u oblak⁴ radi analize podataka. Ovaj sistem osmišljen je kao interaktivni alat koji omogućava korisnicima da upravljaju zdravim načinom života. Osim toga sistem omogućava povratne informacije u stvarnom vremenu između korisnika i doktora. Sledeća faza nakon testiranja prototipa, bila je minijaturizacija sistema [231].

U sledećoj disertaciji predstavljen je sistem zdravstvenog nadzora namenjen za proveru novih astronautskih odela. Ovaj sistem prati vitalne parametre vezane za zdravlje astronauta i uključuje prikupljanje i obradu podataka, bežični prenos, prikazivanje i evidentiranje. Korišćene su posebne tehnike za produžavanje trajanja baterije. Protokol komunikacije je preko

⁴ Skladištenje podataka u oblaku (engl. *cloud*) je usluga koja omogućava korisnicima da čuvaju i pristupaju svojim podacima na udaljenim serverima putem interneta.

bežične mreže sa više čvorova. Ugrađeni *web interfejs*⁵ za upravljanje sistemom i monitoring podataka koristi se za postizanje nezavisnosti i pouzdanosti platforme [232].

Fizička aktivnost kao što su trčanje, hodanje, itd. od suštinskog su značaja za održavanje zdravlja i sprečavanje kardiovaskularnih bolesti, dijabetesa i gojaznosti. Akutna procena fizičkih aktivnosti je od ključne važnosti za kvantitativno ocenjivanje tipa, intenziteta i trajanja fizičkih aktivnosti sa kojim se osoba bavi, i stoga je veliki interes za medicinsku i biološku istraživačku zajednicu. Konstruisani su i izrađeni više senzora koji su integrisani u nosivi merni sistem sa bežičnim prenosom podataka. Nosiva senzorna elektronika i računaska metoda, prikazana u radu, doprinose unapređenju vrhunskog stanja u proceni ljudske fizičke aktivnosti tako što će se: omogućiti merenje fizičke aktivnosti u realnom vremenu u životnim uslovima, poboljšati temeljno razumevanje mašine učenja na modelovanje fizičkih aktivnosti i pružanje tačnijih procena fizičkih aktivnosti od tradicionalnih metoda.

Predstavljen je dizajn nosivog, više-senzorskog integrisanog mernog sistema za merenje fizičke aktivnosti osobe u realnom vremenu. Dosta pažnje poklonjeno je istraživanju tehnike dekompozicije signala za uklanjanje artefakta iz prikupljenih signala. Predložen je algoritam zasnovan na uzajamnim kriterijumima informacija i snage za automatsko biranje odgovarajućih funkcija unutrašnjeg načina rada (IMF) za uklanjanje artefakta i rekonstrukciju signala [233].

⁵ Interfejs (engl. *interface*) je zajednička deljena granica, posredstvom koje dve ili više komponente računarskog sistema vrše razmenu informacija. Razmena informacija može se odvijati između softvera, hardverskih komponenti, perifernih uređaja, ljudi ili kao kombinacija navedenih.

3 EKSPERIMENTALNI DEO

3.1 Ciljevi i namena disertacije

Osnovni cilj disertacije je postavljanje teorijske osnove karakterizacije pletenih tekstilnih materijala i proces razvoja pametne majice koja omogućuje praćenje opterećenja fudbalera na osnovu nadgledanja temperaturnih parametara (temperature kože i mikrokline) parametara vlažnosti (vlažnost kože i mikrokline) kao i kretanja sportista.

Pored ovog, postavljeni su dodatni ciljevi:

- 1) odrediti vezu između parametara pletenih tekstilnih materijala (na osnovu karakterizacije materijala) i odaziva tela kod neposrednih sportskih aktivnosti,
- 2) odrediti značajne parametre (svojstva) pletenih tekstilnih materijala koji će omogućiti odgovarajuću toplotno-fiziološku, kožno-senzornu i ergonomsku udobnost pri nošenju i
- 3) na osnovu dobijenih rezultata sproveden je razvoj i realizacija pametne majice sa funkcijom praćenja opterećenja fudbalera pri različitim klimatskim uslovima u toku sportskih aktivnosti u cilju očuvanja zdravlja, povećanja sposobnosti i sprečavanja preopterećenosti tokom napornih sportskih aktivnosti.

3.2 Hipoteze disertacije

Istraživanje uticaja fizičkih i strukturnih parametara pletenih tekstilnih materijala na toplotno-fiziološku, ergonomsku i kožno-senzornu udobnost zasnovano je na osnovu sledećih hipoteza:

- da postoji uticaj fizičkih (debljine), strukturnih (površinske mase, gustine) i konstruktivih (prepletaja) parametara pletenina na toplotno-fiziološku, kožno-senzornu i ergonomsku udobnost pri nošenju,
- da postoji značajan uticaj primene procesa sublimacione transfer štampe na promenu fizičkih, strukturnih, mehaničkih i toplotnih svojstava pletenina,
- da postoji značajni uticaj primene procesa sublimacione transfer štampe na toplotno-fiziološku, kožno-senzornu i ergonomsku i udobnost pri nošenju i
- da će pametna majica omogućiti precizno i olakšano praćenje fizioloških parametara pri napornim fizičkim aktivnostima a pritom pružati veliku udobnost pri nošenju bez

ometanja kretanja sportista i na taj način omogućiti poboljšanja sportskih performansi i sprečiti nastanak toplotnih bolesti pružanjem upozorenja (kada telesna temperatura dostigne predviđenu vrednost koja je okarakterisana kao opasna po zdravlje).

3.3 Plan istraživanja

S obzirom na namenu ove disertacije da istraži opterećenje fudbalera tokom fizičkih aktivnosti u letnjem periodu, sprovedeće se brojna istraživanja kako na pletenim tekstilnim materijalima tako i na realizovanim modelima sportskih majica. Istraživanje je multidisciplinarno i podeljeno u četiri celine.

Prvi deo istraživanja obuhvata objektivnu karakterizaciju materijala:

- a) ispitivanja mehaničkih, fizičkih i toplotnih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenih tekstilnih materijala namenjenih za izradu sportskih majica za fudbalere,
- b) uticaj sublimacione transfer štampe na promenu mehaničkih, fizičkih i toplotnih svojstava pletenih tekstilnih materijala namenjenih za izradu sportskih majica za fudbalere.

U drugom delu izvršiće se odabir najpovoljnijih pletenih tekstilnih materijala za izradu sportske majice, dizajniranje sportske majice za fudbalere različitih strukturnih i konstrukcijskih rešenja, sirovinskih sastava i 3D simulacija majica za fudbalere korišćenjem *OptiTex* programske i računarske opreme.

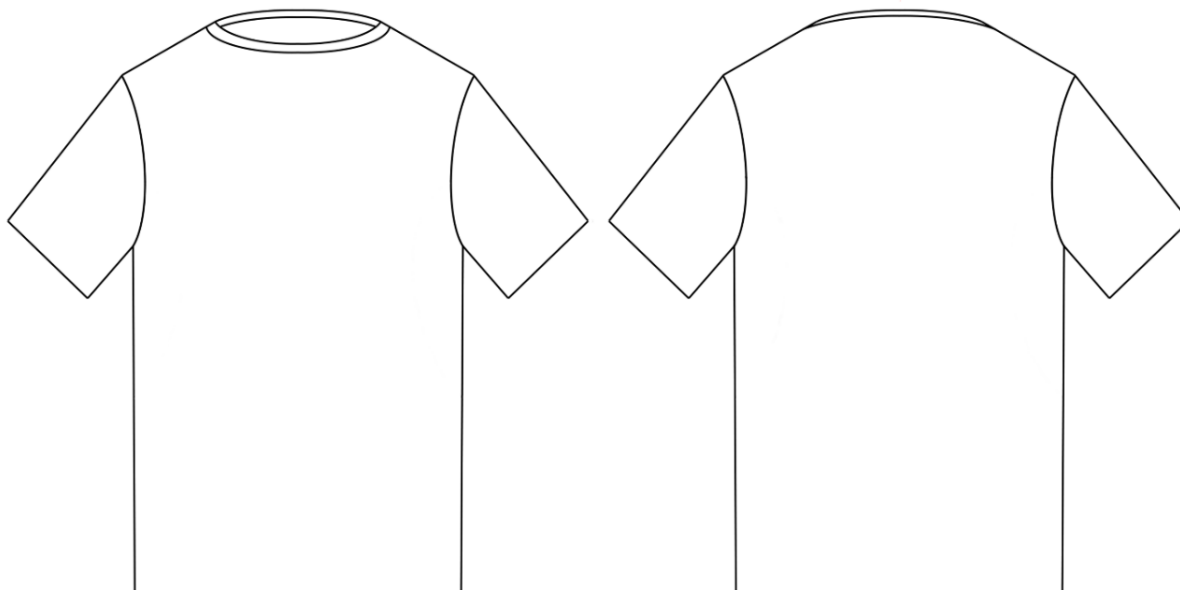
U trećem delu planirana su fiziološka i ergonomska ispitivanja u klima komori i ispitivanja kretanja fudbalera korišćenjem „*Motion Capture Systems*“ (modifikovano snimanje ukupnog kretanja tela u tri dimenzije).

Na osnovu dobijenih rezultata sproveden je razvoj pametne majice za praćenje opterećenja fudbalera tokom fizičkih aktivnosti što bi bilo u četvrtom delu istraživanja. Pametna majica ima mogućnost praćenja fizioloških parametara tj. temperature mikroklimе, vlažnosti kože i mikroklimе kao i parametara kretanja fudbalera. Pametna majica će se testirati od strane profesionalnih i sportista amatera u klimatski kontrolisanim uslovima.

3.4 Odabir odeće za eksperimente

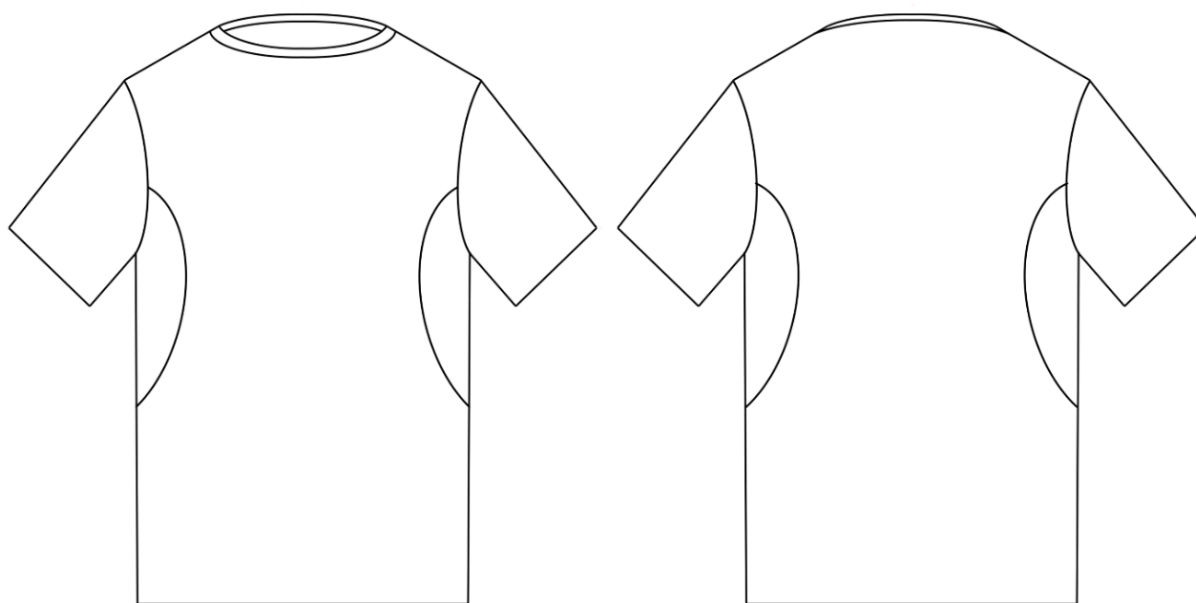
Dizajnirano je tri modela majica za fudbalere koje su predviđene za letnji period. Ove majice su šireg kroja i imaju kratke rukave.

Model 1 (slika 25) je izrađen od deset različitih pletenina. Ove majice su korišćene pri ocenjivanju toplotno-fiziološke i ergonomske udobnosti tokom sportskih aktivnosti.



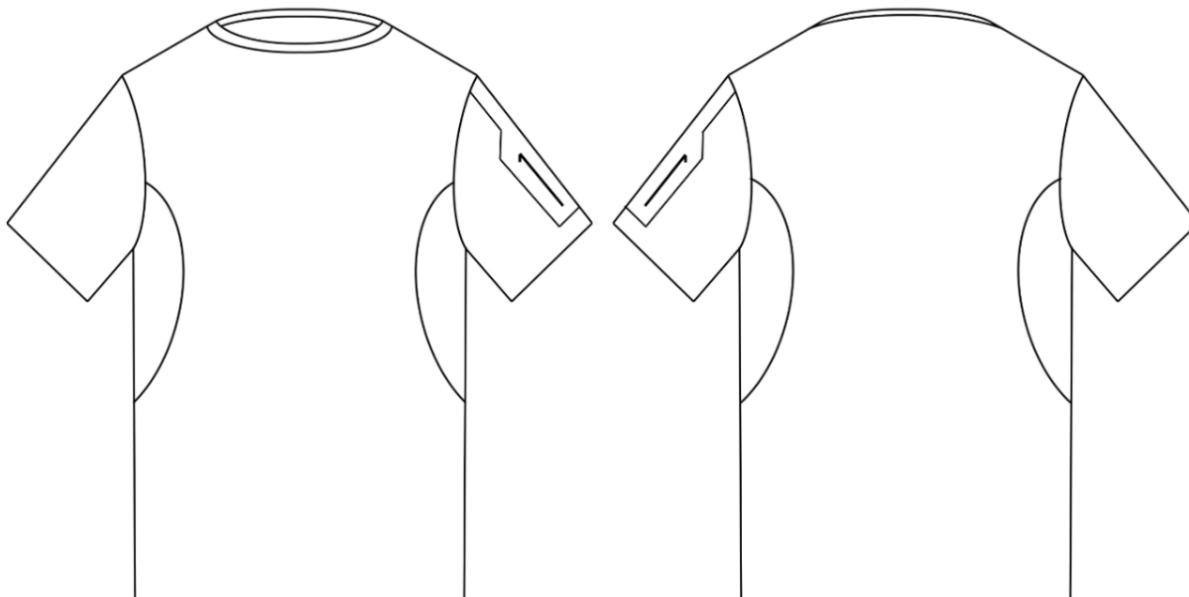
Slika 25. Tehnički crtež modela 1

Model 2 (slika 26) je izrađen od dve vrste pletenina (PES pletenina i PES mrežica). Radi poboljšanja cirkulacije vazduha i postizanja efekta hlađenja, ispod pazuha je ugrađena pletenina sa mrežastom strukturom. Ovaj model je korišćen za realizaciju prvog prototipa pametne majice. U PES pleteni tekstilni materijal integrisani su senzori i druge elektronske komponente što je omogućilo postizanje „pametne“ funkcije.



Slika 26. Tehnički crtež modela 2

Kod modela 3 (slika 27) takođe ispod pazuha je postavljena pletenina sa mrežastom strukturom. Korišćen je za izradu drugog prototipa pametne majice. Razlika ovog u odnosu na model 2 je da se na levom rukavu nalazi džep sa dva patent zatvarača sa ciljem lakšeg pristupa elektronskim komponentama koje su smeštene u džepu (fleksibilna štampana ploča sa integrisanim mikrokontrolerom i F-RAM-om).



Slika 27. Tehnički crtež modela 3

3.5 Odabir osoba za eksperimente

Za potrebe eksperimenata ispitivanja uticaja svojstava pletenina na toplotnu, ergonomsku, mehaničku, kožno-senzornu udobnost, sveukupnu udobost pri nošenju sportskih majica i dva prototipa pametne majice učestvovalo je 6 testnih osoba (tabela 10). Sve testne osobe su zdrave, pre eksperimenta su bile odmorne, nisu konzumirale hranu, piće ni lekove.

Tabela 10. Informacije o testnim osobama

Oznaka testne osobe	Visina tela [cm]	Masa tela [kg]	Starost [godine]	Pol
1	186	82,4	24	Muški
2	172	76,6	25	Muški
3	171	63,2	30	Ženski
4	176	67,5	22	Ženski
5	185	80,2	25	Muški
6	182	79,1	23	Muški

3.6 Upotrebljeni pleteni tekstilni materijali

Za potrebe istraživanja je izrađeno trinaest pletenih tekstilnih materijala različitih strukturnih i konstruktivnih karakteristika kao i različitog sirovinskog sastava. Od toga, sedam su konvencionalne pletenine, dok su ostale šest funkcionalne pletenine (oznaka 08, 09, 10, 11, 12 i 13) izrađene od vlakana sa mogućnošću toplotne regulacije. Za izradu pletenina korišćena su poliestarska, poliamidna, elastanska i pamučna vlakna.

Karakteristike ispitivanih pletenina prikazane su u tabeli 11.

Tabela 11. Parametri pletenih tekstilnih materijala

Vrsta pletenine	Oznaka pletenine	Prepletaj	Sirovinski sastav	Podužna masa pređe T_t [tex]	Gustina pletenine			Debljina pletenine h [mm]	Površinska masa W [g·m ⁻²]
					Horizontalna D_h [cm ⁻¹]	Vertikalna D_v [cm ⁻¹]	Ukupna D_u [cm ⁻²]		
Konvencionalne pletenine	01	Interlok 1:1	PES	7,40	16,0	21,5	344,00	0,312	131,62
	02	Interlok1:1	PES	7,40	16,3	10,5	171,15	0,382	127,49
	03	Interlok	PES	7,04 3,60	16,5	11,8	194,70	0,280	135,19
	04	Interlok Pike	50% PES	7,40	16,0	15,9	254,40	0,666	157,6
			50% Co	17,35					
	05	Desno-desni (saće)	PES	7,40	18,7	11,3	211,93	0,497	123,87
	06	Desno-desni 1:1	PES	11,11	15,5	18,0	279,00	0,330	134,50
07	Desno-levi	Co	19,46	15,0	21,0	315,00	0,432	158,32	
Funkcionalne pletenine*	08	Pike (Mrežica)	80% PA	8,2	30,0	42,0	1260,00	0,518	177,37
			20% EL	2,2					
	09	Pike	45% Outlast / 45% PES	9,38	11,5	25,0	287,50	0,539	144,71
			10% EL	2,2					
	10	Dupli pike	PES Coolmax	8,83	12,4	5,4	67,00	0,694	156,51
	11	Desno-desni 1:1	65% PES mikro / 35% CW Outlast	17,71	11,0	15,0	165,00	0,499	151,00
	12	Desno-levi	95% Co	15,44	15,0	22,0	330,00	0,424	161,90
5% EL			2,2						
13	Desno-levi (Perlfang)	86% PA	19,38	11,5	18	207,00	0,474	196,57	
		14% EL	2,2						

*Pletenine koje sadrže materijale promene faze.

3.7 Postupak štampanja pletenina tehnikom sublimacione transfer štampe

Sportska odeća, posebno ona namenjena grupnim sportovima i raznim takmičenjima, štampa se u svrhu ukrašavanja ili obeležavanja odeće (brojevi ili imena takmičara, timova i sponzora i sl.). Tom prilikom štampa često pokriva veliku površinu odevnog predmeta.

Nakon pregleda literature, može se zaključiti da je malo pažnje posvećeno promenama strukturnih i fizičkih svojstava tekstilnih materijala, do kojih dolazi nakon primene postupka sublimacione štampe. Pored toga, nisu sprovedena istraživanja na polju promene svojstava pletenina štampanih sublimacionom transfer štamptom namenjenih proizvodnji sportske odeće visokih performansi. Iz tih razloga, ovo istraživanje je sprovedeno sa ciljem da se istraži uticaj sublimacione štampe na promene strukturnih i fizičkih svojstava kao i razlike boje različitih pletenih tekstilnih materijala namenjenih proizvodnji sportske odeće visokih performansi. Odabrana je tehnika sublimacione štampe iz razloga što je to brz proces, pruža dobru postojanost boja i mogućnost prenosa uzoraka ili određenog dizajna na odevni predmet ili krojne delove [87].

Sve pletenine štampane su u CMYK kolor modelu, što se odnosi na korišćenje četiri boja u kolor štampi: cian (*Cyan*), magenta (*Magenta*), žuta (*Yellow*) i crna (*Key*). U skladu sa ovim, štampane pletenine imaju oznaku boja C, M, Y i K i broj pletenine, a bez štampe imaju oznaku W (*White*) i broj pletenine.

Za štampanje papira je korišćen *EPSON L1800 Piezo* elektronski inkdžet (engl. *inkjet*) štampač. Proces štampe je izveden korišćenjem rezolucije štampe od 7760×1440 dpi. Transfer papir (površinske mase $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) *Ventus Master 100* kompanije *Canapa* korišćen je za PES pletenine, dok je sublimacioni transfer papir *Skiimage* (površinske mase $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) korišćen za pamučne i Co/PES pletenine. Sublimaciona boja, pod trgovačkim nazivom: *Sublisplash* (*Splashjet-Super-Sub-6C*) kompanije *Print Ekuipment GmbH & Co* i digitalna toplotna presa model *SHP-15/20/24LP2MS* korišćeni su za fiksiranje boje.

Fiksiranje PES pletenina vršeno je na $185 \text{ }^\circ\text{C}$ tokom 120 sekundi, dok je za pamučne i Co/PES pletenine postupak izveden na $190 \text{ }^\circ\text{C}$ tokom 35 sekundi. Pritisak je bio 12 kPa.

Za pamučne i Co/PES pletenine korišćen je sublimacioni prah (*Copolymer Thermal Transfer Adhesive Powder*, proizvođača *Shenzhen Tunsing Plastic Products Co., Ltd*). Prah je kopolimer etilen-vinil acetata sa adhezivnim svojstvima. Odštampani papir, dok je boja još uvek bila mokra, provlačio se kroz posudu sa sublimacionim prahom. Prosečna količina

sublimacionog praha iznosila je 1,4 g za uzorak pletenine dimenzije 30 × 30 cm. Proces fiksiranja je izveden nakon modifikacije.

3.8 Primenjene metode, standardi i aparati za ispitivanja pletenina

U ovom poglavlju biće navedene metode, standardi i aparati za ispitivanje pletenih tekstilnih materijala. Pre ispitivanja uzorci pletenina su bili kondicionirani u roku od 24 h pri temperaturi okoline od 20 ± 2 °C i relativnoj vlažnosti vazduha od 65 ± 2 % prema ISO 139:2005 standardu [234].

3.8.1 Ispitivanje strukturnih parametara pletenina

Ispitivanje strukturnih svojstava pletenina izvršeno je prema standardima:

- gustina pletenih tekstilnih materijala EN 14971:2006 [235],
- površinska masa pletenih tekstilnih materijala ISO 3801 [236],
- debljina pletenih tekstilnih materijala ISO 5084 [237].

Za određivanje površinske mase pletenina korišćena je analitička vaga (slika 28) *Adventurer* proizvođača *Ohaus* (*Parsippany, New Jersey, Sjedinjene Američke Države*).



Slika 28. Analitička vaga



Slika 29. Aparat za merenje debljine tekstilnih materijala

Za određivanje debljine uzoraka pletenih tekstilnih materijala korišćen je *Hildebrand MarCator 1075R* (*Mahr GmbH, Göttingen, Nemačka*) meri uređaj (slika 29).

3.8.2 Određivanje sadržaja vlage pletenih tekstilnih materijala

Za određivanje relativne vlažnosti odnosno sadržaja vlage pletenih tekstilnih materijala korišćen je *HC103 Moisture Analyzer* (*Mettler Toledo, Švajcarska*) meri uređaj (slika 30).

Sadržaj vlage u uzorku pletenine prikazan je u procentima. Na početku testiranja meri uređaj prikaže na ekranu masu klimatizovanog uzorka (tj. početna masa $WW = 100\%$). Na kraju testiranja uređaj na ekranu prikazuje sadržaj vlage koji je označen kao *MC* (engl. *moisture content*).

Sadržaj vlage je računat po formuli 9.

3.8.3 Određivanje propustljivosti vazduha pletenih tekstilnih materijala

Propustljivost vazduha je značajna karakteristika tekstilnih materijala i predstavlja važni pokazatelj poroznosti i toplotnih svojstava upotrebljenih materijala. Na vrednosti propustljivosti vazduha pletenih tekstilnih materijala mogu uticati različiti fizički i strukturni parametri kao što su: sirovinski sastav, prepletaj, debljina, površinska masa, gustina itd.

Određivanje propustljivosti vazduha je izvršeno na aparatu *Akustron Air Permeability* (*Thwing-Albert, Nemačka*) prema ISO 9237:1995 standardu [238]. Na svakom uzorku izvršeno je deset merenja (i izračunata srednja vrednost) na aparatu koji je prikazan na slici 31.



Slika 30. Aparat za merenje sadržaja vlage



Slika 31. Aparat za merenje propustljivosti vazduha

3.8.4 Određivanje dimenzione stabilnosti pletenih tekstilnih materijala

Dimenziona stabilnost tekstilnog materijala može se definisati kao promena dimenzija tekstilnih materijala do koje dolazi kada se uzorak izloži različitim uslovima okoline kao što su toplota ili vlaga.

Određivanje dimenzione stabilnosti tekstilnih materijala vrši se prema FAST-4 metodi. Prema ovoj metodi uzorak tekstilnog materijala (30 cm × 30 cm) se podvrgava uticaju toplote u sušioniku u trajanju od 60 min pri temperaturi od 105 °C. Merenje dimenzija u uzdužnom i poprečnom smeru (dužina Δ1) vrši se u roku od 30 s. Zatim se suvi uzorak uvodi u vodeno kupatilo uz dodatak 0,1 % nejonskog omekšivača ili praška za pranje pri temperaturi od 25 °C do 30 °C. Posle 30 min uzorak se postavlja na glatku površinu, polako pritiska da bi se uklonio višak vode i meri se dimenzija mokrog tj. relaksiranog uzorka (dužina Δ2). Nakon, ponovnog izlaganja uzorka delovanju toplote u intervalu od 60 min pri temperaturi od 105 °C, vrši se merenje dimenzija osušenog uzorka u intervalu od 30 s (dužina Δ3).

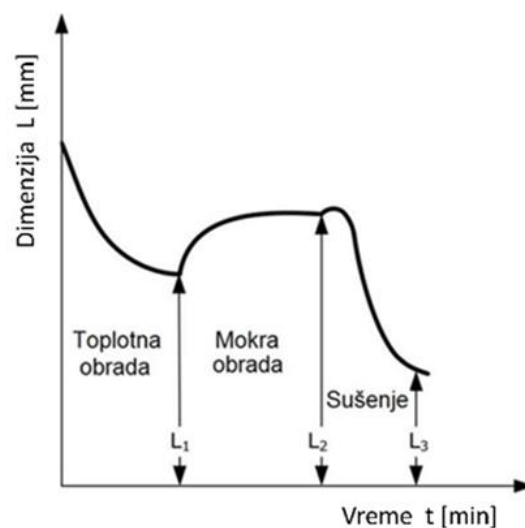
Na slici 32 je prikazan tok ispitivanja [239].

Korišćenjem FAST-4 metode utvrđuju se dve bitne komponente dimenzione stabilnosti i to: relaksaciono skupljanje *RS* (engl. *Relaxation Shrinkage*) i rastezanje u vlažnom stanju *HE* (engl. *Hygral Exspension*).

Relaksaciono skupljanje *RS* može se definisati kao promena dimenzije uzorka tekstilnog materijala nakon primene toplotne i mokre obrade. Opisuje se kao odnos dimenzija suvog uzorka nakon toplotne dorade i dimezije osušenog uzorka nakon mokre obrade.

Relaksaciono skupljanje *RS* se određuje po izrazu:

$$RS = \frac{L_1 - L_3}{L_1} \cdot 100 \quad (17)$$



Slika 32. Dijagram toka ispitivanja dimenzione stabilnosti tekstilnih materijala, preuzeto iz Geršak 2014. [239]

RS - relaksaciono skupljanje [%],

L_1 - dimenzija uzorka nakon toplotne obrade [mm],

L_2 - dimenzija uzorka nakon toplotne obrade i pre sušenja [mm].

Istezanje u vlažnom stanju HE prema FAST-4 metodi predstavlja promenu dimenzije uzorka nakon mokre obrade i izračunava se prema izrazu:

$$HE = \frac{L_2 - L_3}{L_3} \cdot 100 \quad (18)$$

gde su:

HE - rastezanje u vlažnom stanju [%],

L_3 - dimenzija uzorka nakon mokre obrade i sušenja [mm].

3.8.5 Ispitivanje razlike boje ΔE^* pletenih tekstilnih materijala štampanih tehnikom sublimacione transfer štampe

Za merenje razlike boja korišćen je spektrofotometar, model *Spectraflash SF600 PLUS* kompanije *Datacolor* (*Lawrenceville, New Jersey, Sjedinjene Američke Države*). Merenja su zasnovana na sistemu *CIElab*, a vrednosti razlike boje su dobijene prema jednačini 5. Geometrija merenja je bila $d/8^\circ$. UV filter je isključen i spekularni uključen. Tokom ispitivanja štampanih pletenina korišćen je standardni izvor svetlosti D65. Uzorci su mereni jednom koristeći prikaz velike površine (LAV).

3.8.6 Analiza slika uzoraka pletenih tekstilnih materijala

Za praćenje promene strukture pletenih tekstilnih materijala nakon primene sublimacione transfer štampe korišćen je stereo mikroskop *Leica WILD M10* (*Wetzlar, Nemačka*) pri uvećanju 37,5 puta.

3.8.7 Ispitivanje mehaničkih i fizičkih parametara pletenih tekstilnih materijala primenom KES-FB sistema

Objektivno vrednovanje opipa tekstilnih materijala pomoću KES-FB sistema zasniva se na merenju mehaničkih i fizičkih svojstava.

Mehanička i fizička svojstva pletenina ispitana su pomoću KES-FB sistema, koji se sastoji iz četiri merna uređaja, na osnovu merenja 16 mehaničkih, fizičkih i strukturnih svojstava, koja se mogu podeliti u 6 grupa:

- zatezna svojstva,
- svojstva savijanja,
- svojstva smicanja,
- kompresijska svojstva,
- površinska svojstva,
- masa i debljina.

Prve četiri grupe obuhvataju mehanička svojstva, peta grupa se odnosi na fizička svojstva dok se šesta grupa odnosi na strukturna svojstva tekstilnih materijala.

KES-FB merni sistem se sastoji od:

- a) KES-FB1 AUTO mernog uređaja za merenje zateznih i svojstava smicanja,
- b) KES-FB2 AUTO mernog uređaja za merenje svojstava savijanja,
- c) KES-FB3 AUTO mernog uređaja za merenje kompresijskih svojstava,
- d) KES-FB4 AUTO mernog uređaja za merenje površinskih svojstava.

U tabeli 12 dat je pregled parametara mehaničkih i fizičkih svojstava koja se određuju ovim mernim sistemom [239].

Tabela 12. Pregled parametara mehaničkih i fizičkih svojstava određenih pomoću KES-FB mernog sistema [239]

Svojstva	Oznaka	Karakteristični parametri	Jedinica*
Zatezna svojstva	<i>WT</i>	Deformacijski rad	$\text{cN}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}$
	<i>RT</i>	Sposobnost oporavka	%
	<i>LT</i>	Linearnost kive $F(\varepsilon)$	-
Svojstva savijanja	<i>B</i>	Krutost savijanja	$\text{cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$
	<i>2HB</i>	Histereza momenta savijanja	$\text{cN}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}$
Svojstva smicanja	<i>G</i>	Krutost pri smicanju	$\text{cN}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{st}^{-1}$
	<i>2HG</i>	Histereza sile smicanja kod ugla smicanja $\pm 0,5^\circ$	$\text{cN}\cdot\text{cm}^{-1}$
	<i>2HG5</i>	Histereza sile smicanja kod ugla smicanja $\pm 5,0^\circ$	$\text{cN}\cdot\text{cm}^{-1}$
Kompresijska svojstva	<i>WC</i>	Deformacijski rad pri kompresiji	$\text{cN}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}$
	<i>RC</i>	Sposobnost oporavka	%
	<i>LC</i>	Linearnost krive $F_k(h)$	-
Površinska svojstva	<i>MIU</i>	Koeficijent površinskog trenja	-
	<i>MMD</i>	Prosečna vrednost apsolutnog odstupanja koeficijenta trenja <i>MIU</i>	-
	<i>SMD</i>	Geometrijska hrapavost	μm
Debljina	<i>h</i>	Debljina tekstilnog materijala pri opterećenju od $0,49 \text{ cN}\cdot\text{cm}^{-2}$	mm
Masa	<i>W</i>	Masa po jedinici površine	$\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$

*Jedinice parametara mehaničkih svojstava su izvorne jedinice dobijene pomoću KES-FB AUTO mernog uređaja, gde je opterećenje izraženo kao sila na jedinicu širine ispitivanog uzorka.

3.8.7.1 Određivanje zateznih i svojstava smicanja pletenina KES-FB1 AUTO mernim uređajem

Merenje zateznih i svojstava smicanja vršeno je na KES-FB1 AUTO mernom uređaju (slika 33).

Uzorak pletenine efektivnih dimenzija $50 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ je učvršćen između dve stege od toga je jedna fiksna a druga se pomera određenom brzinom. Tokom testiranja uzorak se

postavlja u smeru redova i na njega deluje konstantna sila istežanja $F_m=490,35 \text{ cN}\cdot\text{cm}^{-1}$. Kada je postignuta maksimalna sila zatezanja, pokretna stega menja smer kretanja odnosno dolazi do rasterećenja uzorka.



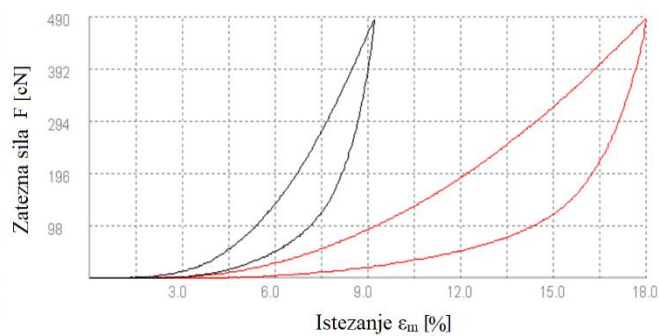
Slika 33. KES-FB1 AUTO merni uređaj za merenje zateznih i svojstava smicanja

U toku testiranja meri se otpor koji uzorak pruža zateznom opterećenju i određuje se istežanje EMT u zavisnosti od sile istežanja F_m [239].

Parametri zateznih svojstava: linearnost LT , deformacijski rad WT , sposobnost relaksacije RT i izduženje EMT , utvrđuju se na osnovu krive zatezno opterećenje-rasterećenje (slika 34b).



a)



b)

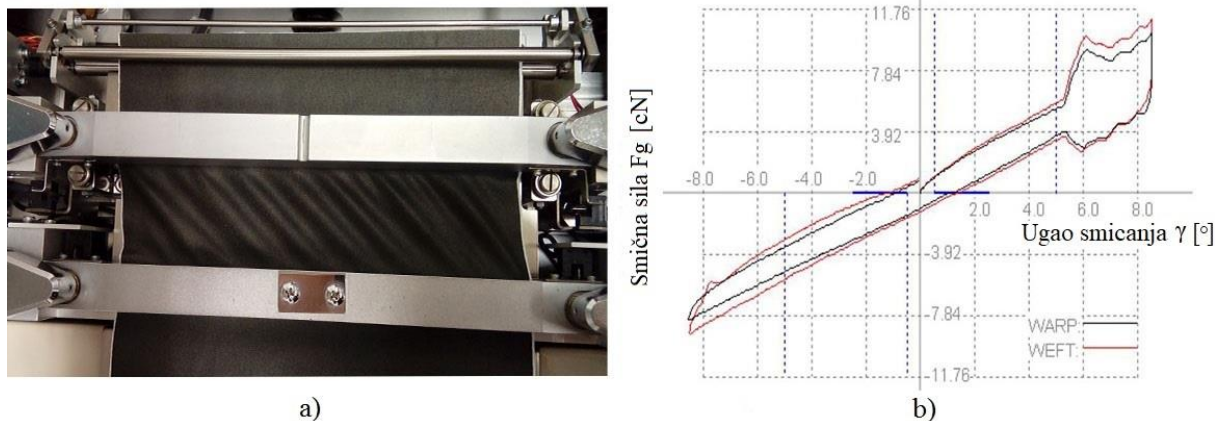
Slika 34. KES-FB1 AUTO uređaj

a) zatezna deformacija i b) kriva zateznog opterećenja-rasterećenja uzorka pletenine

Pri određivanju svojstava smicanja tekstilnih materijala pomoću KES-FB1 AUTO mernog uređaja efektivna dimenzija ispitivanog uzorka iznosi $50 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$. Prilikom testiranja, na uzorak se deluje silom smicanja pri predopterećenju od $9,807 \text{ cN}\cdot\text{cm}^{-1}$. Kada pokretna stega dospe u položaj od $+8^\circ$ ona menja smer kretanja i pokreće se u suprotnom smeru dok ne postigne ugao smicanja do -8° . Rezultati svojstava smicanja tekstilnih materijala dati su

u vidu parametara: krutosti pri smicanju G , histereze sile smicanja kod ugla smicanja $\pm 0,5^\circ$ $2HG$ i histereze sile smicanja kod ugla smicanja $\pm 5,0^\circ$ $2HG5$ [239].

Na slici 35b prikazana je deformacija smicanja uzorka kod ugla γ između -8° i $+8^\circ$.



Slika 35. KES-FB1 AUTO merni uređaj:

a) testiranje uzorka pletenine i b) histereza deformacije pri smicanju uzorka

3.8.7.2 Određivanje svojstava savijanja pletenina KES-FB2 AUTO mernim uređajem

Prilikom merenja svojstava savijanja tekstilnih materijala pomoću KES-FB2 AUTO (slika 36) mernog uređaja, testira se uzorak efektivnih dimenzija $10 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ na kojem se određuje savojna deformacija. Materijal se smešta između dve stege koje se kreću po kružnoj liniji.

Određivanje savojnih svojstava tekstilnog materijala zasniva se na merenju momenta savijanja M u zavisnosti od zakrivljenosti K (u području $K = 2,5 \text{ cm}^{-1}$ i $K = -2,5 \text{ cm}^{-1}$), pritom je brzina promene zakrivljenosti konstantna i iznosi $0,5 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Rezultat ispitivanja svojstava savijanja dobija se u obliku histereze savijanja. Na osnovu dobijene krive određuju se parametri savijanja: krutost savijanja B i histereza momenta savijanja $2HB$.

Histereza momenta savijanja $2HB$ definiše se kao širina histereze momenta savijanja i opisuje se kao razlika vrednosti momenta savijanja neophodnog za savojnu deformaciju i momenta savijanja tokom procesa rasterećenja.

Krutost savijanja B se određuje kao tangens ugla nagiba momenta savijanja-zakrivljenost $M(K)$ između zakrivljenosti $K = 0,5 \text{ cm}^{-1}$ i $K = 1,5 \text{ cm}^{-1}$ za stranu lica i između $K = -0,5 \text{ cm}^{-1}$ i $K = -1,5 \text{ cm}^{-1}$ za stranu naličja tekstilnog materijala, odnosno kao odnos promena momenta savijanja ΔM i promene zakrivljenosti ΔK [239].



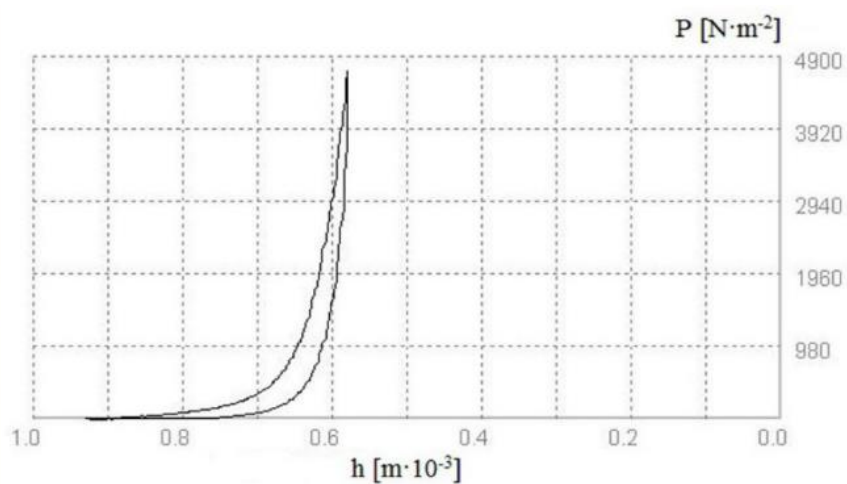
Slika 36. KES-FB2 AUTO merni uređaj za merenje svojstava savijanja

3.8.7.3 Određivanje kompresijskih svojstava KES-FB3 AUTO mernim uređajem

Pri određivanju kompresijskih svojstava pomoću KES-FB3 AUTO (slika 37a) uzorak (efektivne površine 2 cm^2) se izlaže delovanju kompresijske sile. Na uzorak se deluje vertikalno konstantnim kompresijskim opterećenjem od $20 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, dok se u slučaju izuzetno tankih tekstilnih materijala koristi opterećenje od $6,66 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. U trenutku kada se postigne kompresijsko opterećenje od $49,035 \text{ cN}\cdot\text{cm}^{-2}$, prestaje se sa opterećenjem i pri tome uređaj meri promenu debljine u reverzibilnom procesu.



a)



b)

Slika 37. a) KES-FB3 AUTO merni uređaj za merenje kompresijskih svojstava

b) dijagram kompresijskih svojstava

Na osnovu histerezne krive $F_k(h)$ (slika 37b) određuju se karakteristični kompresijski parametri: deformacijski rad (WC), linearnost krive (LC) i sposobnosti oporavka (RC). Pored

ovih, u kompresijska svojstva tekstilnih materijala spadaju: debljine (h_0 i h_m), kompresibilnost (C) i specifična zapremina (V_{sp}).

Veza između debljine tekstilnog materijala h i kompresijskog opterećenja F_k izražava se sledećim izrazom:

$$h = \frac{k}{\sqrt[3]{F_k}} \quad (19)$$

gde je:

k – konstanta proporcionalnosti [-],

F_k – kompresijska sila po jedinici površine [cN].

Kompresibilnost pletenina izračunava se prema sledećem izrazu:

$$C = \frac{h_0 - h_m}{h_0} \quad (20)$$

gde je:

C – kompresibilnost [-],

h_0 – debljina određena pri kompresijskom opterećenju od 0,490 cN·cm⁻² [mm],

h_m - debljina određena pri kompresijskom opterećenju od 49,035 cN·cm⁻² [mm].

Specifična zapremina⁶ tekstilnih materijala izračunava se po sledećem izrazu:

$$V_{sp} = \frac{h_0}{W} \quad (21)$$

gde je:

V_{sp} – specifična zapremina [cm³·g⁻¹],

W – površinska masa [g·cm⁻²],

h_0 – debljina određena pri kompresijskom opterećenju od 0,490 cN·cm⁻² [cm].

3.8.7.4 Određivanje površinskih svojstava pletenina KES-FB4 AUTO mernim uređajem

Površinska svojstva povezana su sa glatkoćom tekstilnih materijala i predstavljena su koeficijentom površinskog trenja (MIU), prosečnom vrednošću apsolutnog odstupanja koeficijenta površinskog trenja (MMD) i geometrijskom hrapavošću (SMD). Parametri

⁶ Specifična zapremina je fizička veličina koja izražava koliko zapremine zauzme jedinica mase supstance.

površinskih svojstava tekstilnih materijala su odraz njihove površine i utiču na opip i izgled tekstilnog materijala.

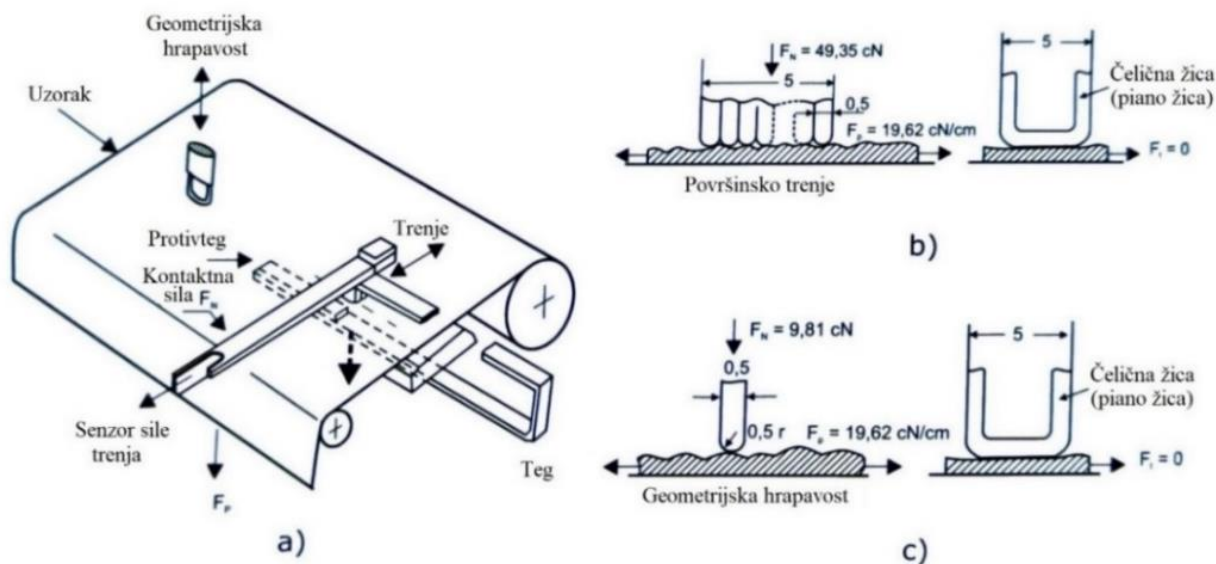
Merenja površinskih svojstava tekstilnih materijala (*MIU*, *MMD* i *SMD*) vrše se pomoću KES-FB4 AUTO mernog uređaja (sa dva senzora) prikazanog na slici 38.

Tokom merenja uzorak je pričvršćen između dve stege, i pokreće se po metalnoj ploči na razmaku po 20 mm i pri brzini od $0,1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ dok se na njega vrši predopterećenje od $F_p = 19,62 \text{ cN}$ (20 gf na jedinicu od 1 cm).



Slika 38. KES-FB4 AUTO merni uređaj
za merenje površinskih svojstava

Na slici 39 je prikazan princip merenja površinskih svojstava pomoću KES-FB mernog uređaja.



Slika 39. Princip merenja površinskih svojstava pomoću KES-FB4 AUTO mernog uređaja:

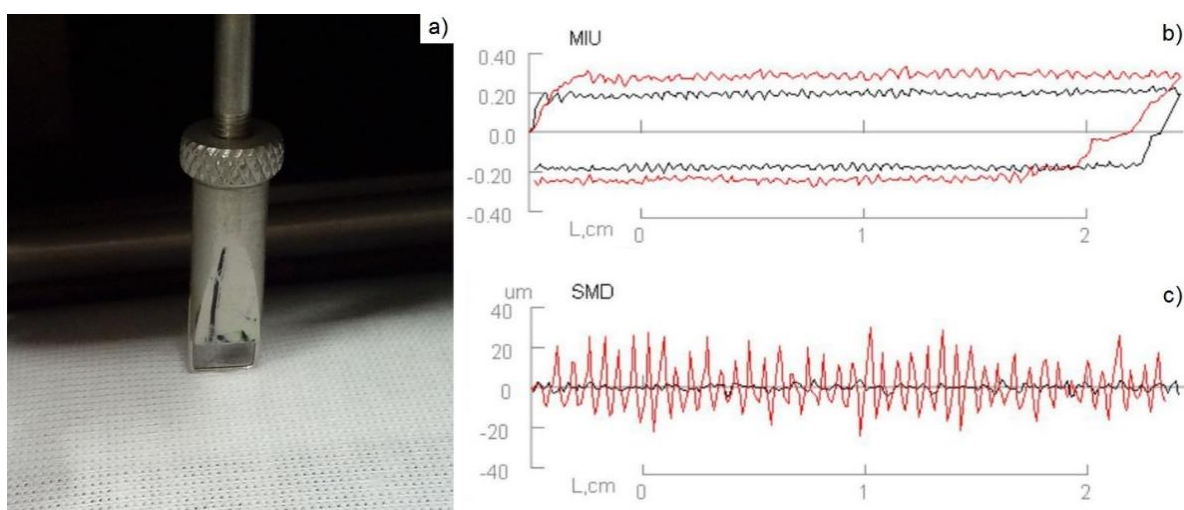
- a) šematski prikaz delovanja mernog uređaja, b) senzor za merenje površinskog trenja i
- c) senzor za merenje geometrijske hrapavosti,

preuzeto iz Geršak 2014. [239]

Senzor se sastoji iz deset žica (prečnika 0,5 mm) međusobno spojenih i oblikovanih u slovo U (što simulira vrh ljudskog prsta) i koristi se za merenje površinskog trenja. Ovaj senzor deluje na uzorak konstantnom silom od $F_N=49,035$ cN.

Prilikom merenja geometrijske hrapavosti, koristi se poseban senzor prikazan na slici 40a. Ovaj senzor je izrađen od čelične žice prečnika 0,5 mm oblikovane u slovo U, koji tokom testiranja deluje na uzorak silom od $F_N=9,807$ cN.

Na slici 40 prikazan je senzor za merenje geometrijske hrapavosti (KES-FB4), dijagrami geometrijske hrapavosti i površinskog trenja dobijeni pomoću KES-FB4 AUTO uređaja.



Slika 40. KES-FB4 AUTO: a) senzor za merenje geometrijske hrapavosti, b) dijagram površinskog trenja i c) prosečna vrednost koeficijenta površinskog trenja

Geometrijska hrapavost *SMD* definisana je kao variranje u debljini tekstilnog materijala, odnosno promena u strukturi tekstilnog materijala koja se razlikuje od ravne površine.

Odnos sile trenja koja deluje na površinu tekstilnog materijala i konstantne sile kojom senzor deluje na uzorak tekstilnog materijala (srednja vrednost koeficijenta trenja) definiše se kao površinsko trenje *MIU*.

Prosečna vrednost apsolutnog odstupanja koeficijenta površinskog trenja (*MMD*) iskazuje se kao variranje sile trenja pri kretanju senzora po površini tekstilnog materijala [239].

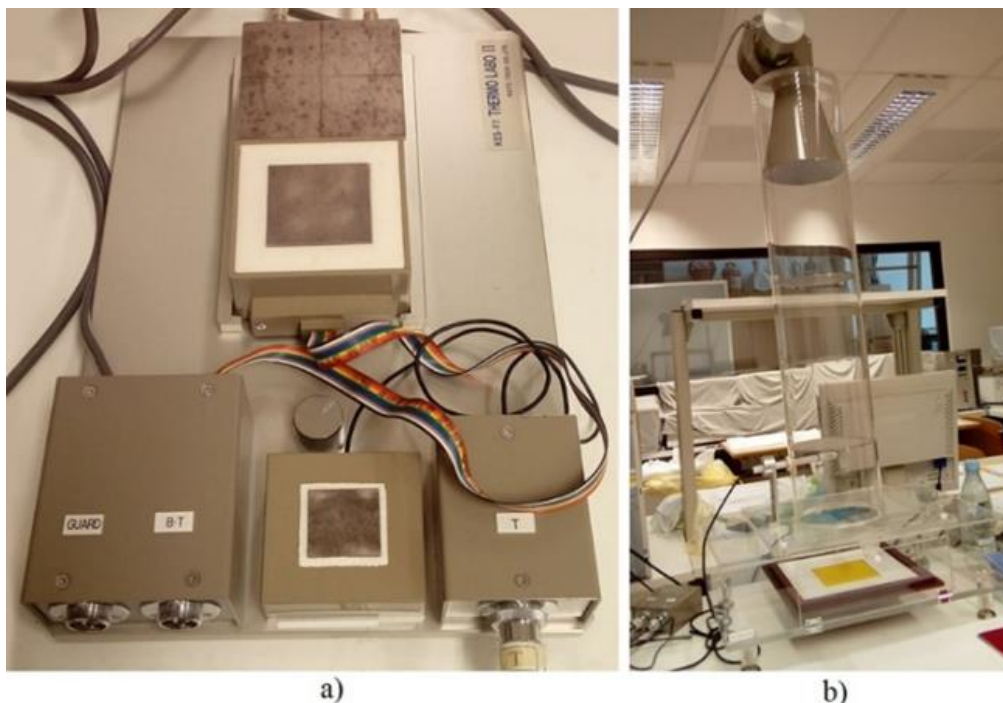
3.8.8 Ispitivanje toplotnih svojstava pletenina

Za ispitivanja toplotnih svojstava pletenih tekstilnih materijala korišćen je KES-F7 (*Thermo labo II*) uređaj pomoću kojeg su određena sledeća svojstva:

- toplo-hladni osećaj q_{max} ,
- koeficijent toplotne provodljivosti λ ,
- koeficijent sposobnosti zadržavanja toplote α ,
- toplotna otpornost tekstilnih materijala (toplotna izolacija) R_{ct} i
- otpor tekstilnog materijala protoku vodene pare R_{et} .

Merni uređaj KES-F7 sastoji se iz sledećih komponenti (slika 41):

- mernih tela T i BT,
- većeg mernog tela BT u aerodinamičkom tunelu,
- mernog tela sa vodom VT i
- aerodinamičkog tunela.



Slika 41. Sastavni delovi mernog uređaja KES-F7
za određivanje toplotnih svojstava tekstilnih materijala:

a) merna tela T i BT i merno telo sa vodom i b) veće merno telo BT u aerodinamičkom tunelu

Merno telo T upotrebljava se za merenje toplo-hladnog osećaja q_{max} gde je u bakarnoj ploči smešten toplotni senzor. Njegova masa iznosi 90 g i ima površinu 9 cm².

U mernom telu BT nalazi se toplotni izvor i sastoji se iz BT i kontrolne ploče. Ovo telo se upotrebljava za merenje konstantne toplotne provodljivosti. Njegova masa iznosi 150 g, ima površinu 25 cm² i debljinu 1 mm.

Merno telo sa vodom služi za održavanje temperature prilikom merenja toplo-hladnog osećaja i konstantne toplotne provodljivosti. Voda koja ima konstantnu temperaturu kruži unutar ovog tela.

Veće merno telo tj. BT ploča je smeštena unutar aerodinamičkog tunela i ona se tokom merenja zagreva. Princip merenja je sličan kao kod manjeg BT tela s tim što je razlika u površini (površina je 100 cm²). U aerodinamičkom tunelu se meri gubitak toplote na osnovu čega se određuju: koeficijent zadržavanja toplote, toplotni otpor i otpor tekstilnih materijala protoku vodene pare.

3.8.8.1 Određivanje toplo-hladnog osećaja pletenina

BT ploča (se zagreva na 35 °C - temperaturu kože čoveka), merno telo T i merno telo sa vodom VT se koriste za određivanje toplo-hladnog osećaja (q_{max}).

Kada BT ploča dostigne 35 °C ova ploča se položi na T ploču, nakon toga kada T ploča dostigne istu temperaturu postavlja se na uzorak pletenine (50 mm × 50 mm) koji je položen na telo sa vodom. Nakon toga sa zaslona se očitava dobijena vrednost q_{max} , koja je bezdimenziona vrednost i predstavlja osećaj međusobnog delovanja kože i odeće.

Niže vrednosti q_{max} sugerišu da odeća proizvedena od testiranog tekstilnog materijala obezbeđuje topli osećaj pri nošenju odeće, dok više ukazuju na hladni osećaj.

3.8.8.2 Određivanje koeficijenta toplotne provodljivosti tekstilnih materijala

Za merenje koeficijenta toplotne provodljivosti λ koristi se BT telo koje se zagreva na 35 °C i merno telo sa vodom VT koje ima temperaturu od 35,3 °C. Uzorak se postavlja na telo sa vodom licem na gore, nakon toga se na njega polaže BT telo i očitava se vrednost toplotnog toka ϕ . Na osnovu očitane vrednosti toplotnog toka izračunava se konstantna toplotna provodljivost λ prema izrazu:

$$\lambda = \frac{\phi \cdot h}{A \cdot \Delta T} \quad (22)$$

gde je:

λ - konstantna toplotna provodljivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

A – površina BT ploče [$0,0025 \text{ m}^2$],

h – debljina materijala [m] koja se očitava sa KES-F3 dijagrama pri opterećenju od 6 gf·cm⁻²,

ΔT – razlika temperature BT ploče [K] i temperature okoline [K],

ϕ - toplotni tok kroz tekstilni materijal [W].

Konstanta toplotne otpornosti ili toplotna izolacija tekstilnog materijala ili odeće određuje se prema izrazu:

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (23)$$

gde je:

R – konstanta toplotne otpornosti [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],

h – debljina materijala [m],

λ – koeficijent toplotne provodljivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

3.8.8.3 Određivanje toplotne otpornosti pletenina

Određivanje toplotne otpornosti (R_{ct}) ili toplotne izolacije tekstilnih materijala izvodi se po suvoj kontaktnoj ili bezkontaktnoj metodi. Toplotna otpornost tekstilnih materijala određuje se po sledećem izrazu:

$$R_{ct} = \frac{(T_s - T_a) \cdot A}{H_{ct}} \quad (24)$$

gde je:

R_{ct} – toplotna otpornost tekstilnih materijala [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],

H_{ct} – suvi toplotni tok koji prolazi kroz tekstilni materijal [W],

A – površina BT ploče [m^2],

T_{BT} – temperatura BT ploče [K],

T_a – temperatura vazduha u aerodinamičkom tunelu [K].

3.8.8.4 Određivanje otpora tekstilnog materijala protoku vodene pare

Određivanje otpora tekstilnog materijala protoku vodene (R_{et}) pare se vrši po kontaktnoj ili beskontaktnoj metodi prema izrazu:

$$R_{et} = \frac{(p_s - p_a) \cdot A}{H_{et}} \quad (25)$$

gde je:

R_{et} – otpor tekstilnog materijala protoku vodene pare [$\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$],

H_{et} – ispareni toplotni tok [W],

A – površina BT ploče [m²],

p_s – parcijalni pritisak na BT ploči [Pa],

p_a – parcijalni pritisak u aerodinamičkom tunelu [Pa].

3.8.9 Uslovi i metode testiranja toplotno-fizioloških svojstava odeće

Za realizaciju modela majice 1 odabrano je deset pletenih tekstilnih materijala (Tabela 11) oznaka 03, 04, 05, 07, 08, 09, 10, 11, 12 i 13. Majice su izrađene po istom kroju i iste veličine. Za izradu majica korišćene su dve konvencionalne pletenine od poliestarske pređe, jedna konvencionalna pletenina od pamučne pređe, jedna je dvoslojna pletenina izrađena od poliestarske i pamučne pređe dok su ostale šest funkcionalne pletenine izrađene od vlakna sa mogućnošću toplotne regulacije (oznaka 08, 09, 10, 11, 12 i 13).

Razmatran je uticaj sirovinskog sastava i strukturnih parametara pletenih tekstilnih materijala na toplotno-fiziološku udobnost pri nošenju sportskih majica.

Prilikom testiranja toplotno-fizioloških svojstava odeće atmosferski uslovi su bili veštački postignuti u klima komori.

Klima komora u kojoj su sprovedena testiranja nalazi se na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Mariboru (*Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru*), Slovenija. Ova klima komora izrađena je na Institutu „Zoran Rant“ Škofija Loka, Slovenija. U klima komori moguća je simulacija od izuzetno niskih do visokih temperaturnih vrednosti (od -30 °C do +50 °C), dok relativna vlažnost vazduha može da varira od 25 % do 95 %, a brzina kretanja vazduha od 0 do 1,2 m·s⁻¹.

Izbor atmosferskih uslova je izvršen na osnovu prosečnih vrednosti temperature i relativne vlažnosti u toku juna, jula i avgusta za 2017., 2018. i 2019. godinu za teritoriju Beograda, Novog Sada i Niša prema rezultatima koje je objavio Republički hidrometeorološki zavod Srbije [240]. Uslovi okoline u klima komori su bili: temperatura okoline 20 °C, relativna vlažnost vazduha 50 % i brzina kretanja vazduha 0,5 m·s⁻¹.

Za ispitivanja toplotno-fizioloških svojstava odeće odabrana je muška osoba (testna osoba 1) koja se amaterski bavi fudbalom. Pre testiranja testna osoba je bila odmorna, nije pila tečnost, niti je jela.

Testiranje toplotno-fizioloških svojstava sportske odeće u klima komori je vršeno prema protokolu A prikazanog u Prilogu.

3.8.10 Ispitivanje fizioloških parametara tokom fizičkih aktivnosti

Za merenje fizioloških parametara tokom sportskih aktivnosti korišćen je *MSR 12 Modular Signal Recorder* merni uređaj firme *MSR-Electronic* (Seuzach, Švajcarska) [241].

MSR 12 uređaj sadrži senzore koji omogućavaju praćenje sledećih fizioloških parametara:

- temperature kože,
- vlažnosti kože i
- srčane frekvencije.

Tokom testiranja uređaj (smešten u torbi oko struka, slika 42) beleži podatke dva puta u minuti, oni se čuvaju u memoriji uređaja, a nakon završenog testiranja podaci se prebacuju na personalni računar.

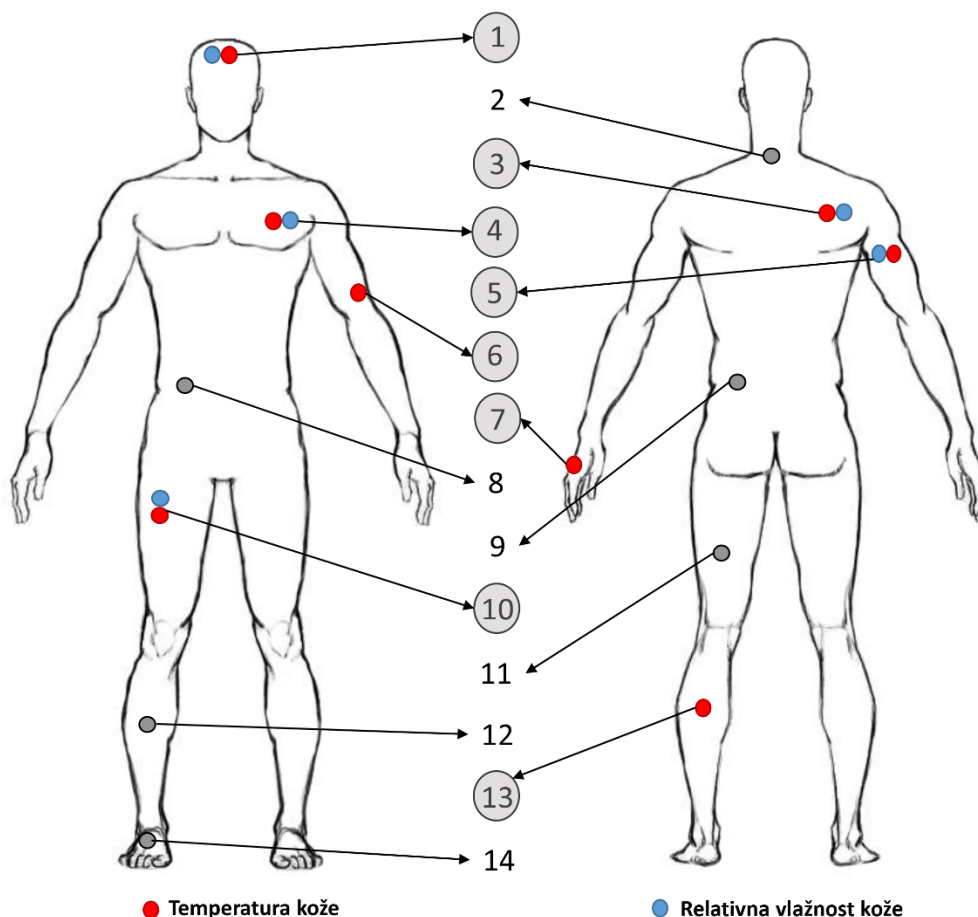


Slika 42. Testna osoba sa *MSR 12* uređajem pričvršćenim u posebnoj torbi oko struka

3.8.10.1 Određivanje temperature i relativne vlažnosti kože

Određivanje temperature i relativne vlažnosti kože *MSR 12 Modular Signal Recorder* mernim uređajem vršeno je po ISO 9886:2004 standardu [242]. Merenje temperature kože

vršeno je na 8 pozicija na telu testne osobe (na slici 43 su obeležene podebljanim slovima). Množenjem vrednosti svake od lokalnih temperatura sa koeficijentom koji odgovara površini tela koju predstavlja svaka merna tačka i zbirom ovih vrednosti dobija se srednja ponderisana temperatura kože.



Pozicija i oznaka senzora

Pozicija	Temp.	RH
1	T₁	RH₁
3	T₂	RH₂
4	T₃	RH₃
5	T₄	RH₄
6	T_{6.7}	
7	T_{6.8}	
10	T₅	RH₅
13	T_{6.9}	

- 1 – čelo
- 2 – vrat
- 3 – leđa (desna lopatica)
- 4 – grudi (leva strana)
- 5 – rame (desno, gornja pozicija)
- 6 – ruka (leva, donja pozicija)
- 7 – šaka (leva, spoljašnji deo)
- 8 – desna strana abdomena
- 9 – levi perevertebralni mišić
- 10 – butina (desna spreda)
- 11 – butina (leva pozadi)
- 12 – potkolenica (desna)
- 13 – list (levi, sredina)
- 14 – stoplao (desno)

Slika 43. Pozicije merenja temperature i relativne vlažnosti kože prema

ISO 9886:2004 standardu [242]

U tabeli 13 prikazani su koeficijenti za izračunavanje srednje ponderisane temperature kože.

Tabela 13. Koeficijenti za izračunavanje srednje ponderisane temperature kože

Oznaka merenja	Pozicije merenja	Koeficijent
1	Čelo (sredina)	0,070
3	Leđa (desna lopatica)	0,175
4	Grudi (leva strana)	0,175
5	Rame (desno, gornja pozicija)	0,070
6	Ruka (leva, donja pozicija)	0,070
7	Šaka (leva, spoljašnji deo)	0,050
10	Butina (desna spreda)	0,190
13	List (levi, sredina)	0,200

Za izračunavanje srednje ponderisane temperature kože koristi se sledeći izraz:

$$T_{pon} = T_{čelo} \cdot 0,070 + T_{leđa} \cdot 0,175 + T_{grudi} \cdot 0,175 + T_{rame} \cdot 0,070 + T_{ruka} \cdot 0,070 + T_{šaka} \cdot 0,050 + T_{butina} \cdot 0,190 + T_{list} \cdot 0,200 \quad [C^{\circ}] \quad (26)$$

Merenje relativne vlažnosti kože vršeno je na pet pozicija na telu testne osobe (slika 43). Podaci relativne vlažnosti su beleženi dva puta na minut. Na osnovu ovih podataka se izračunava srednja relativna vlažnost kože.

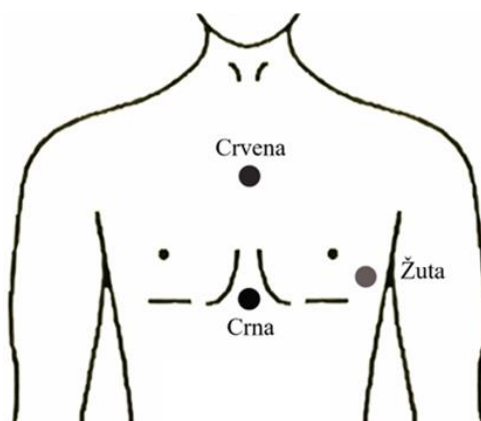
3.8.10.2 Određivanje srčane frekvencije tokom fizičkih aktivnosti

Fizička aktivnost, san, stres, konzumiranje lekova i bolest mogu uticati na promenu srčane frekvencije. Toplotno stanje organizma kao i atmosferski uslovi imaju veliki uticaj na vrednosti srčane frekvencije čoveka, naime povećana telesna temperatura dovodi do povećanih vrednosti srčane frekvencije [243]. U literaturi se navodi da normalna srčana frekvencija kod odraslih osoba u stanju mirovanja varira od 60 do 100 otkucaja u minutu [244].

Srčana frekvencija predstavlja važni fiziološki parametar koji je jasni pokazatelj opterećenja čoveka tokom fizičkih aktivnosti. Broj otkucaja srca po minuti raste tokom fizičke aktivnosti. Kod osoba starosti od dvadeset do trideset godina vrednosti srčane frekvencije u

toku fizičke aktivnosti kreću se u rasponu od 100 do 170 otkucaja u minutu, kod osoba u tridesetim godinama života se kreću u rasponu od 95 do 162 otkucaja u minutu, i sa porastom godina se ovaj raspon otkucaja srca smanjuje [244].

MSR 12 merni uređaj je korišćen za prikupljanje elektrokardiogram signala (EKG) pomoću elektroda koje su pozicionirane na tri lokacije (slika 44) prema ISO 9886:2004 standardu.



Slika 44. Pozicije merenja EKG signala

3.8.10.3 Određivanje količine isparenog i upijenog znoja

Izračunavanje količine isparenog znoja vrši se takođe prema ISO 9886:2004 standardu [242] tako što se od mase testne osobe pre ispitivanja oduzme masa testne osobe nakon testiranja. Količina upijenog znoja u odeći izračunava se tako što se meri masa odeće pre i nakon testiranja. Pre i nakon testiranja meri se masa nage testne osobe i sa odećom, kao i masa svakog odevnog predmeta pojedinačno.

U svrhu merenja mase testnih osoba korišćena je TPT3 elektronska vaga proizvođača *Libela* (Celje, Slovenija) sa tačnošću od $\pm 0,005$ kg. Za merenje mase odevnih predmeta korišćena je elektromehanička vaga E2100/5 istog proizvođača sa tačnošću $\pm 0,002$ kg.

Prema sledećim izrazima određuje se količina izlučenog i isparenog znoja:

$$m_{iz} = m_{ez} + (m_{o2} - m_{o1}) \quad (27)$$

$$m_{ez} = m_{t2} - m_{t1} \quad (28)$$

gde je:

m_{iz} – količina izlučenog znoja [g],

m_{ez} – količina isparenog znoja [g],

m_{t1} – telesna masa nage osobe pre testiranja [g],

m_{t2} – telesna masa nage osobe nakon testiranja [g],

m_{o1} – masa odeće pre testiranja [g],

m_{o2} – masa odeće nakon testiranja [g].

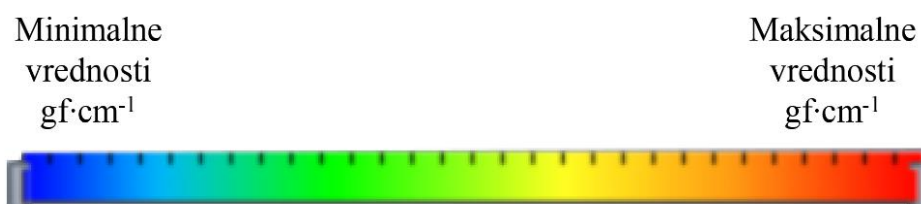
3.8.10.4 Subjektivna ocena toplotne udobnosti

Određivanje subjektivne ocene toplotne udobnosti je izvedeno prema zahtevima ISO 10551:1995 standarda [242]. Testne osobe su, u klimatski kontrolisanim uslovima (u klima komori) tokom fizičke aktivnosti opisane u protokolu, ocenjivale toplotnu udobnost. Ocenu subjektivne toplotne udobnosti su dale neposredno pre, u toku i nakon fizičke aktivnosti na osnovu upitnika datih u tabeli P-1 u Prilogu.

3.8.11 Ocenjivanje udobnosti odeće korišćenjem *OptiTex* programske opreme

Optitex računarska oprema je korišćena za izradu 3D simulacije modela majica za fudbalere, nakon čega je opcija *Tension map* korišćena za ocenjivanje „prianjanja“ tj. načina na koji odeća stoji na telu. *Tension map*, tj. obojena karta, daje uvid u vrednosti napetosti, istezanja i rastojanja između odeće i tela virtuelnog modela. Takođe, obojena karta daje vrednosoti (u $\text{gf}\cdot\text{cm}^{-1}$) napetosti koje odevni predmet vrši na telu virtuelnog modela (na deset tačaka). Veće vrednosti odgovaraju toplim bojama (crvena, narandžasta i žuta) dok manje vrednosti odgovaraju hladnim bojama (zelena i plava) na obojenoj karti [245]. Tople boje ukazuju da je veća „napetost“ između tela i odeće a hladne suprotno.

Na slici 45 prikazana je skala boja koja odgovara vrednostima u $\text{gf}\cdot\text{cm}^{-1}$.



Slika 45. Skala boja u opciji *Tension Map*

3.8.12 Subjektivno ocenjivanje ergonomske, mehaničke i kožno-senzorne udobnosti

Vrednovanje ergonomske, mehaničke i kožno-senzorne udobnosti vršeno je metodom subjektivnog ocenjivanja pomoću upitnika datog u tabeli P-2 i prema protokolu B (Prilog). U eksperimentu je učestvovala testna osoba 2 (koja je profesionalni sportista).

Pored subjektivnog ocenjivanja, u ovom eksperimentu vršeno je merenje temperature i relativne vlažnosti kože. Pozicije merenja su određene prema ISO 9886:2004 standardu [242] na 4 mesta (vruće okruženje) a takođe odabrana je dodatna peta pozicija na grudima testne osobe.

3.8.13 Praćenje kretanja sportista korišćenjem *Motion Capture Systems*

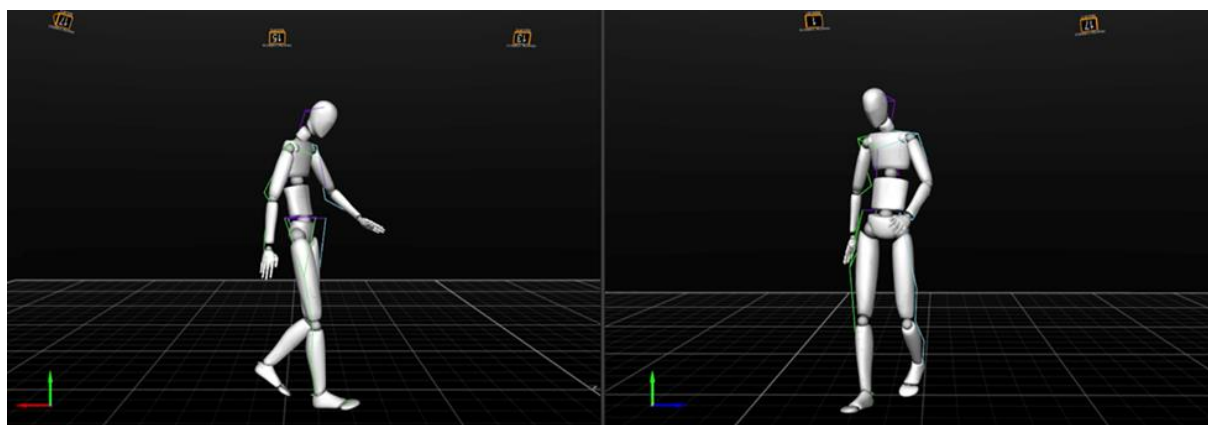
Motion Capture Systems (MCS) ima široku upotrebu u različitim oblastima kao što su biomehanika [246], sportske nauke [247], medicina [248], zabava [249] kao i u industriji odeće [250]. MCS se sastoji od markera, kamera i softvera za obradu podataka. Ovi sistemi beleže kretanje tela korisnika (uglavnom čoveka) u tri dimenzije. Stereofotogrametrija je osnova rada MCS-a. Trodimenzionalne koordinate određenih tačaka na telu korisnika (markeri) se određuju i na osnovu njih se dobijaju dve ili više fotografija snimljenih sa više različitih pozicija [251].

Merenja su vršena *OptiTrack*-om sa optičkim sistemom za praćenje kretanja. Ovaj sistem koristi 18 *Flek13* kamera, koje snimaju pri 120 fps. Kamere imaju rezoluciju od 1,3 Mp sa uglom gledanja od 56 °. Korišćeni su sferni markeri *Plug-in-Gait* (prečnika 5 mm) sa reflektujućim poklopcima (slika 46). Za postavljanje markera korišćen je biomehanički *Plug-in Gait* model [252]. Prema ovom modelu, 39 markera je raspoređeno na telu ispitanika. *Plug-in Gait* model omogućava proračunavanje kretanja anatomskih tačaka, dok bočni markeri određuju razliku između kretanja leve i desne strane tela. Frekvencija uzorkovanja tokom testiranja bila je 120 Hz.

MCS obezbeđuje 3D simulaciju pokreta korisnika u obliku animiranog skeleta. Kretanje korisnika može se pratiti u realnom vremenu ili se može snimiti (slika 47) [253].



Slika 46. Položaj markera tokom testiranja: a) napred i b) pozadi



Slika 47. Prikaz 3D skeleta simulacije kretanja dobijen pomoću MCS-a na dve različite pozicije

Nakon izvršenog merenja, podaci su obrađeni u nekoliko programa. Tokom trčanja korišćen je *Motion* softver za snimanje prostornih koordinata markera. Nakon toga, anatomske uglovi su izračunati u *Open Simu* (NIH centar za biomedicinska računanja, Univerzitet

Stanford, SAD). U program je implementiran i biomehanički model sa 39 markera. Nakon popunjavanja datoteke sa podacima merenja, izračunavaju se vrednosti uglova pokreta zglobova. Geometrijski i ugaoni parametri se zatim izračunavaju u *Matlabu*. Tokom obrade podataka, korišćen je filter od 5 Hz.

Da bi se odredili parametri kretanja, trčanje se mora podeliti na cikluse koraka. U tu svrhu je izmereno maksimalno rastojanje između pete i kuka u sagitalnoj ravni⁷ na početku ciklusa koraka. To znači da treba uzeti rastojanje između markera za kukove i eksternog markera x-smera. Na osnovu određenih maksimuma, kretanje se može podeliti na cikluse korak-po-korak.

Motion Capture System je korišćen za procenu parametara kretanja u toku fizičkih aktivnosti. Parametri koji su razmatrani su: pokret savijanja leve i desne ruke, pokret rotacije leve i desne ruke kao i ukupni ROM za ova dva pokreta. Pored ovih parametara kretanja ispitivan je uticaj brzine kretanja ($4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $5,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) na dužinu i širinu koraka.

3.8.14 Zahtevi pri projektovanju pametne majice

Prilikom projektovanja pametnih odevnih predmeta potrebno je zadovoljiti mnoge zahteve kao što su toplotno-fiziološka, kožno-senzorna i ergonomska udobnost i napraviti pravilan izbor materijala.

Nakon izrade majice od izabranih pletenih tekstilnih materijala potrebno je sprovesti integraciju elektronskih komponenata u majicu kako bi ona dobila „pametnu“ funkciju. To znači prilagođavanje konstrukcije i dizajna potrebama pametnih odevnih predmeta. Tom prilikom, potrebno je zadovoljiti nekoliko zahteva. Prvo, senzori se moraju neupadljivo integrisati u odeću kako bi se mogli koristiti kao sistem nadgledanja toplotnog stanja direktno na telu subjekta. Ako se senzori ugrade u odeću neupadljivo i stoga su skriveni od subjekta, subjekat se ponaša normalno kao da senzori nisu pričvršćeni na njega/nju. Drugo, senzori kao i žice koji su integrisani u odeću treba da budu izdržljivi i otporni na smetnje, tako da se mogu koristiti tokom fizičkih aktivnosti (hodanje, trčanje, vežbanje itd). Poznato je da tokom sportskih aktivnosti, kao što je fudbal, može doći do kontakta između igrača (npr. povlačenje majice) što može prouzrokovati prekid konekcije između senzora i drugih elektronskih

⁷ Sagitalna ravan u anatomiji - uzdužna ravan koja pod pravim uglom u odnosu na čeonu ravan prolazi kroz telo od napred (spreda) ka nazad (pozadi) i deli ga na desni i levi deo. Dobijene polovine su potpuno asimetrične.

komponenti. Pored toga, vlaga koja nastaje kao rezultat znojenja može negativno uticati na rad elektronskih komponenata. Zbog toga je potrebno osigurati i zaštititi senzore i veze između elektronskih komponenata. Iz tih razloga komponente nije bilo moguće povezati provodljivim koncima, tehnikama veza ili štampe provodljivom štamparskom pastom i bilo je potrebno pronaći novi način integracije elektronskih komponenti.

3.8.15 Računarska konstrukcija fudbalerskih majica pomoću programske opreme

OptiTex

Korišćenjem programske opreme *OptiTex* izvršena je konstrukcija funkcionalne sportske majice (model 1) kao i dva modela majica koje su korišćene za izradu prototipova pametne majice. Kod modela koji su korišćeni za izradu prototipova pametne majice (modeli 2 i 3) u cilju poboljšanja udobnosti (pojačane ventilacije) umetnuta je mrežica ispod pazuha.

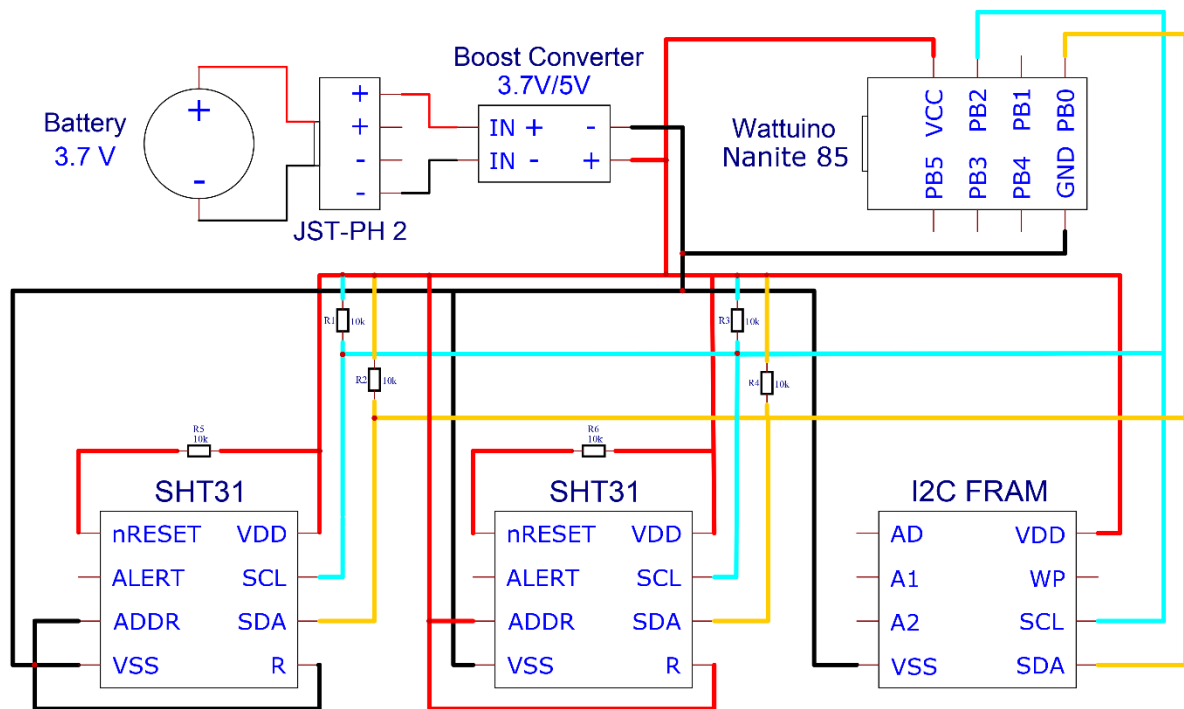
3.8.16 3D simulacija fudbalerskih majica pomoću programske opreme *OptiTex*

Prilikom dizajniranja odevnog predmeta veoma je važno validirati i proceniti budući proizvod. Takođe, rano otkrivanje i otklanjanje grešaka ima veliki značaj. U tu svrhu koriste se CAD 3D softveri. Ovi softveri omogućavaju vizuelizaciju odeće kreiranjem trodimenzionih simulacija [254]. Danas su dostupni različiti softverski programi koji omogućavaju izradu prototipa u odevnoj i modnoj industriji. U radu je za simulaciju majica korišćena programska oprema *OptiTex* sa korišćenjem podataka materijala dobijenih sa KES-FB sistemom.

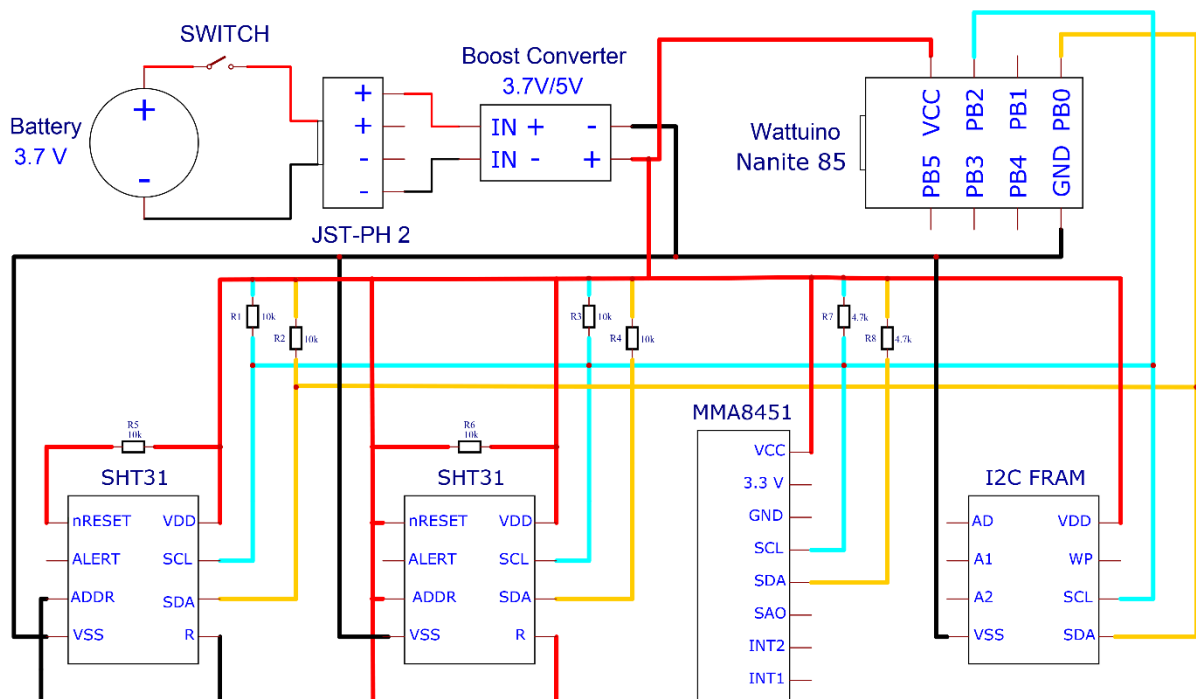
3.8.17 Arhitektura sistema pametne majice

Arhitektura sistema za praćenje toplotnog stanja sportiste, koji je integrisan u majicu, sastoji se od: dva senzora temperature i vlažnosti SHT-31 [255] od *Adafruit-a*, mikrokontrolera Wattuino Nanite 85 [256] od *Watterott electronic* i FRAM (*Ferroelectric Random Access Memory*) [257] koji je korišćen za skladištenje podataka. Pored toga, punjiva litijum-jonska baterija od 3,7 V napaja sistem. Pretvarač (engl. *boost converter*) 3,7 u 5 V je takođe implementiran u pametnu majice. Za prenos signala korišćen je komunikacioni protokol *Inter-Integrated Circuit* (I²C).

Šema električnog kola koja predstavlja elektroniku prvog i drugog prototipa pametne majice prikazani su na slikama 48 i 49, po redosledu navođenja.



Slika 48. Šema veze električnog kola prvog prototipa pametne majice



Slika 49. Šema veze električnog kola drugog prototipa pametne majice

Performanse senzora temperature i vlažnosti SHT-31 su predstavljene u tabeli 14. Senzori SHT-31 imaju osam priključaka (pinova), od kojih je pet spojeno na odgovarajuće pinove na ploči Wattuino Nanite 85. Ovi pinovi su VDD (napajanje), VSS (uzemljenje), SCL (serijski sat), SDA (serijski podaci) i ADDR (adresni pin). Senzori koriste I²C komunikacioni protokol, imaju internu IP adresu i direktno su povezani na SDA i SCL linije. SDA linija se koristi za prenos podataka sa i na senzor. Senzori koriste frekvenciju komunikacije do 1 MHz. Podaci se skladište sekvencijalno u FRAM memoriju preko I²C.

Fokus pametne majice je sekvencijalno prikupljanje vrednosti temperature mikroklike (T_M) i relativne vlažnosti mikroklike (RH_M), koje se mogu pratiti preko Arduino serijskog monitora. Na ovaj način se može pratiti toplotno stanje korisnika. Senzori su povezani na zajedničku magistralu, podaci koji se prikupljaju na svakih 0,5 sekundi ili svake sekunde (brzina uzorkovanja se može podesiti) šalju se u FRAM memoriju. Sistem je zasnovan na standardnom I²C komunikacionom protokolu. Senzori imaju dve karakteristične I²C adrese koje korisnik može izabrati, a koje su neophodne kako bi se senzori ažurirali na magistralu podataka. Senzori SHT-31 rade na širokom opsegu napona napajanja od 2,4 V do 5,5 V. Mikrokontroler Wattuino Nanite 85 je izabran za integraciju u pametnu majicu zbog svoje male veličine (tabela 14).

Tabela 14. Dimenzije elektronskih komponenti i senzora korišćenih za izradu pametne majice

Komponenta	Širina [mm]	Dužina [mm]	Debljina [mm]	Površina [mm ²]
Wattuino Nanite 85	10,16	17,46	2,00	177,39
SHT-31 senzor	17,77	12,70	2,00	226,67
Akcelerometar MMA845x	20,00	14,00	2,00	280,00
I ² C FRAM	20,00	14,00	2,00	280,00
Pretvarač 3,7 V u 5 V	18,00	21,00	2,00	378,00
JST-PH 2	10,00	20,00	2,00	20,00
Baterija 3,7 V	30,00	35,00	3,00	1050,00

Temperaturni senzor SHTxx radi na principu poluprovodničke tehnologije (slicijumski senzor), dok senzor vlažnosti radi na kapacitivnom principu. Specifikacije senzora temperature i vlažnosti SHT-31 su predstavljene u tabeli 15.

Tabela 15. Performanse senzora temperature i vlage [255]

Parametar	Temperaturni senzor SHT-31		Senzor vlage SHT-31	
	Uslovi	Vrednosti	Uslovi	Vrednosti
Tačnost	10 to +55	$\pm 0,3$ °C	Tipična	± 2 % RH
Ponovljivost	Niska	0,16 °C	Niska	0,2 % RH
	Srednja	0,07 °C	Srednja	0,15 % RH
	Visoka	0,04 °C	Visoka	0,07 % RH
Rezolucija	Tipična	0,015 °C	Tipična	0,01 % RH
Histerezis			25 °C	$\pm 0,8$ % RH
Navedeni opseg	-	-40 do 125	Dugotrajno	0 to 100 % RH
Drift	Maksimalni	$< 0,03$ °C /godina	Tipična	$< 0,25$ % RH /godina

Akcelerometar MMA8451Q [258] je korišćen za prikupljanje podataka ubrzanja i kretanja sportista. MMA8451Q je troosni, kapacitivni akcelerometar sa rezolucijom od 14 bita. Karakteristike MMA8451Q su:

- napon napajanja od 1,95 V do 3,6 V;
- napon interfejsa od 1,6 V do 3,6 V;
- ± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g dinamički izbor pune skale;
- brzine izlaznih podataka (ODR) od 1,56 Hz do 800 Hz;
- 99 mg/ $\sqrt{\text{Hz}}$ buka;
- 14-bitni i 8-bitni digitalni izlaz;
- I²C digitalni izlazni interfejs;
- dva programabilna prekidačka pina za sedam izvora prekida;
- tri ugrađena kanala za detekciju pokreta:
 - detekcija slobodnog pada ili pokreta: jedan kanal;
 - detekcija pulsa: jedan kanal;
 - detekcija trzaja: jedan kanal;
- detekcija orijentacije (vertikalno/horizontalno) sa programabilnim histerezom;
- automatska promena ODR-a za automatsko buđenje i povratak u stanje spavanja;
- FIFO sa 32 uzorka;
- podaci visokopropusnog filtera dostupni su po uzorku i kroz FIFO;
- samotestiranje;
- potrošnja struje: 6 μA do 165 μA .

3.8.18 Metodologija ispitivanja toplotnog stanja i kretanja sportista tokom fizičke aktivnosti korišćenjem pametne majice

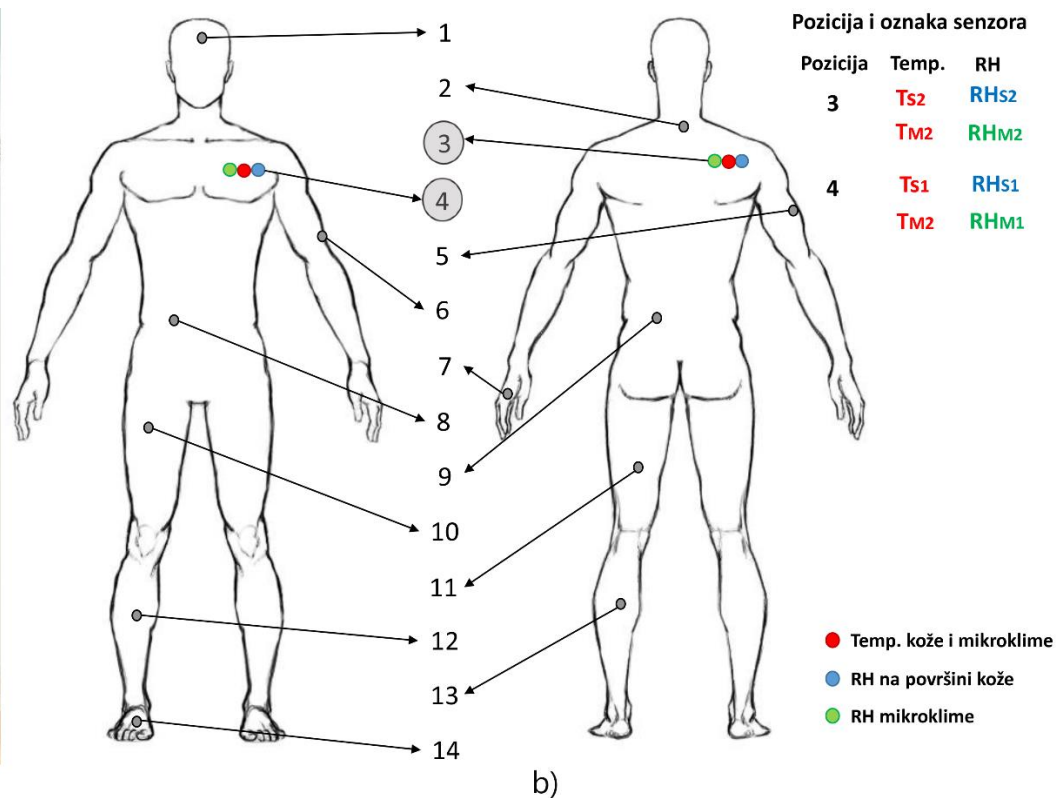
Eksperimenti za određivanje toplotnog statusa sportista sprovedeni su u klima komori u kojoj su podešena temperatura, vlažnost i brzina vazduha, koji odgovaraju uslovima kada se održavaju sportska takmičenja tokom letnjeg perioda. U istraživanju je učestvovalo 6 testnih osoba. Odabrana fizička aktivnost je bila trčanje na pokretnoj traci, što simulira aktivnosti fudbalera tokom utakmice. Pametna majica je korišćena za određivanje temperature mikroklike (T_M) i vlažnosti (RH_M), dok je *MSR 12 Modular Signal Recorder* kompanije *MSR Electronics GmbH*, Švajcarska, korišćen za određivanje temperature kože (T_S) i relativne vlažnosti kože (RH_S).

Testiranja su vršena prema protokolima C, D i E prikazanih u Prilogu. Na slici 50a testna osoba nosi pametnu majicu i *MSR 12* uređaj smešten u posebnu torbu pričvršćenu za struk, dok su na slici 50b prikazane pozicije mernih mesta na telu.

Za prikupljanje podataka kretanja sportiste tokom fizičkih aktivnosti korišćen je troosni akcelerometar oznake MMA8451Q nabavljen od firme *Adafruit* koji je ugrađen u pametnu majicu. Prikupljanje podataka kretanja vršeno je na svake 0,5 sekunde, prema protokolu F u Prilogu i protokolima opisanim u rezultatima.



a)



b)

Slika 50. Položaji temperature i relativne vlažnosti na telu:

- a) osoba koja nosi pametnu majicu i
- b) položaj merenja temperature kože i relativne vlažnosti kože (pozicije 3 i 4)
definisane prema ISO 9886:2004 standard

4 REZULTATI I DISKUSIJA

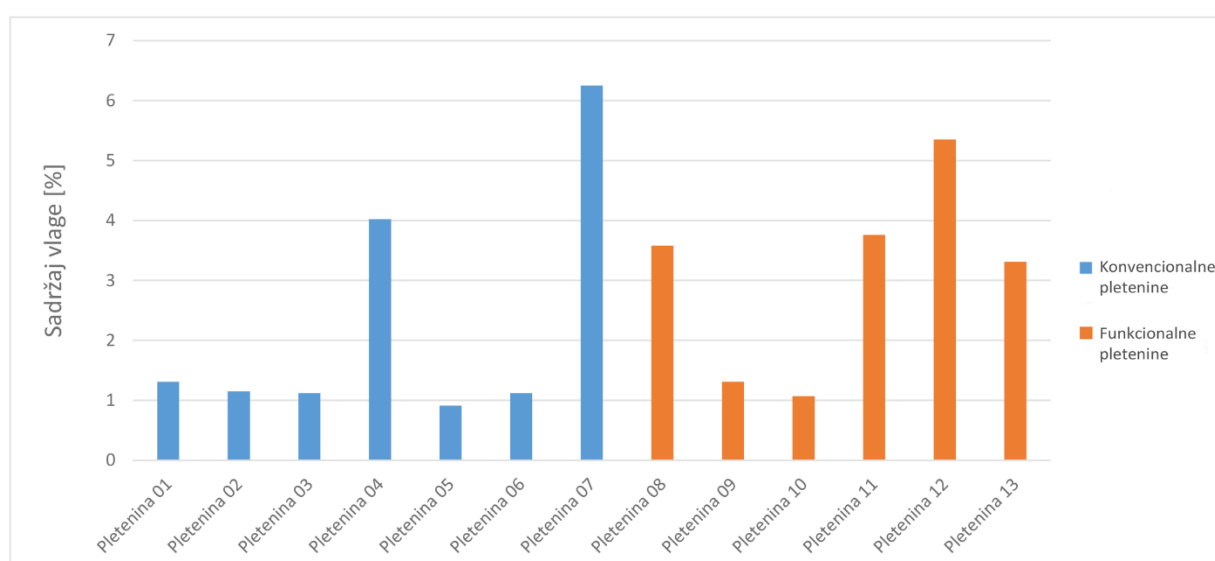
Rezultati ispitivanja dati su u obliku vrednosti fizičkih, mehaničkih i toplotnih svojstava pletenina kao i uticaja sublimacione transfer štampe na promenu ovih svojstava. Pored toga, prikazani su i rezultati toplotno-fiziološke, ergonomske i kožno-senzorne udobnosti pri nošenju ispitivanih majica. Data je analiza kretanja sportiste urađena pomoću *Motion Capture Systems*. Prikazani su rezultati simulacije majica korišćenjem *Optitex* programske opreme. I konačno, prikazan je proces izrade prvog i drugog prototipa pametne majice za fudbalere kao i testiranje istih.

4.1 Fizička svojstva pletenih tekstilnih materijala

Analiza fizičkih svojstava pletenina odnosi se na analizu rezultata sadržaja vlage, propustljivosti vazduha i dimenzijske stabilnosti ispitivanih pletenina.

4.1.1 Sadržaja vlage pletenih tekstilnih materijala

Na slici 51 prikazani su rezultati sadržaja vlage sedam konvencionalnih i šest funkcionalnih (sa inkorporiranim PCM materijalima) pletenina.



Slika 51. Srednje vrednosti sadržaja vlage pletenina

Analizom rezultata sadržaja vlage konvencionalnih pletenina može se primetiti da su najveće vrednosti zabeležene za pletenine 07 i 04, po redosledu navođenja. Ovi rezultati se objašnjavaju sirovinskim sastavom ovih pletenina. Pletenina 07 je izrađena od pamučne pređe, dok je pletenina 04 izrađena od dve pređe Co i PES (50 % / 50 %).

Najniža vrednost sadržaja vlage zabeležena je za konvencionalnu PES pleteninu 05 u desno-desnom saće prepletaju, što se objašnjava najmanjom površinskom masom ove u odnosu na ostale pletenine kao i poroznom strukturom prepletaja.

Kada se razmatraju rezultati za PES pletenine u interlok prepletaju (01, 02 i 03) sa porastom ukupne gustine i površinske mase dolazi do uvećanja rezultata sadržaja vlage. Mala razlika u vrednostima sadržaja vlage je zabeležena za pletenine 01-W (1,06 %) i 03-W (1,03 %).

Analizom rezultata sadržaja vlage funkcionalnih pletenina, može se zaključiti da je najviša vrednost relativne vlažnosti zabeležena za pleteninu 12 (5,35 %), što se može objasniti sirovinskim sastavom ove pletenine (95 % Co / 5 % EL). Pamučna vlakna upijaju vlagu i bubre što doprinosi značajnije većim rezultatima sadržaja vlage. Nakon toga, slede pletenine 11, 08 i 13 za koje su zabeleženi rezultati sadržaja vlage od 3,76 %, 3,58 % i 3,31 %, po redosledu navođenja.

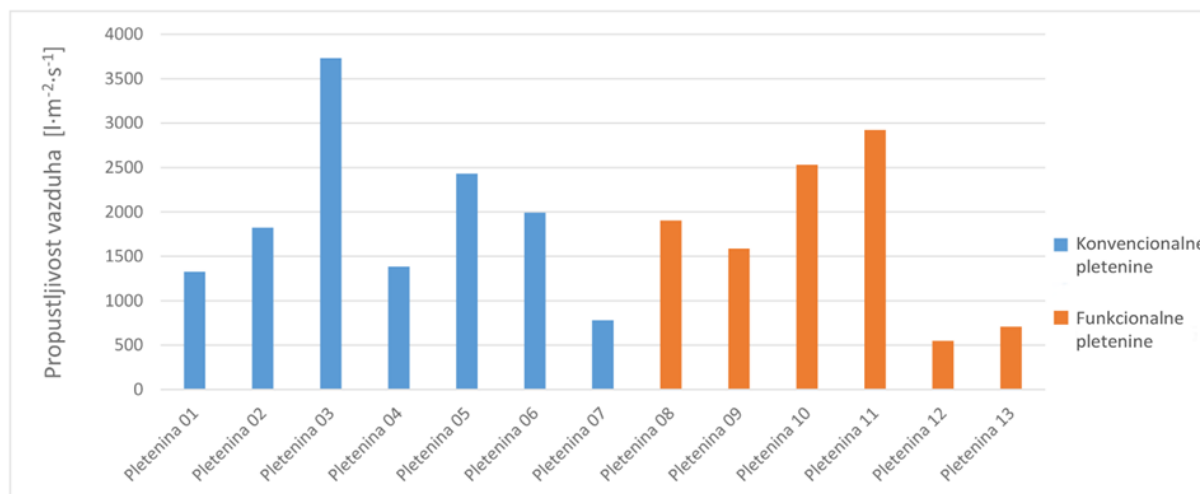
Ako se razmatraju rezultati sadržaja vlage za pletenine u pike prepletaju (04, 08, 09 i 10 oznaka) može se zaključiti da i oni zavise od sirovinskog sastava. Najniže vrednosti sadržaja vlage zabeležene su za pleteninu 09 (1,31 %) (45 % Outlast / 45 % PES / 10 % EL) i pleteninu 10 (1,07 %) izrađenu od PES vlakana, dok su najviše vrednosti zabeležene za pleteninu 12 (95 % Co / 5 % EL). Kada se ovi rezultati uporede sa onim dobijenim za konvencionalnu pleteninu u pike prepletaju sa 04 oznakom (50 % Co / 50 % PES) vidljivo je da je upotreba pamučne pređe doprinela visokim vrednostima sadržaja vlage.

Analizom rezultata sadržaja vlage pletenina sa većinskim udelom PA vlakana (08 i 13) više vrednosti sadržaja vlage su zabeležene za pleteninu 08. Ova pletenina je deblja i ima veliku ukupnu gustinu, kao i veće vrednosti debljine i površinske mase što je doprinelo ovakvim rezultatima.

Na osnovu analize rezultata sadržaja vlage može se zaključiti da je glavni faktor koji je uticao na dobijene rezultate bio sirovinski sastav. Najveći procenat relativne vlažnosti pletenina zabeležen je za pletenine 07 i 12 (od 100 % ili 95 % Co vlakana) što se objašnjava činjenicom da su pamučna vlakna hidrofilna (sadrže veliki broj hidroksilnih grupa u svojoj strukturi), dok su najniži rezultati zabeleženi za pletenine od PES vlakana koja su hidrofobna.

4.1.2 Propustljivost vazduha pletenih tekstilnih materijala

Na slici 52 prikazani su rezultati vazdušne propustljivosti ispitivanih pletenih tekstilnih materijala.



Slika 52. Srednje vrednosti rezultata propustljivosti vazduha pletenina

Na osnovu rezultata prikazanih na slici može se zaključiti da je najviša vrednost propustljivosti vazduha kod konvencionalnih pletenina zabeležena za interlok pleteninu 03 ($3731 l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) a zatim sledi pletenina 05 ($2430 l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$).

Kada se uporede PES pletenine izrađene od iste pređe (01, 02 i 05), najviše vrednosti propustljivosti vazduha zabeležne su za pleteninu u desno-desnom saće prepletaju 05, zatim slede pletenine 02 i 01, po redosledu navođenja. Kod ovih pletenina sa povećanjem površinske mase dolazi do smanjenja vrednosti propustljivosti vazduha. Najveća vrednost propustljivosti vazduha zabeležena za pleteninu 05 može se objasniti strukturom tj. desno-desni saće prepletaj je veoma porozan što omogućava poboljšani protok vazduha.

Najmanje vrednosti propustljivosti vazduha za konvencionalne pletenine zabeležene su za pleteninu 07 ($780 l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$). Ova pletenina imaju veliku ukupnu gustinu i površinsku masu što je doprinelo smanjenju protoka vazduha. Pored toga, pamučne pređe nisu glatke (imaju puno štrčćih vlakana) što ometa protok vazduha.

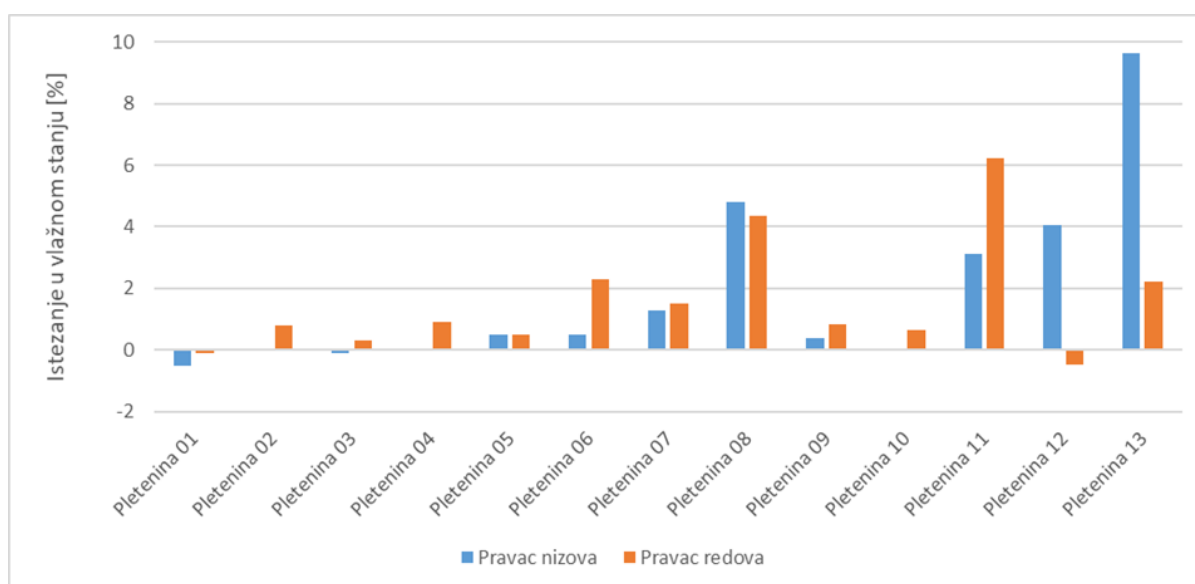
Kada se razmatraju rezultati propustljivosti vazduha za funkcionalne pletenine najveća vrednost je zabeležena za pleteninu u desno-desnom prepletaju oznake 11 ($2923 l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), zatim slede pletenina 10 ($2532 l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) i pletenina 08 ($1904 l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$). Nestabilna struktura i mala vrednost ukupne gustine pletenine 11 doprinela je ovim rezultatima. Pletenina 10 ima veoma malu ukupnu gustinu ($67 cm^{-2}$) što je doprinelo većim vrednostima propustljivosti

vazduha, dok je struktura pike (mrežica) prepletaja doprinela velikoj vrednosti propustljivosti vazduha pletenine 08.

Najmanje vrednosti propustljivosti vazduha za funkcionalne pletenine zabeležene su kod pletenine u desno-levom prepletaju oznake 12 ($549 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) i desno-levom perlfang prepletaju sa oznakom 13 ($707 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Mala vrednost propustljivosti vazduha objašnjava se većom gustinom i površinskom masom ovih pletenina.

4.1.3 Dimenziona stabilnost pletenih tekstilnih materijala

Rezultati dimenzione stabilnosti ispitivanih pletenina prikazani su na slikama 53 i 54.



Slika 53. Rezultati istezanja u vlažnom stanju pletenina

Analizom dobijenih rezultata prikazanih na slici 54, zabeležene su relativno male vrednosti *HE* za pletenine u interlok prepletaju, za pletenine 01 i 02 pletene istom predom u istom prepletaju, može se zaključiti da gustina pletenine ima značajan uticaj na *HE* vrednosti. Kod pletenine 01, koja ima najveću ukupnu gustinu, došlo je do istezanja u oba pravca, dok je kod pletenina 02 i 03 posle mokre obrade zabeleženo skupljanje u pravcu redova. Pletenina 02 ima veće vrednosti *HE* u pravcu redova. Pletenini 03 korišćenje dve pređe je doprinelo većoj stabilnosti nakon mokre obrade.

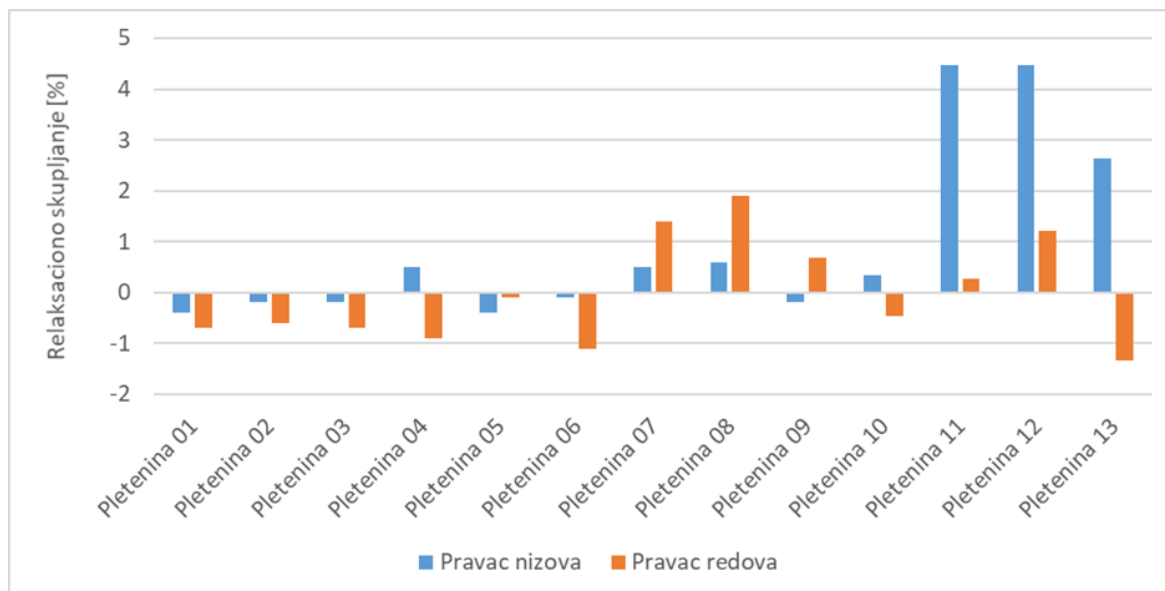
Analizom rezultata *HE* za pletenine u desno-desnom 1:1 prepletaju (06 i 11) vidljivo je da je došlo do manjeg skupljanja u pravcu nizova, dok je veće skupljanje zabeleženo u pravcu redova. Veće vrednosti *HE* zabeležene su za funkcionalnu pleteninu 11.

Za pletenine u pike prepletaju (sa izuzetkom pletenine 12) nije zabeležena promena u pravcu nizova (04 i 10) dok je za pleteninu 09 zabeleženo skupljanje od 0,4 %. Za ove uzorke je skupljanje u pravcu redova u rasponu od 0,66 % do 0,9 %.

Za konvencionalnu pleteninu 07 *HE* je 1,3 % u pravcu nizova i 1,5 % u pravcu redova dok, su za funkcionalnu pleteninu 12 zabeležene *HE* vrednosti bile 4,04 % u pravcu nizova i -0,47 % u pravcu redova.

Kod pletenina sirovinskog sastava PA/EL 08 (80 % PA / 20 % EL) i 13 (86 % PA / 14 % EL), zabeležene su veće *HE* vrednosti u pravcu nizova u odnosu na pravac redova. Vrednosti *HE* od 4,8 % i 4,43 % su kod pletenine 08 u pravcu nizova i redova, po redosledu navođenja. Kod pletenine 13, *HE* vrednosti su 9,64 % i 2,23 % u pravcu nizova i redova, po redosledu navođenja.

Na slici 54 prikazani su rezultati relaksacionog skupljanja ispitivanih pletenina.



Slika 54. Rezultati relaksacionog skupljanja pletenina

Kao što je vidljivo iz rezultata *RS* prikazanih na slici 54, istežanje u oba pravca je zabeleženo kod konvencionalnih PES pletenina nakon mokre i toplotne obrade.

Vrednosti *RS* za konvencionalne pletenine u interlok prepletaju u pravcu redova se kreću od -0,6 % do -0,7 % i dok se ove vrednosti kreću u rasponu od -0,2 % do -0,4 % u pravcu nizova. Poređenjem rezultata *RS* za uzorke 01 i 02 pletenih korišćenjem iste pređe, primećuje se da je kod pletenine 02 manji procenat istežanja. Ova pletenina ima veću ukupnu gustinu, debljinu i površinsku masu. Za pleteninu 03 (izrađena iz dve pređe) zabeležene su slične *RS*

vrednosti kao kod pletenina iz ove grupe uzoraka, što ukazuje da uticaj parametara pređe na promenu *RS* nije značajan.

Toplotna i mokra dorada su različito delovale na pletenine u desno-desnom 1:1 prepletaju. Istezanje od -0,1 % u pravcu nizova i -1,1 % u pravcu redova je kod pletenine 06, dok je kod pletenine 11 zabeleženo skupljanje od 4,48 % u pravcu nizova i od 0,27 % u pravcu redova.

Skupljanje u oba pravca nakon mokre i toplotne dorade je zabeleženo za pamučne pletenine u desno-levom prepletaju. Vrednosti *RS* za pleteninu 07 je 0,6 % u pravcu nizova i 1,4 % u pravcu redova, dok su vrednosti 4,47 % u pravcu nizova i 1,2 % u pravcu redova kod pletenine 12.

Kod pletenina PA/EL sirovinskog sastava 08 i 13, zabeležene su pozitivne *RS* vrednosti u oba pravca. Vrednosti *RS* za pleteninu 08 su 0,6 % u pravcu nizova i 1,89 % u pravcu redova a pleteninu 13 2,64 % u pravcu nizova i -1,33 % u pravcu redova.

Na osnovu rezultata dimenzione stabilnosti kao najstabilnije pletenine, tj. pletenine kod kojih su zabeležene najmanje promene u dimenzijama nakon toplotne i mokre obrade, bile su PES pletenine, dok su veće promene zabeležene kod pamučnih pletenina kao i pletenina oznaka 11 i 13.

4.2 Uticaj sublimacione transfer štampe na strukturalna svojstva pletenih tekstilnih materijala

Kod pletenina bez štampe i sa štamptom ispitivana su strukturalna svojstva kao što su površinska masa, debljina i gustina pletenina, koja imaju značajan uticaj na drapiranje i opip pletenina. Rezultati površinske mase, debljine i gustine pletenina bez i sa štamptom prikazani su u tabeli 16.

Analizom rezultata može se zaključiti da je za sve PES pletenine zabeleženo malo povećanje vrednosti površinske mase nakon primene procesa štampe. Povećanje površinske mase u rasponu od 2,34 % do 4,27 % zabeleženo je kod pletenine 01 u interlok prepletaju, od 5,6 % do 7,61 % kod pletenine 02 i od 0,12 % do 0,44 % kod pletenine 03. Za PES pleteninu u desno-desnom saće prepletaju 05 zabeleženo je povećanje površinske mase u rasponu od 1,15 % do 4,16 % i pletenine 06 u desno-desnom prepletaju od 0,56 % do 2,02 %.

Tabela 16. Rezultati površinske mase, debljine i gustine pletenina bez štampe i sa štampom

Oznaka uzorka	Površinska masa W ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	Debljina h (mm)	Horizontalna gustina D_h (cm^{-1})	Vertikalna gustina D_v (cm^{-1})	Ukupna gustina D_u (cm^{-2})
01-W	124,60	0,312	16	21,5	344
01-C	129,22	0,270	15	22	330
01-M	127,52	0,270	15	22	330
01-Y	127,95	0,260	15	22	330
01-K	129,93	0,248	15	22	330
02-W	122,40	0,382	16,3	10,5	171,6
02-C	131,71	0,302	15,5	11	170,5
02-M	129,37	0,289	15,5	11	170,5
02-Y	129,26	0,282	15,5	11	170,5
02-K	130,69	0,307	15,5	11	170,5
03-W	134,88	0,280	16,5	11,8	194,7
03-C	135,44	0,218	15,5	12	186
03-M	135,20	0,225	15,5	12	186
03-Y	132,92	0,240	15,5	12	186
03-K	135,47	0,244	16	12	186
04-W	157,60	0,666	16	15,9	254,4
04-C	272,39	0,624	*	*	*
04-M	263,32	0,637	*	*	*
04-Y	263,99	0,616	*	*	*
04-K	271,02	0,613	*	*	*
05-W	134,18	0,497	18,7	11,3	211,3
05-C	139,76	0,393	16,8	11,6	194,9
05-M	139,51	0,390	15,8	11,6	183,3
05-Y	139,58	0,375	16,8	11,6	194,9
05-K	136,21	0,372	16,8	11,6	194,9
06-W	132,08	0,330	15,5	18	279
06-C	132,82	0,270	15	18	270
06-M	133,47	0,278	15	18	270
06-Y	134,75	0,288	15,2	18	273,6
06-K	132,98	0,288	15	18	270
07-W	158,32	0,432	16	21,5	344
07-C	241,29	0,396	*	*	*
07-M	251,89	0,388	*	*	*
07-Y	255,42	0,375	*	*	*
07-K	260,79	0,405	*	*	*

* Pletenine 04 i 07 oznaka postale su previše zasićene štamparskom bojom (u kombinaciji sa sublimacionim polimernim prahom) pa nije bilo moguće odrediti njihovu gustinu.

Najveće povećanje površinske mase nakon štampanja je kod Co/PES pletenine u pike prepletaju 04 u rasponu od 67,07 % (04-M) do 72,84 % (04-C). Pored toga, zabeležen je i veliki porast vrednosti površinske mase od 52,41 % (07-C) do 64,72 % (07-W) za pamučnu pleteninu u desno-levom prepletaju 07.

Sublimacioni polimerni prah koji je korišćen u svrhu vezivanja boje za prirodna vlakna prouzrokovao je promenu strukture pletenina stvarajući novi površinski sloj što je doprinelo značajnom povećanju površinske mase.

Uzimajući u obzir rezultate prikazane u tabeli 16, pokazano je da nakon procesa štampe došlo do smanjenja debljine svih pletenina. Izlaganje pletenina pritisku i toploti tokom procesa fiksiranja boje u toplotnoj presi bio je glavni razlog smanjenju debljine.

Takođe se primećuje da su procesi štampanja i fiksiranja boje uticali na promenu gustine pletenina. Kod pamučne i Co/PES pletenine 04 i 07 primećen je značajan uticaj na promenu strukture. To znači da je sublimaciona transfer štampa negativno uticala na strukturu pletenina. Kod PES pletenina zabeleženo je smanjenje horizontalne i povećanje vertikalne gustine.

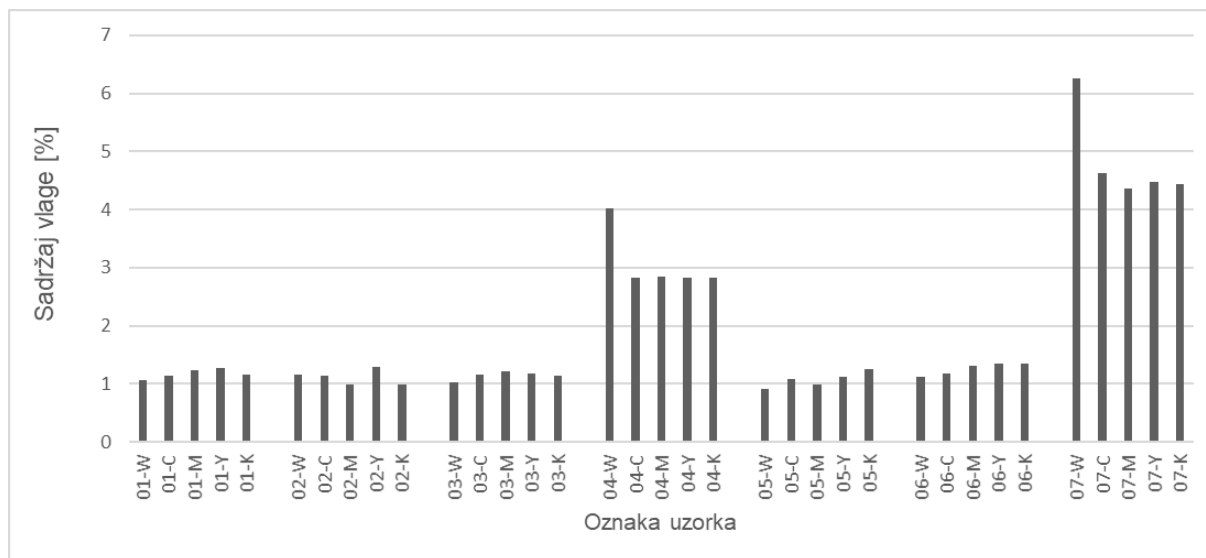
Pletenine u interlok prepletaju 01, 02 i 03 su istog sirovinskog sastava (PES) ali sa različitim gustinama. Nakon procesa štampe primećeno je smanjenje ukupne gustine za pletenine 01 od 4,07 %, za pletenine 02 smanjenje od 0,64 % kao i smanjenje od 4,47 % za pletenine 03.

Pletenina koja se odlikuje najstabilnijom strukturom, tj. na koju je proces štampe imao najmanje uticaja na ukupnu gustinu, je PES pletenina 02 u interlok prepletaju. Ova pletenina je najveće debljine i najmanje ukupne gustine u odnosu na ostale u interlok prepletaju. Pored toga, ova pletenina ima najveću debljinu i najmanju ukupnu gustinu u odnosu na sve PES pletenine nakon pletenine 05. Verovatni razlog je u stabilnoj strukturi interlok prepletaja i maloj elastičnosti u pravcu redova i nizova.

Za PES pletenine u desno-desnom (saće) prepletaju 05 zabeleženo je smanjenje ukupne gustine od 7,76 % (izuzetak je uzorak 05-M za koji je zabeleženo smanjenje od 13,25 %). Pletenine 01 (kod koje je došlo do smanjenja od 4,07 % nakon štampe) i 05 su izrađene od iste pređe pa se može zaključiti da složena struktura desno-desnog (saće) prepletaja doprinela većem procentu smanjenja ukupne gustine pletenina.

4.3 Uticaj sublimacione transfer štampe na fizička svojstva pletenih tekstilnih materijala

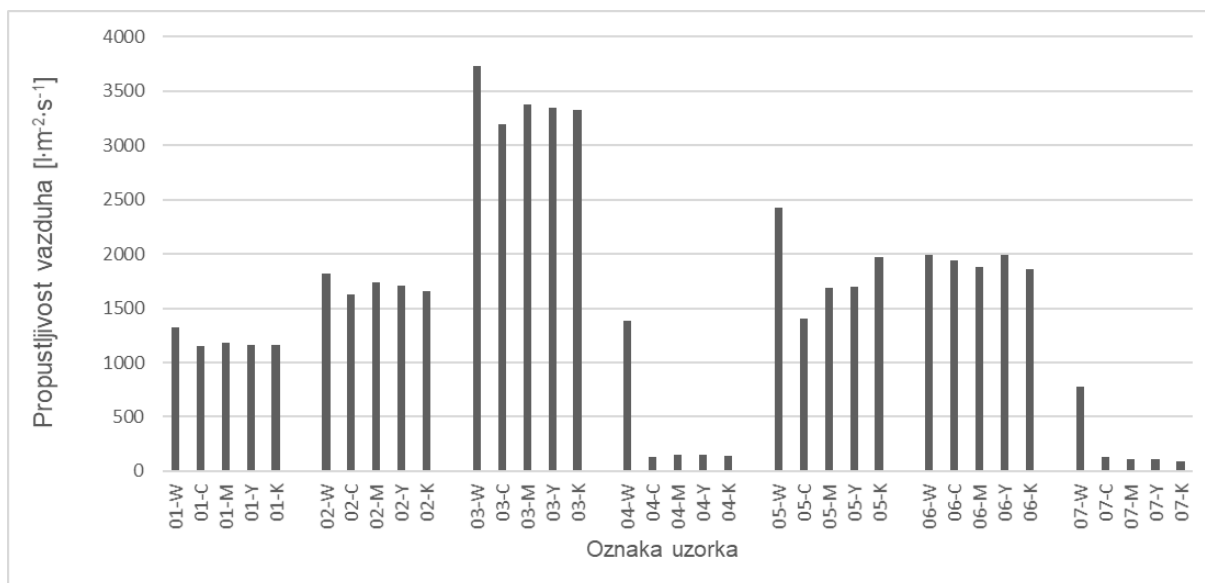
Rezultati sadržaja vlage konvencionalnih pletenina bez štampe i sa štamptom predstavljani su na slici 55.



Slika 55. Rezultati sadržaja vlage

Zanemarljive promene sadržaja vlage su vidljive posle procesa štampe za PES pletenine. Vrednosti sadržaja vlage nakon procesa štampe značajno se smanjuju za Co/PES i pamučne pletenine (oznaka 04 i 07). Ove vrednosti se smanjuju za 43,28 % (za pletenine 04-C i 04-Y) i za 29,1 % (04-M) za Co/PES pletenine u pike prepletaju 04, dok za pamučne pletenine u desno-levom prepletaju 07 smanjenje vrednosti sadržaja vlage kreću u rasponu od 26,08 % (07-M) do 30,08 % (07-C). Stvaranje površinskog sloja i smanjenje pora u strukturama pletenina nakon procesa štampe doprineli su smanjenju sadržaja vlage pletenina oznaka 04 i 07.

Rezultati propustljivosti vazduha konvencionalnih pletenina bez i sa štamptom su prikazani na slici 56.



Slika 56. Rezultati propustljivosti vazduha pletenina

Analizom rezultata utvrđeno je da vrednosti propustljivosti vazduha kod PES pletenina opadaju nakon primene procesa štampe u odnosu pletenine bez štampe. PES pletenine za koje su zabeležene najmanje vrednosti propustljivosti vazduha su pletenine u interlok prepletaju 01, zbog najveće ukupne gustine ove u odnosu na ostale PES pletenine. Pletenina 03, sa najvećom zabeleženom vrednošću propustljivosti vazduha, ima najmanju debljinu u odnosu na ostale pletenine i veoma poroznu strukturu koja omogućava olakšan prolaz vazduha. Pored toga, razlog lakog protoka vazduha jesu parametri pređe (dve veoma fine pređe, od kojih je jedna filamentna pređa finoće 3,6 tex).

Za pamučne i Co/PES pletenine vrednosti propustljivosti vazduha se drastično smanjuju nakon primene procesa štampe. Ova smanjenja se kreću u rasponu od 88,95 % (04-Y) do 90,61 % (04-M) za pletenine 04 i od 81,93 % (07-C) do 86,77 % (07-K) za pletenine 07. Naime, sublimacioni polimerni prah u kombinaciji sa štamarskom bojom se ugrađuje u strukturu ovih pletenina, što doprinosi smanjenju propustljivosti vazduha.

4.4 Mehanička svojstva pletenih tekstilnih materijala

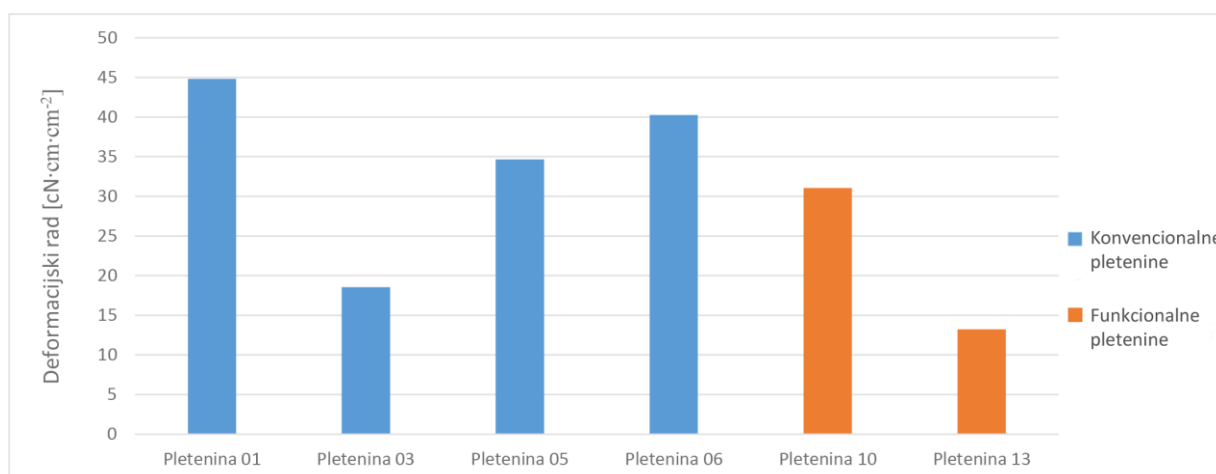
Analiza mehaničkih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenina odnosi se na analizu rezultata zateznih, svojstava savijanja i smicanja, kompresijskih i površinskih svojstava. Pored toga istraživana je uticaj sublimacione štampe na promenu mehaničkih svojstava pletenina.

Rezultati mehaničkih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenina bez štampe dati su kao srednje vrednosti ispitivanih parametara, dok su rezultati za konvencionalne pletenine sa štamptom dati u pravcu nizova i redova pletenina (kako ne bi došlo do ponavljanja rezultata za uzorke bez štampe).

4.4.1 Zatezna svojstva pletenih tekstilnih materijala

Na slikama 57 do 60 date su srednje vrednosti zateznih svojstava analiziranih pletenina. Nisu prikazani rezultati za pletenine 02, 04, 09 kod kojih je došlo do kidanja u pravcu redova i za pletenine 07 i 08 kod kojih je došlo do kidanja u pravcu nizova, dok je kod pletenina 11 i 12 došlo do kidanja u oba pravca prilikom primene vučne sile. Iz tih razloga nije bilo moguće odrediti zatezna svojstva ovih pletenina.

Na slici 57 prikazani su rezultati deformacijskog rada (*WT*) pletenina.

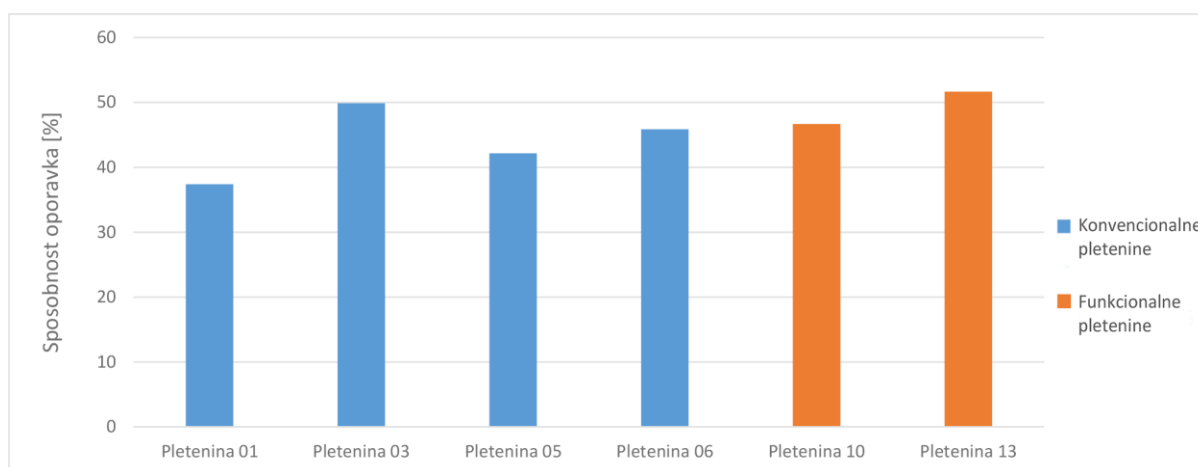


Slika 57. Srednje vrednosti rezultata deformacijskog rada *WT* pletenina

Najviše vrednosti deformacijskog rada *WT* izračunate su za pletenine 01, 06 i 05, po redosledu navođenja, dok su najniže vrednosti izračunate za pleteninu 03 (18,55 cN·cm·cm⁻²). Pletenine 01 i 03 izrađene u istom prepletaju, s razlikom da su za pleteninu 03 upotrebljene dve pređe, što je doprinelo izuzetno nižim vrednostima deformacijskog rada. Pored toga, pletenine 01 i 05 su izrađene upotrebom iste pređe u različitom prepletaju pa se može primetiti da je struktura interlok prepletaja doprinela višim vrednostima deformacijskog rada.

Kada se uporede rezultati za funkcionalne pletenine, više vrednosti su zabeležene za pleteninu 10 (31,05 cN·cm·cm⁻²) u odnosu na pleteninu 13 (13,23 cN·cm·cm⁻²).

Na slici 58 prikazani su rezultati sposobnosti oporavka *RT* pletenina.

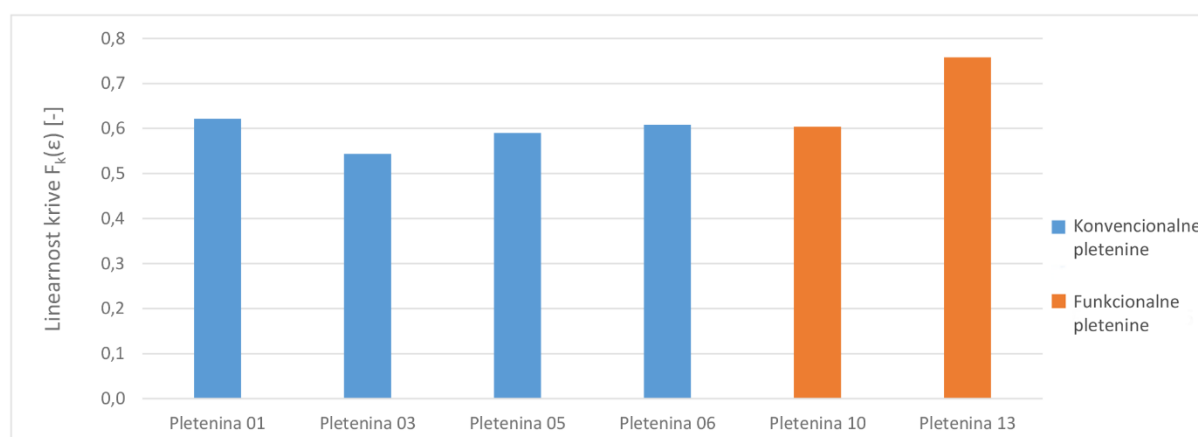


Slika 58. Srednje vrednosti rezultata sposobnosti oporavka *RT* pletenina

Sa slike se može videti da su najviše vrednosti sposobnosti oporavka *RT* kod konvencionalnih pletenina zabeležene za pletenine 03 (49,85 %) i 06 (45,85 %). Najniža vrednost sposobnosti oporavka *RT* za konvencionalne pletenine ima pletenina 01 u interlok prepletaju (37,38 %).

Za funkcionalne pletenine u pike prepletaju zabeležene su visoke vrednosti sposobnosti oporavka kod pletenina 13 (51,65 %) i 10 (46,67 %). Visoke *RT* vrednosti ukazuju na kruće tekstilne materijale. Dorada tekstilnih materijala može dovesti do uvećanja *RT* vrednosti, što je ovde bio slučaj (upotreba PMC materijala je doprinela višim *RT* vrednostima).

Na slici 59 prikazani su rezultati linearnosti krive $F_k(\epsilon)$ *LT* pletenina.

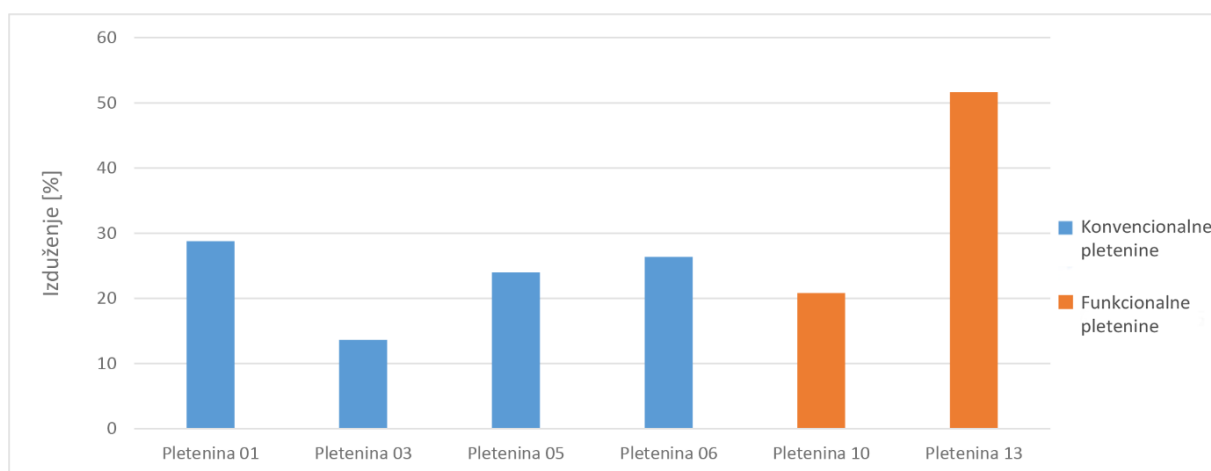


Slika 59. Srednje vrednosti rezultata linearnosti krive $F_k(\epsilon)$ *LT* pletenina

Linearnost krive $F_k(\epsilon)$ LT je pokazatelj ponašanja pletenina kod nastale deformacije. Kod konvencionalnih pletenina LT vrednosti se kreću u rasponu od 0,544 do 0,622. Vrednost LT od 0,604 zabeležena je za funkcionalnu pleteninu 10, dok je vrednost od 0,758 zabeležena za funkcionalnu pleteninu 13.

Najniža LT vrednost zabeležena je za pleteninu 03 u interlok prepletaju, što ukazuje da se ova pletenina najlakše deformiše u početnom području opterećenja dok su najviše vrednosti dobijena za pleteninu 13.

Rezultati izduženja pletenina prikazani su na slici 60.



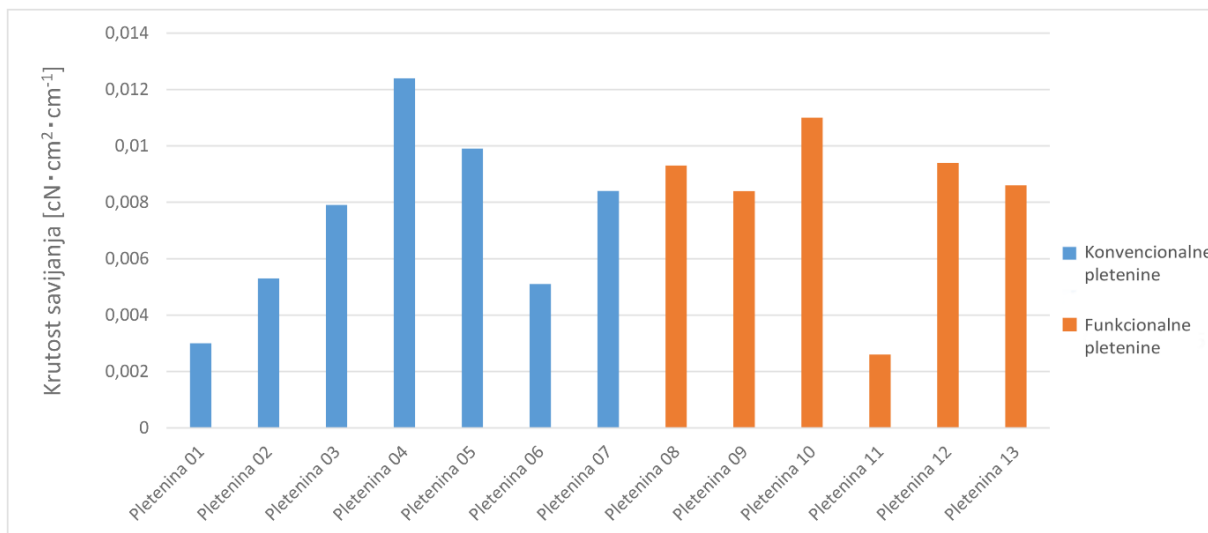
Slika 60. Srednje vrednosti rezultata izduženja pletenina

Na osnovu prikazanih rezultata može se primetiti da su najviše vrednosti izduženja za konvencionalne pletenine 01 (28,77 %) i 06 (26,35 %), dok su najmanje kod pletenine 03 (13,6 %). Pletenina u interlok prepletaju 03 je izrađena od dve PES pređe što je učvrstilo njenu strukturu i smanjilo elastičnost. Pletenine 01 i 05 izrađene su od iste pređe u različitom prepletaju, što ukazuje da je interlok prepletaj doprineo višim vrednostima izduženja.

Za funkcionalnu pleteninu 13 dobijene su visoke vrednosti izduženja (51,65 %) dok je za pleteninu 10 dobijena vrednost od 20,8 %. Visoke vrednosti izduženja pletenine 13 u desno-levom perlflang prepletaju objašnjavaju se upotrebom EL pređe koja je poboljšala elastičnost.

4.4.2 Svojstva savijanja pletenih tekstilnih materijala

Na slikama 61 i 62 prikazane su srednje vrednosti parametara savijanja ispitivanih pletenina.

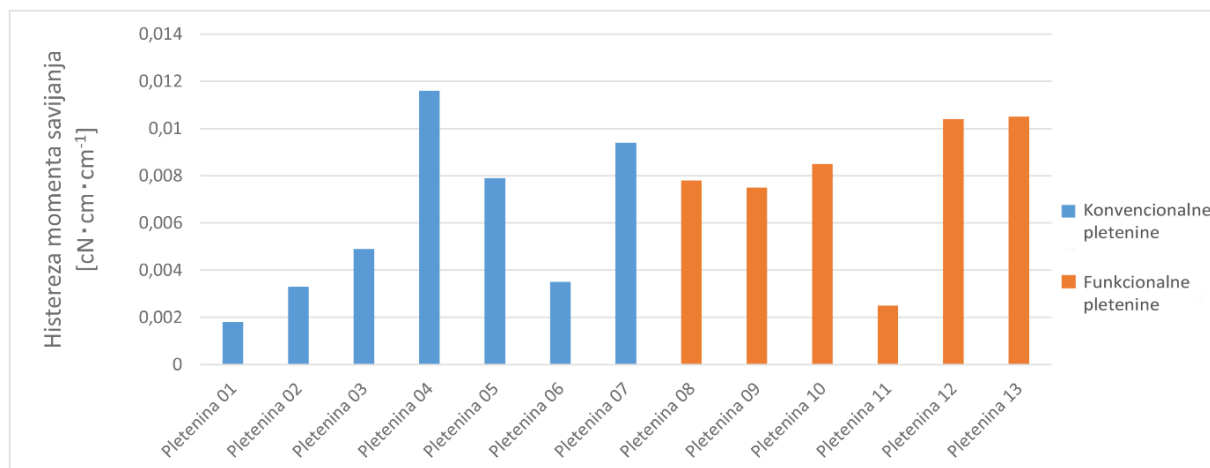


Slika 61. Srednje vrednosti rezultata krutosti savijanja *B* pletenina

Vrednosti krutosti savijanja *B* za konvencionalne pletenine kreću se u rasponu od 0,003 cN·cm²·cm⁻¹ do 0,0124 cN·cm²·cm⁻¹. Kod pletenina izrađenih od iste pređe (01, 02 i 05) sa uvećanjem debljine dolazi do porasta vrednosti krutosti savijanja *B*. Visoke *B* vrednosti karakteristične su za krute pletenine koje pružaju veći otpor pri savijanju.

Vrednosti krutosti savijanja za funkcionalne pletenine kreću se u rasponu od 0,0024 cN·cm²·cm⁻¹ do 0,011 cN·cm²·cm⁻¹. Kada se uporede vrednosti krutosti savijanja funkcionalnih pletenina u pike prepletaju (09 i 10) vidljivo je da kod njih sa povećanjem debljine pletenina dolazi do uvećanja krutosti savijanja.

Rezultati histereze momenta savijanja *2HB* prikazani su na slici 62.



Slika 62. Srednje vrednosti rezultata histereze momenta savijanja *2HB* pletenina

Niske vrednosti histereze momenta savijanja *2HB* su karakteristične za meke pletenine koje se dobro drapiraju. Vrednosti *2HB* za konvencionalne pletenine kreću se u rasponu od $0,0018 \text{ cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$ do $0,0116 \text{ cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$. Kod pletenina izrađenih od iste pređe (01, 02 i 05) sa uvećanjem debljine dolazi do uvećanja *2HB* vrednosti.

Vrednosti krutosti savijanja za funkcionalne pletenine kreću se u rasponu od $0,0025 \text{ cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$ do $0,0105 \text{ cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$. Najviše vrednosti *2HB* zabeležene su za pleteninu 13, koja ima najvišu površinsku masu ($196,57 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) u odnosu na ostale pletenine što je najverovatnije doprinelo ovim rezultatima.

Najniže *2HB* vrednosti ima pletenina 01 ($0,0018 \text{ cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$) u interlok prepletaju kao i za pletenine u desno-desnom prepletaju 11 ($0,0025 \text{ cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$) i 06 ($0,0035 \text{ cN}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{cm}^{-1}$) oznaka čija struktura je doprinela manjim vrednostima *B* i *2HB*.

4.4.3 Svojstva smicanja pletenih tekstilnih materijala

Svojstva smicanja predstavljena su krutošću smicanja (*G*), histerezom smicanja izmerenim pod uglom smicanja od $0,5^\circ$ (*2HG*) i uglom smicanja od $5,0^\circ$ (*2HG5*).

Rezultati svojstava smicanja konvencionalnih i funkcionalnih pletenina prikazani su u tabeli 17.

Tabela 17. Srednje vrednosti rezultata svojstva smicanja pletenina

Oznaka pletenine	Krutost smicanja G (cN·cm ⁻¹ ·st ⁻¹)	Histereza sile smicanja $2HG$ (cN·cm ⁻¹)	Histereza sile smicanja $2HG5$ (cN·cm ⁻¹)
Pletenina 01	0,67	1,71	1,94
Pletenina 02	0,55	1,17	1,27
Pletenina 03	0,90	1,72	1,91
Pletenina 04	0,73	1,41	1,83
Pletenina 05	0,82	1,86	2,27
Pletenina 06	0,71	1,74	1,21
Pletenina 07	0,68	1,98	2,14
Pletenina 08	0,34	1,01	0,73
Pletenina 09	0,44	0,92	1,04
Pletenina 10	0,17	1,47	0,60
Pletenina 11	0,10	1,29	0,90
Pletenina 12	0,59	1,41	1,81
Pletenina 13	0,20	1,89	0,43

Krutost smicanja G uslovljena je lakoćom kojom se pređa kreće u strukturi pletenine pri primeni sile smicanja. Veće vrednosti krutosti smicanja G dobijene su za konvencionalne (od 0,55 do 0,9 cN·cm⁻¹·st⁻¹) u odnosu na funkcionalne (od 0,1 do 0,59 cN·cm⁻¹·st⁻¹) pletenine.

Kada se uporede rezultati krutosti smicanja za pletenine u interlok prepletaju najviša vrednost zabeležena je za pleteninu 03, ona je izrađena od dve pređe što je doprinelo većoj kompaktnosti i smanjilo mobilnost pređa u strukturi pletenine. Kod pletenina 01 i 02 u interlok prepletaju (izrađene od iste pređe) vidi se da sa porastom gustine rastu vrednosti krutosti smicanja.

Kod pletenina u desno-desnom prepletaju 06 i 10 niske vrednosti krutosti smicanja G ima pletenina 10 koja ima značajnije manju ukupnu gustinu.

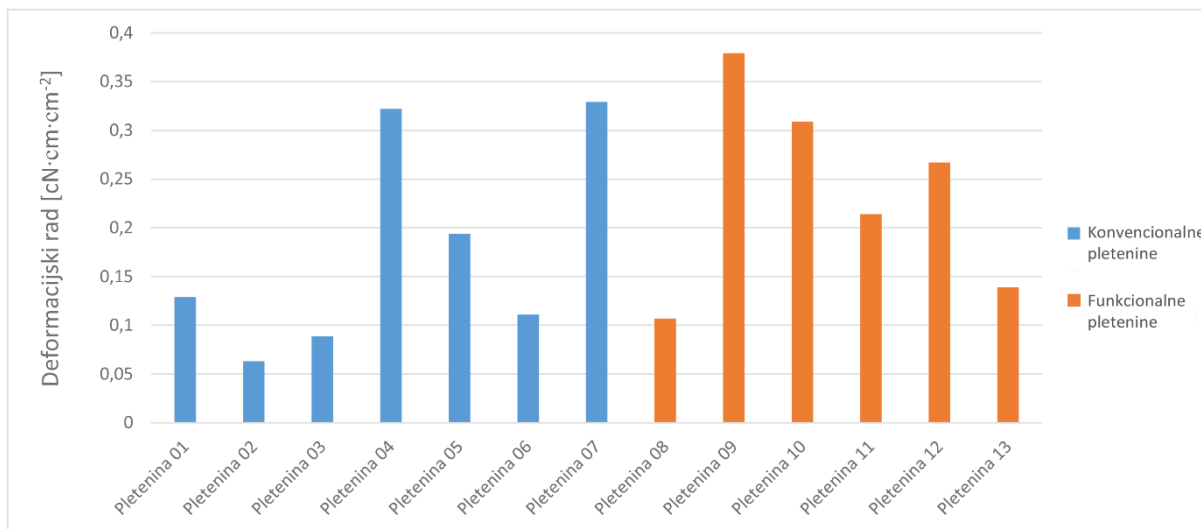
Vrednosti histereze sile smicanja $2HG$ pri uglu smicanja od 0,5 ° su od velikog značaja za vrednovanje opipa tekstilnih materijala dok vrednosti histereze sile smicanja $2HG5$ pri uglu smicanja od 5,0 ° su značajne za procenu ponašanja materijala pri izradi odevnog predmeta. Veće $2HG$ i $2HG5$ vrednosti su zabeležene kod konvencionalnih u odnosu na funkcionalne pletenine. Niske vrednosti $2HG5$ ukazuju na pletenine mekog i svilenkastog opipa. Niže vrednosti $2HG5$ zabeležene za funkcionalne pletenine, primena PCM supstanci (proces dorade) uticali su na promenu opipa ovih pletenina.

Vrednosti histereze sile smicanja $2HG$ za konvencionalne pletenine kreću se u rasponu od 1,17 cN·cm⁻¹ do 1,98 cN·cm⁻¹, dok se za funkcionalne pletenine kreću u rasponu od 0,92 N·m⁻¹ do 1,89 cN·cm⁻¹. Zabeležene vrednosti histereze sile smicanja $2HG5$ za konvencionalne

pletenine kreću se u rasponu od $1,21 \text{ cN}\cdot\text{cm}^{-1}$ do $2,27 \text{ cN}\cdot\text{cm}^{-1}$, dok su ove vrednosti za funkcionalne pletenine u rasponu od $0,43 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ do $1,81 \text{ cN}\cdot\text{cm}^{-1}$.

4.4.4 Kompresijska svojstva pletenih tekstilnih materijala

Rezultati kompresijskih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenina su prikazani na slikama 63, 64 i 65.



Slika 63. Srednje vrednosti rezultata deformacijskog rada *WC* pri kompresiji pletenina

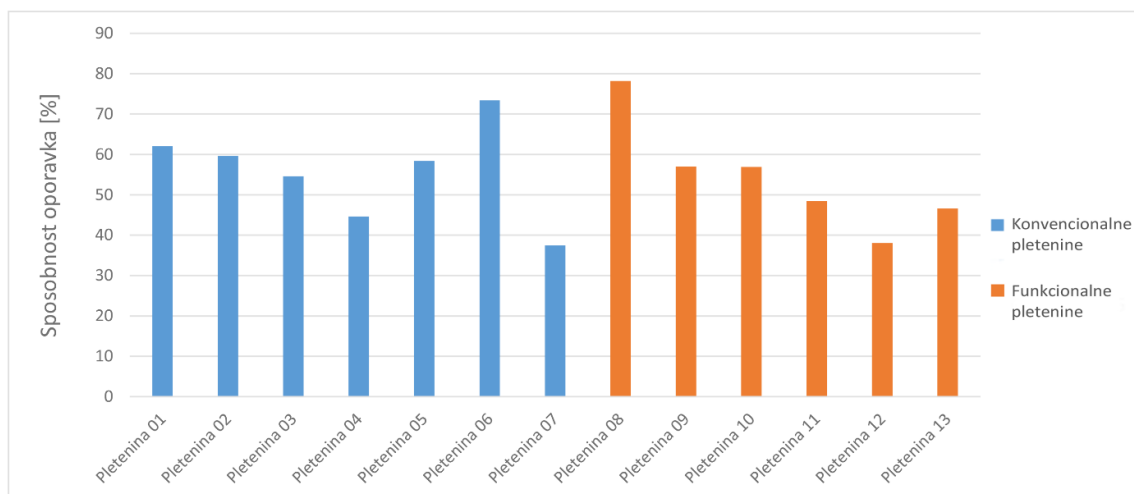
Najviše vrednosti deformacijskog rada pri kompresiji kod konvencionalnih pletenina *WC* su zabeležene kod pletenine 07 ($0,329 \text{ cN}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}$) i 04 ($0,332 \text{ cN}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}$), dok je najniža vrednost kod pletenine 02 ($0,063 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^{-2}$). Deformacijki rad pri kompresiji kao parametar je usko povezan sa debljinom pletenina. Veće *WC* vrednosti ukazuju na voluminozne tekstilne materijale, pa je zato korišćenje pamučne pređe za izradu pletenina 04 (17,35 tex) i 07 (19,46 tex) doprinelo većim *WC* vrednostima. Glatke PES pređe manjih podužnih masa doprinele su niskim *WC* vrednostima.

Analizom *WC* rezultata za pletenine u interlok prepletaju, može se uočiti da sa porastom ukupne gustine rastu i vrednosti deformacijskog rada *WC*. Veća vrednost deformacijskog rada *WC* kod pletenina u interlok prepletaju je zabeležen kod uzorka 01, zatim slede pletenine sa 03 i 02.

Kod pletenina u pike prepletaju (04, 09 i 10) sa izuzetkom pletenine 08 (pике –mrežica) je takođe primećeno da sa uvećanjem ukupne gustine rastu i *WC* vrednosti.

Analizom WC vrednosti za pletenine u desno-desnom 1:1 prepletaju 06 i 11 primećeno je da su veće vrednosti zabeležene kod pletenine 11 koja ima veću debljinu i površinsku masu.

Na slici 64 prikazani su rezultati sposobnosti oporavka RC ispitivanih pletenina.

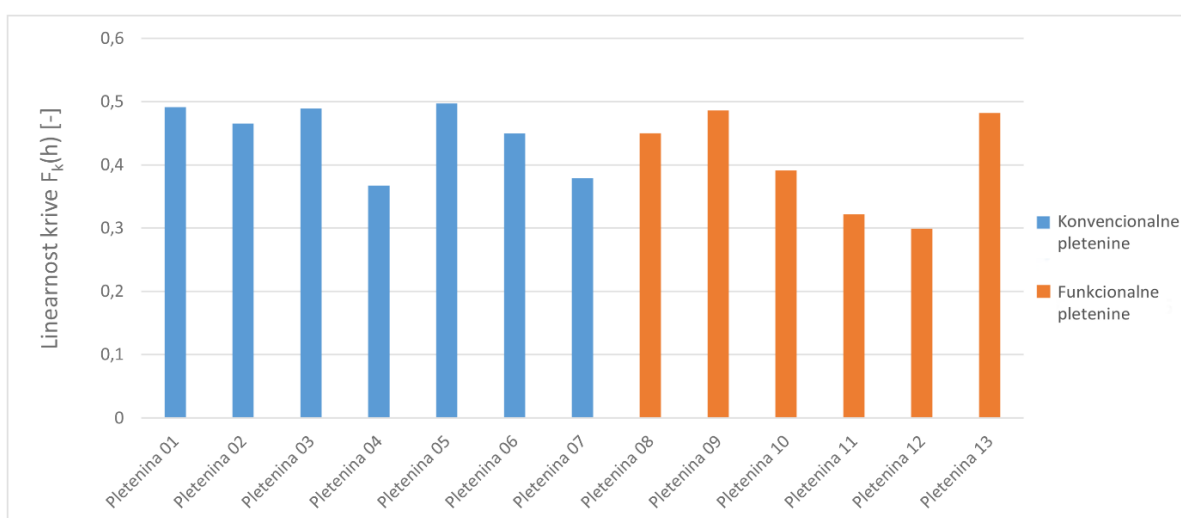


Slika 64. Srednje vrednosti rezultata sposobnosti oporavka RC pletenina

Na osnovu rezultata prikazanih na slici može se primetiti da su najveće vrednosti sposobnosti oporavka zabeležene za pletenine 08 (78,16 %) i 06 (73,38 %) dok su manje vrednosti su zabeležene kod pletenina 07 (37,48 %) i 12 (38,06 %) koje su izrađene od pamučnih pređa.

Kod funkcionalnih pletenina više vrednosti sposobnosti oporavka su zabeležene za pletenine u pike prepletaju u odnosu na pletenine u desno-desnom i desno-levom prepletaju.

Na slici 65 prikazani su rezultati srednjih vrednosti linearnosti krive LC ispitivanih pletenina.



Slika 65. Srednje vrednosti rezultata linearnosti krive LC pletenina

Linearnost krive je parametar koji daje informaciju o nelinearnosti krive tj. odstupanja od ravne linije. Za konvencionalne pletenine izrađene od PES vlakana zabeležene su više *LC* vrednosti, koje su u rasponu od 0,45 do 0,497, dok su kod pletenina 04 (50 % Co / 50 % PES) i 07 (100 % Co) zabeležene niže vrednosti, odnosno 0,367 i 0,379, po redosledu navođenja.

Za funkcionalnu pleteninu 12 (95 % Co / 5 % EL) izračunata je niska *LC* vrednost od 0,299. Za ostale funkcionalne pletenine sa visokim udelom PES vlakana zabeležene su visoke *LC* vrednosti u rasponu od 0,322 do 0,391.

Visoke *LC* vrednosti sugerišu na kompaktne pletenine veće gustine koje su kruće, dok niske vrednosti upućuju na pletenine finijeg, mekog opipa. Niže vrednosti su dobijene za pletenine sa visokim udelom Co vlakana dok su visoke *LC* vrednosti dobijene za pletenine sa visokim udelom PES i PA vlakana. To znači da i od sirovinskog sastava zavise *LC* vrednosti.

4.4.5 Površinska svojstva pletenih tekstilnih materijala

Površinska svojstva, koja su povezana sa glatkoćom tekstilnih materijala, predstavljaju koeficijent površinskog trenja (*MIU*), prosečna vrednost apsolutnog odstupanja koeficijenta površinskog trenja (*MMD*) i geometrijska hrapavost (*SMD*). Rezultati ovih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenina prikazani su u tabeli 18.

Tabela 18. Srednje vrednosti rezultata površinskih svojstva pletenina

Oznaka pletenine	Koeficijent površinskog trenja <i>MIU</i> (-)	Prosečna vrednost apsolutnog odstupanja koeficijenta trenja <i>MMD</i> (-)	Geometrijska hrapavost <i>SMD</i> (µm)
Pletenina 01	0,259	0,007	2,882
Pletenina 02	0,218	0,009	4,218
Pletenina 03	0,237	0,008	2,969
Pletenina 04	0,201	0,010	4,982
Pletenina 05	0,260	0,012	9,138
Pletenina 06	0,213	0,008	4,402
Pletenina 07	0,186	0,009	4,410
Pletenina 08	0,244	0,012	6,288
Pletenina 09	0,271	0,011	9,356
Pletenina 10	0,242	0,010	6,628
Pletenina 11	0,205	0,005	5,070
Pletenina 12	0,256	0,009	3,553
Pletenina 13	0,257	0,010	10,348

Veće vrednosti koeficijenta površinskog trenja *MIU* ukazuju na veće trenje ili otpor trenju. Rezultati koeficijenta površinskog trenja konvencionalnih pletenina se kreću u rasponu od 0,186 do 0,26 dok se kod funkcionalnih pletenina kreću u rasponu od 0,205 do 0,271.

Vrednosti *MIU* se kod pletenina u interlok prepletaju smanjuju sa smanjenjem ukupne gustine. Takođe, kod pletenina u desno-desnom 1:1 prepletaju vrednosti *MIU* opadaju sa smanjenjem debljine.

Vrednosti apsolutnog odstupanja *MMD* konvencionalnih pletenina kreću se u rasponu od 0,007 do 0,012 dok se kod funkcionalnih pletenina kreću u rasponu od 0,005 do 0,012. Najveće vrednosti *MMD* su zabeležene za pleteninu u desno-desnom saće prepletaju 05 i pleteninu u pike (mrežica) prepletaju 08, dok su najmanje kod pletenine u desno-desnom 1:1 prepletaju 11.

Kod pletenina u desno-desnom 1:1 prepletaju dolazi do smanjenja *MMD* vrednosti sa smanjenjem ukupne gustine, a kod pletenina u interlok prepletaju vrednosti *MMD* su obrnuto srazmerne gustini.

Kod funkcionalnih pletenina u pike prepletaju *MMD* vrednosti se smanjuju sa smanjenjem gustine ovih pletenina.

Vrednosti geometrijske hrapavosti *SMD* u rasponu od 2,882 μm do 4,218 μm zabeležene su kod pletenina u interlok prepletaju. Veća vrednost zabeležena je kod pletenine 02 zbog smanjene ukupne gustine.

Vidljivo je da su za pletenine izrađene u prepletajima sa kompleksnijom strukturom zabeležene veće vrednosti geometrijske hrapavosti (kod pletenine 05 u desno-desnom saće prepletaju vrednost je 9,138 μm).

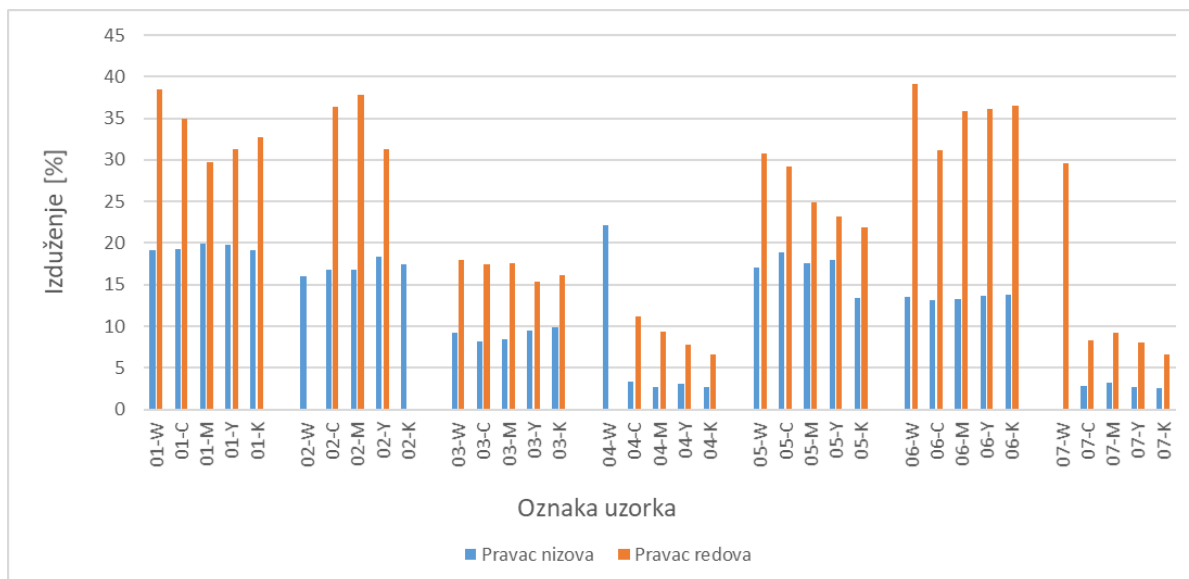
Najviše vrednosti geometrijske hrapavosti *SMD* kod funkcionalnih pletenina zabeležene su kod pletenine 13 (10,348 μm) u desno-levom perflang prepletaju i pletenine 13 (9,356 μm) u pike prepletaju. Ove pletenine imaju izuzetno komplikovane strukture što se odrazilo na rezultate geometrijske hrapavosti.

Prema tome, na parametar geometrijska hrapavost koji ukazuje na svojstva površine pletenina su u najvećoj meri uticali prepletaj i gustina pletenina.

4.5 Uticaj sublimacione transfer štampe na mehanička svojstva pletenina

4.5.1 Zatezna svojstva pletenina

Rezultati izduženja (*EMT*) konvencionalnih pletenina bez štampe i sa štamptom prikazani su na slici 66.



Slika 66. Rezultati izduženja *EMT* pletenina

Za sve PES pletenine, nakon procesa štampanja, zabeleženo je neznatno povećanje vrednosti izduženja u pravcu nizova i značajno smanjenje u pravcu redova. Tokom toplotne dorade (fiksiranje boje) došlo je do deformisanja strukture ovih pletenina, što je doprinelo povećanju elastičnosti u pravcu nizova i smanjenju u pravcu redova.

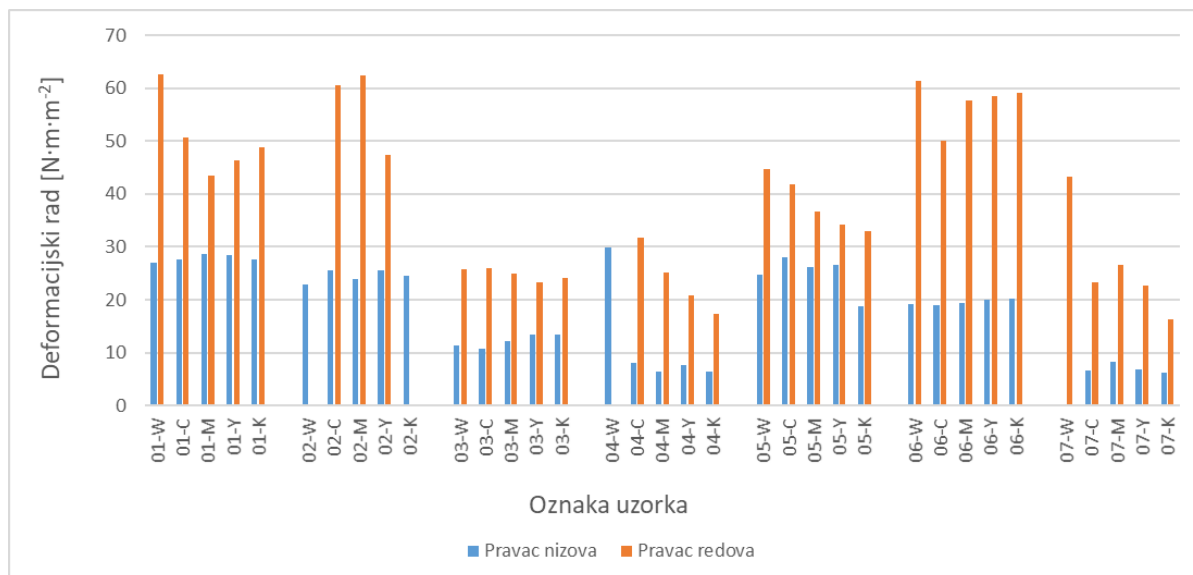
Za pletenine u interlok prepletaju 01, 02 i 03 primećen je blagi porast vrednosti izduženja u pravcu nizova nakon procesa štampanja. Veliko smanjenje vrednosti izduženja u pravcu redova u rasponu od 6,25 % do 6,64 % uočeno je za pletenine 01 nakon procesa štampanja. PES pletenina sa najnižim vrednostima izduženja pre i nakon štampanja je pletenina 03. Vrednosti izduženja za ove pletenine se kreću u rasponu od 8,13 % do 9,88 % u pravcu nizova i od 15,3 % do 17,98 % u pravcu redova. Ovako niske vrednosti izduženja ovih pletenina, kao i neznatna promena ovih vrednosti nakon primene procesa sublimacione štampe, objašnjavaju se stabilnom strukturom pletenine koja je ispletana upotrebom dve pređe.

Blago povećanje vrednosti izduženja za pletenine 05 (sa izuzetkom 05-K) je primećeno u pravcu nizova, dok je smanjenje u rasponu od 1,56 % do 8,88 % u pravcu redova zabeleženo nakon štampanja. Neznatna promena vrednosti izduženja kod pletenina u desno-desnom 1:1

prepletaju 06 je zabeležena u pravcu nizova, dok je smanjenje u rasponu od 2,71 % do 7,95 % zabeleženo u pravcu redova nakon primene štampe. Ovo se može objasniti promenom gustine ove pletenine što je bila posledica dejstva toplote u presi.

Za pletenine izrađene od pamučnih vlakana došlo je do značajnog smanjenja vrednosti izduženja nakon procesa štampanja. Za Co/PES pletenine 04, nakon procesa štampanja, zabeleženo je smanjenje vrednosti izduženja u pravcu nizova (od 4,11 % do 3,37 %) dok je za pamučne pletenine 07 zabeleženo smanjenje vrednosti izduženja u pravcu redova (od 13,3 % do 15,89 %). Ovi rezultati se objašnjavaju procesom modifikacije, odnosno sublimacioni polimerni prah je blokirao pore, smanjio elastičnost i sprečio kretanje pređe u strukturi pletenine prilikom istezanja.

Rezultati deformacijskog rada *WT* konvencionalnih pletenina bez štampe i sa štamptom prikazani su na slici 67.



Slika 67. Rezultati deformacijskog rada *WT* pletenina

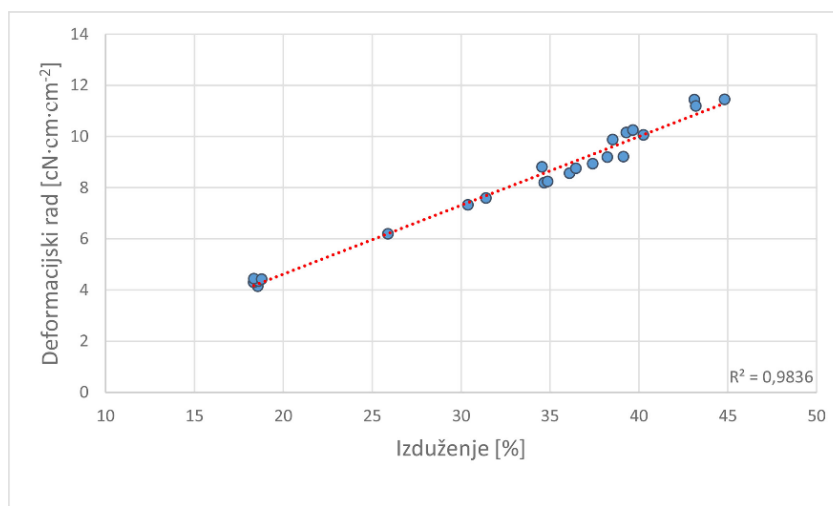
Nakon analize rezultata deformacijskog rada može se zaključiti da su za sve PES pletenine značajno veće vrednosti zabeležene u pravcu redova.

Primećen je blagi porast deformacijskog rada u pravcu nizova nakon procesa štampanja za PES pletenine u interlok prepletaju 01, dok su zabeležena značajna smanjenja *WT* vrednosti u pravcu redova. Slični rezultati su zabeleženi za PES pletenine oznaka 02 i 06. Najmanji uticaj sublimacione štampe na vrednosti deformacijskog rada zabeležen je za PES pletenine u interlok prepletaju 03. Ovakvim rezultatima doprinela je činjenica da je pletenina izrađena korišćenjem dve pređe, što je značajno ojačalo njenu strukturu.

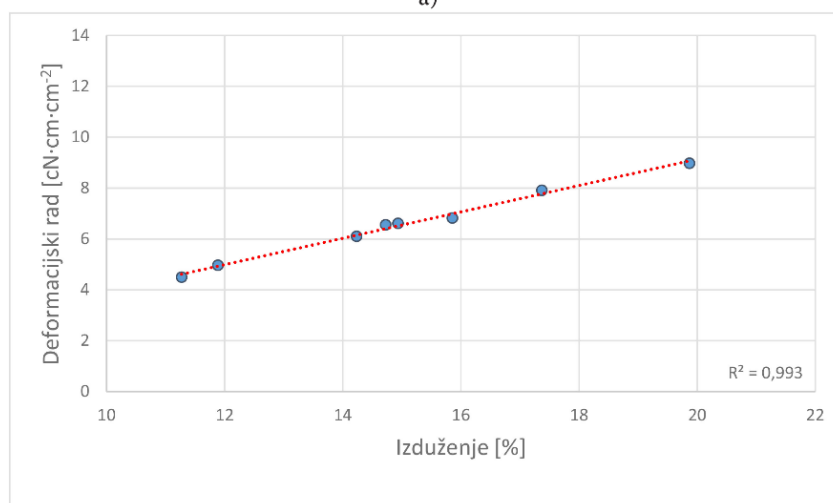
Ako se razmatra uticaj prepletaja PES pletenina (01, 02 i 05) izrađenih od iste pređe na *WT* rezultate, najniže vrednosti zabeležene su za pletenine u desno-desnom saće prepletaju u poređenju sa pleteninama u interlok prepletaju.

Za Co/PES pleteninu u pike prepletaju 04 primetno smanjenje *WT* vrednosti je zabeleženo u pravcu nizova nakon procesa štampe. Nije bilo moguće izmeriti *WT* vrednost za neštampani uzorak (04-W) u pravcu redova. Kod pamučne pletenine u desno-levom prepletaju 07 primećeno je smanjenje *WT* vrednosti u pravcu redova. Proces modifikacije je smanjio elastičnost, što se dalje odrazilo na smanjenje *WT* vrednosti ovih pletenina.

Na slici 68a prikazana je zavisnost deformacijskog rada *WT* od izduženja (*EMT*) za PES, dok je na slici 68b prikazana ova zavisnost za pamučne i Co/PES pletenine.



a)



b)

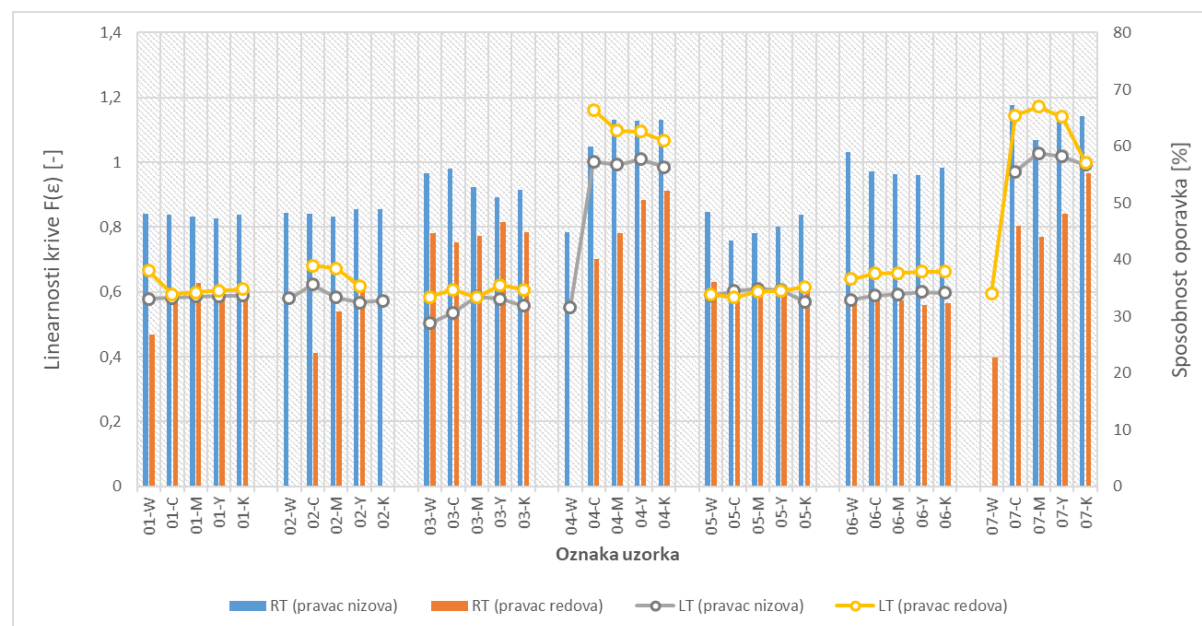
Slika 68. Zavisnost deformacijskog rada *WT* od izduženja *EMT*:

a) za PES pletenine i b) za Co/PES i pamučne pletenine

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 68a, može se zaključiti da je zavisnost WT od izduženja za PES pletenine linearna na šta ukazuje visoka vrednost koeficijenta linearnosti podataka R^2 (0,983).

Analizom rezultata prikazanih na slici 68b, takođe se može zaključiti da je zavisnosti WT od izduženja za Co i Co /PES pletenine linearna što se može videti iz R^2 vrednosti (0,993).

Na slici 69 prikazani su rezultati sposobnosti oporavka RT i linearnosti krive $F(\epsilon)$ LT analiziranih pletenina.



Slika 69. Rezultati sposobnosti oporavka RT i linearnosti krive $F(\epsilon)$ LT pletenina

Za PES pletenine u interlok prepletaju 01 zabeleženo je blago umanj enje RT vrednosti u pravcu nizova dok je značajano uvećanje RT vrednosti zabeleženo u pravcu redova u odnosu na uzorak bez štampe. Slične promene u RT vrednostima zabeležene su za PES pletenine 01 i 02 nakon procesa štampe. Za pletenine sa oznakama 02-W (u pravcu redova) i 02-K (u pravcu nizova) nije bilo moguće odrediti RT vrednosti zbog kidanja ovih uzoraka tokom ispitivanja zateznih svojstava.

Kod PES pletenine 05 i 06 zabeležena je neznatna promena RT vrednosti nakon procesa štampanja. Smanjenje RT vrednosti u rasponu od 0,40 % do 5,05 % u pravcu nizova i u rasponu od 0,23 % do 3,33 % u pravcu redova je izmereno za PES pletenine u desno-desnom saće prepletaju 05 nakon procesa štampanja.

Proces štampe je uticao na smanjenje RT vrednosti u rasponu od 2,27 % (06-K) do 4,07 % (06-Y) u pravcu nizova kod PES pletenina 06 u desno-desnom prepletaju. Takođe,

zabeleženo je smanjenje *RT* vrednosti u rasponu od 2,27 % (06-K) do 4,07 % (06-Y) u pravcu nizova pletenina 06 kao i neznatno povećanje *RT* vrednosti u pravcu redova sa izuzetkom uzoraka 06-Y i 06-C gde je zabeleženo smanjenje ovih vrednosti.

Više *RT* vrednosti zabeležene su za pamučne i Co/PES štampane pletenine u poređenju sa PES pleteninama. Došlo je do uvećanja *RT* vrednosti u pravcu nizova (od 15,69 % do 19,82 %) nakon procesa štampe za Co/PES pletenine 04. Pored toga, povećanje vrednosti *RT* u rasponu od 11,35 % do 21,21 % u pravcu redova zabeleženo je za pamučne pletenine 07.

Iz dobijenih rezultata sposobnosti oporavka se može videti da je proces sublimacione štampe imao manji uticaj na PES u odnosu na pamučne i Co/PES pletenine.

Više *LT* vrednosti su dobijene u pravcu redova za sve pletenine. U slučaju PES pletenina u interlok prepletaju 01, nakon štampe uočeno je smanjenje *LT* vrednosti u pravcu redova u rasponu od 9,17 % do 10,08 % i neznatne promene u pravcu nizova. Kod PES pletenine u interlok prepletaju 03, zabeleženo je povećanje *LT* vrednosti u pravcu nizova (od 6,56 % do 14,91 %) i u pravcu redova (od 3,94 % do 6,34 %) nakon štampanja.

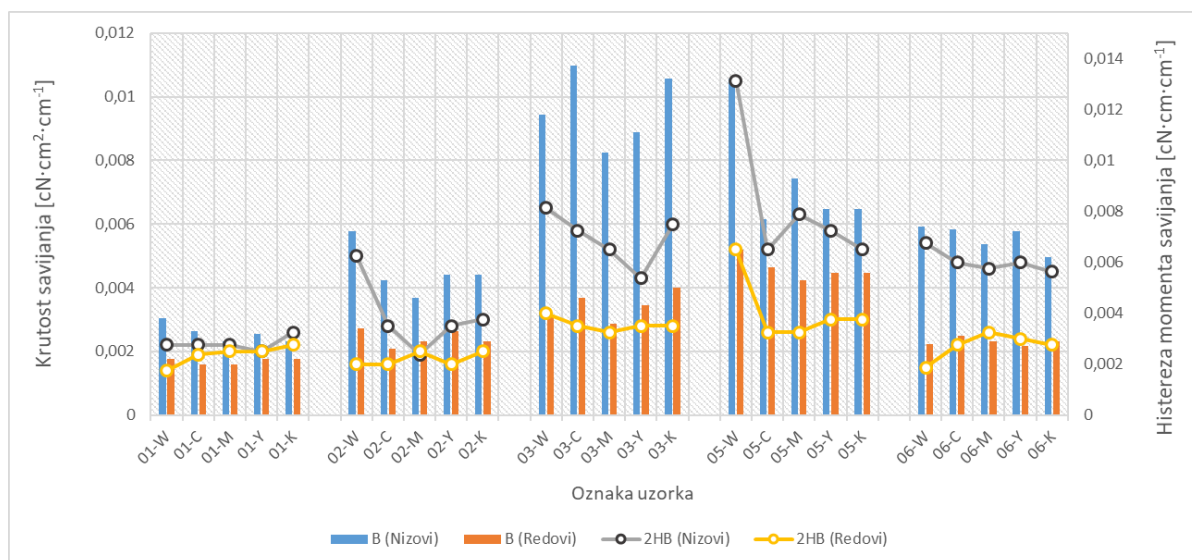
Kod PES pletenina 05 i 06 primećeno je blago smanjenje *LT* vrednosti u pravcu redova i nizova nakon procesa štampanja. Ako se razmatra uticaj prepletaja može se zaključiti da su pletenine 01 i 05 (pletene istom pređom) veće *LT* vrednosti kod 01. Ovo sugeriše da je komplikovana struktura desno-desnog saće prepletaja doprinela manjoj promeni *LT* vrednosti nakon štampanja.

Za pamučne i Co/PES pletenine došlo je do značajnog povećanja *LT* vrednosti nakon štampanja. Vrednosti *LT* u rasponu od 0,99 do 1,00 u pravcu nizova i od 1,07 do 1,16 u pravcu redova zabeležene su za štampane Co/PES pletenine 04. Za pamučne štampane pletenine 07, zabeležene su *LT* vrednosti u rasponu od 0,97 do 1,03 u pravcu nizova i od 1,00 do 1,14 u pravcu redova.

Povećanje *LT* vrednosti u rasponu od 78,12 % do 82,64 % zabeleženo je za Co/PES pletenine u pravcu nizova, dok je povećanje u rasponu od 67,79 % do 96,64 % zabeleženo za pamučne pletenine u pravcu redova. Visoke *LT* vrednosti ukazuju da je došlo do smanjenja elastičnosti štampanih pletenina kao i negativnog uticaja na opip pletenina.

4.5.2 Svojstva savijanja pletenina

Rezultati krutosti savijanja *B* i histereze momenta savijanja *2HB* konvencionalnih pletenina bez i sa štampom prikazani su na slikama 70 i 71.



Slika 70. Rezultati krutosti savijanja *B* i histereza momenta savijanja *2HB* PES pletenina

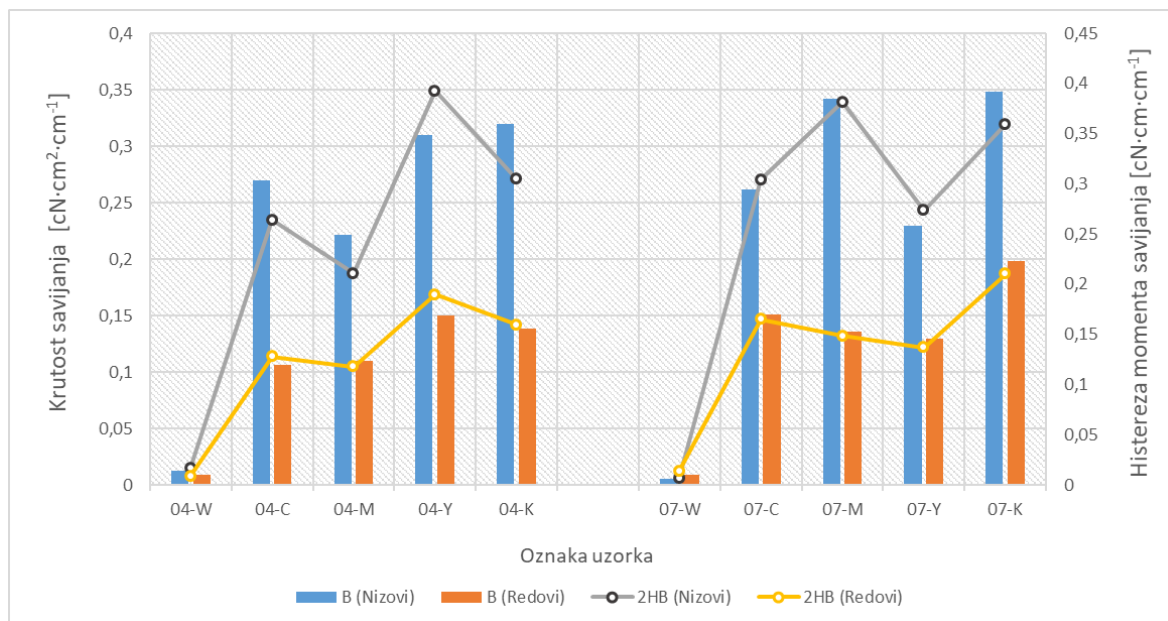
Na osnovu analize rezultata prikazanih na slikama 70 i 71 može se zaključiti da je proces štampe različito uticao na promenu svojstava savijanja ispitivanih pletenina.

Kada se uporede promene *B* i *2HB* vrednosti PES pletenina u interlok prepletaju sa 01 i 02 (izrađenih do iste pređe sa različitim gustinama) nakon procesa štampe, značajnije veće vrednosti su zabeležene kod pletenine 02. Kako su svojstva savijanja usko povezana sa elastičnošću pletenina, niže vrednosti *B* i *2HB* interlok pletenina 01 su zahvaljujući većim vrednostima istezanja ovih pletenina u odnosu na ostale dve pletenine u interlok prepletaju.

Pletenine 01 imaju kompaktnu strukturu, najveću ukupnu gustinu u odnosu na ostale pletenine u interlok prepletaju što je doprinelo da na njih proces štampe najmanje utiče. Zabeležene su male promene vrednosti krutosti savijanja *B* nakon procesa štampe za pletenine sa oznakom 01. Neznatne promene *2HB* vrednosti zabeležene su u pravcu nizova sa izuzetkom uzorka 01-K gde je primećen porast od 18,2 %, nakon procesa štampe. Zabeležen je blagi porast *2HB* vrednosti u pravcu redova nakon procesa štampe za pletenine 01. Najveći porast *B* i *2HB* vrednosti kod pletenina u interlok prepletaju je zabeležen za pletenine 03, što ukazuje da su ove pletenine okarakterisane većom krutošću u odnosu na ostale uzorke u interlok prepletaju. Ovi rezultati se objašnjavaju upotrebom dve pređe pri izradi ovih pletenina, što je uvećalo kompaktnost i smanjilo pokretljivost pređa pri savijanju.

Smanjanje B i $2HB$ vrednosti je zabeleženo za PES pletenine 05 u desno-desnom saće prepletaju nakon procesa štampe. Smanjenje B vrednosti je u rasponu od 29,55 % do 41,67 % u pravcu nizova i u rasponu od 10,77 % do 18,46 % u pravcu redova nakon procesa štampe. Pored toga, proces štampe doprineo je smanjenju $2HB$ vrednosti u rasponu od 40 % do 50,48 % u pravcu redova i od 42,31 % do 50 % u pravcu nizova. Analizom dobijenih rezultata može se zaključiti da se krutost pri savijanju ovih pletenina smanjila u oba pravca nakon procesa štampe.

Smanjenje $2HB$ vrednosti u pravcu nizova i uvećanje u pravcu redova je zabeleženo za PES pleteninu u desno-desnom prepletaju 06 nakon procesa štampe. Smanjenje $2HB$ vrednosti se nalazi u rasponu od 11,11 % (06-C) do 16,67 % (06-K) u pravcu nizova i u rasponu od 46,67 % (06-K) do 73,33 % (06-M) u pravcu redova nakon procesa štampe. Manje promene vrednosti krutosti savijanja B nakon procesa štampe su zabeležene za ove pletenine.



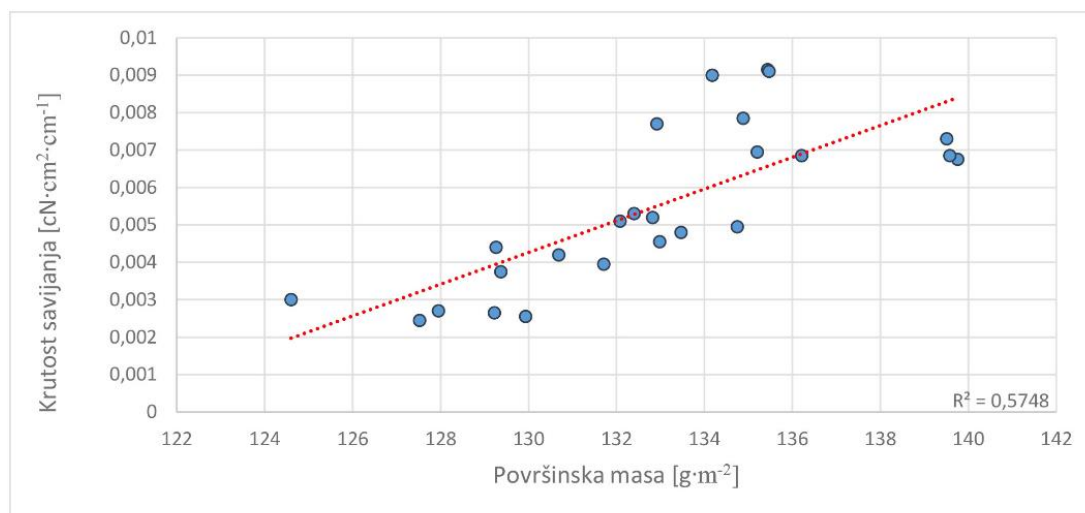
Slika 71. Rezultati krutost savijanja B i histereza momenta savijanja $2HB$ pamučnih i Co/PES pletenina

Kao što se može videti sa slika 70 i 71, značajno više B i $2HB$ vrednosti su zabeležene za pamučne i Co/PES u odnosu na PES pletenine. Vrednosti krutost savijanja B su se nakon procesa štampe za Co/PES pletenine 04 uvećale u rasponu od 17,9 do 24,66 puta u pravcu nizova i od 11,2 puta do 16,7 puta u pravcu redova. Pored toga, $2HB$ vrednosti su se uvećale u rasponu od 12,4 puta do 23,1 puta u pravcu nizova i od 13,1 puta do 21,1 puta u pravcu redova.

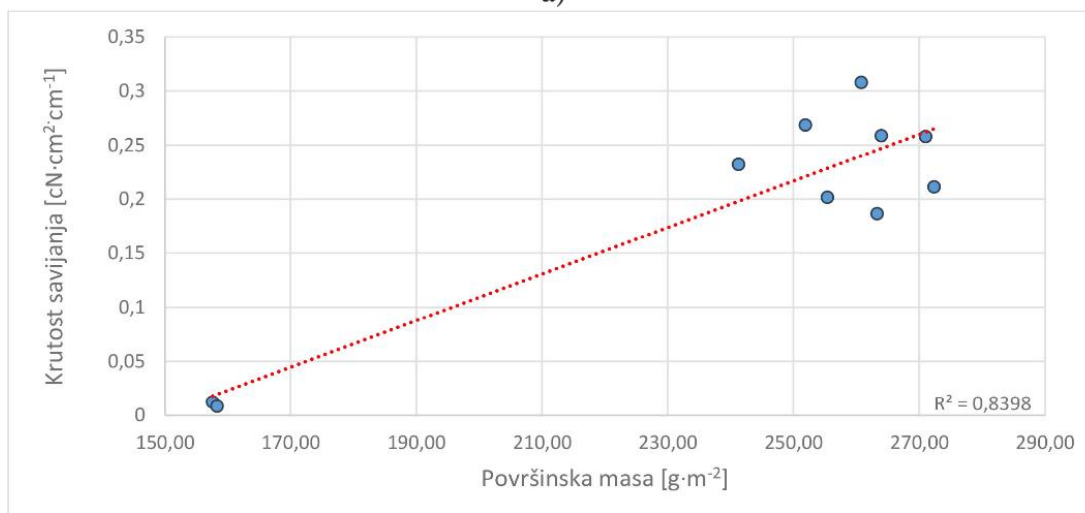
Uvećanje vrednosti krutosti savijanja kod pamučnih pletenina 07 kreće se u rasponu od 39,69 puta do 60,3 puta u pravcu nizova i od 14,1 puta do 21,7 puta u pravcu redova, dok se 2HB vrednosti uvećavaju od 43,6 puta do 54,7 puta u pravcu nizova i od 9,7 puta do 14,9 puta u pravcu redova nakon procesa štampe.

Značajno uvećanje B i 2HB vrednosti ukazuje da je proces modifikacije doprineo značajnom uvećanju krutosti i smanjenju elastičnosti ovih pletenina. Promene strukture pletenina su nastale zasićenjem štamparskom bojom i polimernim prahom ugrađenim u pore pređa i pletenine što ih je učinilo izuzetno krutim i neelastičnim.

Na slici 72 prikazana je zavisnost krutosti savijanja B od površinske mase za PES kao i za pamučne i Co/PES pletenine.



a)



b)

Slika 72. Zavisnost krutosti savijanja B od površinske mase

a) PES pletenina i b) pamučnih i Co/PES pletenina

Zavisnost krutosti savijanja od površinske mase za PES pletenine su slabo linearne, što je potvrđeno na osnovu R^2 vrednosti koja iznosi 0,5748, dok ova zavisnost kod pamučnih i Co/PES pletenina je zadovoljavajuća u pogledu linearnosti, što se može videti iz R^2 vrednosti koja iznosi 0,8398.

4.5.3 Svojstva smicanja pletenina

Rezultati svojstava smicanja pletenina sa i bez štampe prikazani su u tabeli 19.

Analizom rezultata svojstava smicanja nakon procesa sublimacione štampe dobijenih za PES pletenine u interlok prepletaju 01, 02 i 03, blago povećanje vrednosti krutosti smicanja G i histereze sile smicanja $2GH$ i $2HG5$ su zabeležene za štampane pletenine 01 i 03 kako u pravcu nizova tako i pravcu redova. Smanjenje G vrednosti u rasponu od 3,64 % do 5,45 % u pravcu nizova i od 1,85 % do 3,7 % (sa izuzetkom 02-K uzorka gde nije bilo promene) u pravcu redova zabeležen je za štampane pletenine 02 u odnosu na uzorak bez štampe. Pletenine 02 imaju manju ukupnu gustinu i površinsku masu u poređenju sa drugim pleteninama u interlok prepletaju što je doprinelo najnižoj krutosti smicanja.

Zabeleženo je smanjenje svih parametara smicanja u pravcu nizova i redova nakon procesa štampanja za PES pletenine 05 u desno-desnom saće prepletaju. Smanjenje vrednosti G se kreće u rasponu od 6,67 % do 15,56 % u pravcu nizova i u rasponu od 7,78 % do 17,98 % u pravcu redova nakon procesa štampanja. Nakon primene toplote i pritiska u presi dolazi do promene strukturnih svojstava ovih pletenina što se odrazilo na poboljšanje parametara svojstava smicanja ovih pletenina.

Za PES pletenine u desno-desnom 1:1 prepletaju 06 zabeležen je porast vrednosti krutosti smicanja u pravcu nizova u rasponu od 5,41 % do 44,59 % i pravcu redova u rasponu od 1,47 % do 50,00 % (sa izuzetkom 06-C uzorka gde je zabeleženo smanjenje od 5,88 %) u odnosu na uzorak bez štampe.

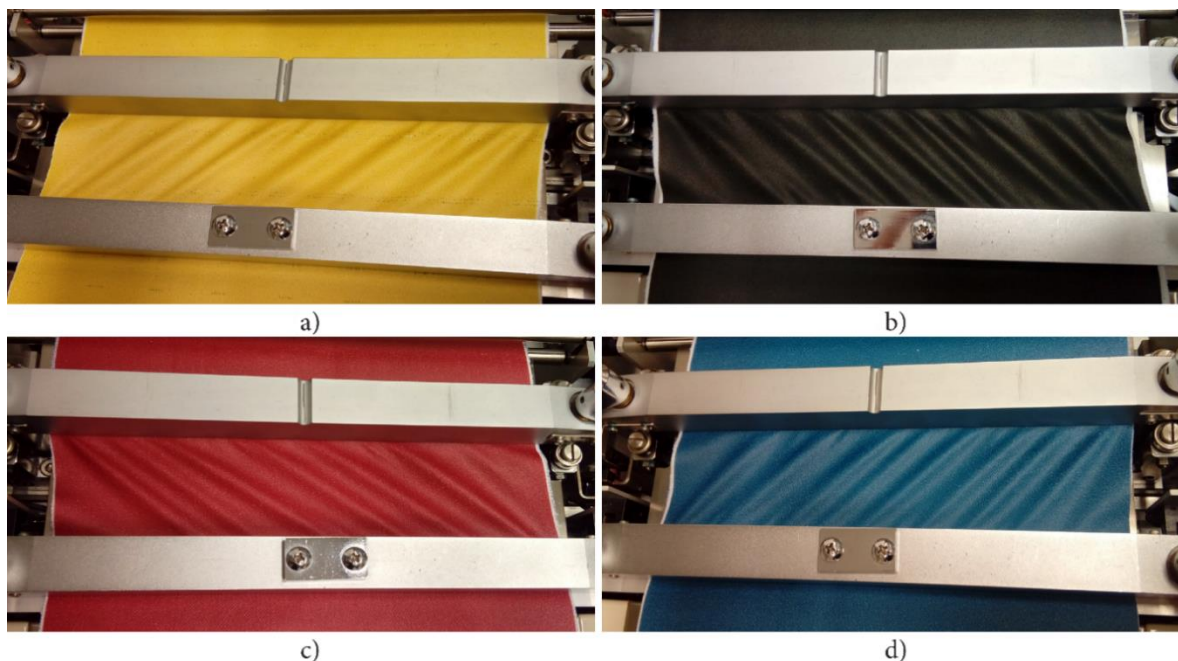
Upotreba toplote i pritiska u presi doprinela je promeni strukturnih parametara PES pletenina (sa izuzetkom pletenina 06), kao i poboljšanju pokretljivosti pređe u strukturi pletenine i smanjenju otpornosti pri izlaganju kod opterećenja pri smicanju.

Tabela 19. Rezultati svojstva smicanja pletenina

Oznaka uzorka	Krutost smicanja G (cN·cm ⁻¹ ·st ⁻¹)		Histereza sile smicanja $2HG$ (cN·cm ⁻¹)		Histereza sile smicanja $2HG5$ (cN·cm ⁻¹)	
	Pravac nizova	Pravac redova	Pravac nizova	Pravac redova	Pravac nizova	Pravac redova
01-W	0,65	0,68	1,54	1,87	1,50	2,38
01-C	0,69	0,75	1,45	1,99	1,57	2,36
01-M	0,74	0,74	1,52	1,99	1,62	2,43
01-Y	0,68	0,77	1,67	2,06	1,70	2,53
01-K	0,77	0,75	1,54	2,13	1,64	2,55
02-W	0,55	0,54	0,98	1,35	1,13	1,40
02-C	0,52	0,53	0,99	1,25	1,08	1,45
02-M	0,53	0,53	0,91	1,23	1,11	1,37
02-Y	0,52	0,52	1,03	1,18	1,16	1,35
02-K	0,55	0,53	1,03	1,45	1,21	1,50
03-W	0,90	0,89	1,55	1,89	1,55	2,26
03-C	0,96	0,96	1,55	2,11	1,79	2,57
03-M	0,96	1,01	1,62	2,13	1,96	2,70
03-Y	1,04	1,05	1,79	2,11	1,89	2,65
03-K	0,97	1,02	1,79	2,13	1,72	2,55
04-W	0,73	0,73	1,15	1,67	1,57	2,09
04-C	24,62	22,60	28,06	27,03	49,42	52,87
04-M	24,29	20,16	28,05	28,79	51,16	55,42
04-Y	31,82	25,70	26,51	30,48	42,85	45,79
04-K	33,68	33,09	19,38	21,98	44,15	46,19
05-W	0,82	0,81	1,92	1,79	2,23	2,31
05-C	0,78	0,61	1,57	1,33	2,03	1,84
05-M	0,78	0,63	1,52	1,38	1,94	1,79
05-Y	0,73	0,61	1,57	1,40	1,96	1,86
05-K	0,78	0,63	1,45	1,30	1,84	1,81
06-W	0,74	0,68	0,57	0,91	0,81	1,60
06-C	0,83	0,64	0,25	0,69	0,32	1,28
06-M	1,07	1,02	1,52	2,72	1,30	2,92
06-Y	1,05	1,02	1,57	2,50	1,20	2,92
06-K	0,78	0,69	0,42	1,23	0,30	1,55
07-W	0,69	0,66	2,33	1,62	2,58	1,69
07-C	27,11	28,40	26,91	21,47	43,56	57,95
07-M	36,77	33,82	24,11	22,40	34,28	46,94
07-Y	43,48	43,20	19,95	21,15	36,09	37,85
07-K	30,98	32,36	29,21	27,69	29,94	33,49

Uočeno je izuzetno veliko uvećanje G , $2GH$ i $2HG5$ vrednosti za Co/PES (oznake 04) i za pamučne (oznake 07) pletenine kako u pravcu nizova tako i u pravcu redova nakon procesa štampe. Uvećanje vrednosti krutosti smicanja G u pravcu nizova u rasponu od 33,3 do 46,1 puta i u pravcu redova u rasponu od 27,6 do 45,3 puta je zabeleženo za Co/PES pletenine 04. Povećanje $2HG$ vrednosti u odnosu na uzorak bez štampe kreće se od 16,9 do 24,4 puta u pravcu nizova i od 13,2 do 18,3 puta u pravcu redova. Povećanje vrednosti $2HG5$ kod pletenina 04 kreće od 27,3 do 32,6 puta u pravcu nizova i od 21,9 do 26,5 puta u pravcu redova u poređenju sa uzorkom bez štampe. Za pamučne pletenine 07, vrednost krutosti smicanja G nakon štampanja se povećavaju u rasponu od 39,3 do 60 puta u pravcu nizova i od 39,2 do 63 puta u pravcu redova u odnosu na uzorak bez štampe. Zabeležen je porast $2HG$ vrednosti u rasponu od 8,6 do 12,5 u pravcu nizova i od 13,1 do 17,1 puta u pravcu redova za pletenine sa 04 oznakom nakon procesa štampe. Pored toga, povećanje $2HG5$ vrednosti u rasponu od 11,6 do 16,9 puta u pravcu nizova i 19,8 do 34,3 puta u pravcu redova je zabeleženo za ove pletenine u odnosu na uzorak bez štampe.

Na slici 73 prikazan je izgled štampanih pletenina 04 u toku testiranja svojstava smicanja na KES-FB1 testeru.



Slika 73. Ispitivanje svojstava smicanja pletenina 04 na KES-FB1 testeru:

a) uzorak 04-Y, b) uzorak 04-K, c) uzorak 04-M i d) uzorak 04-C

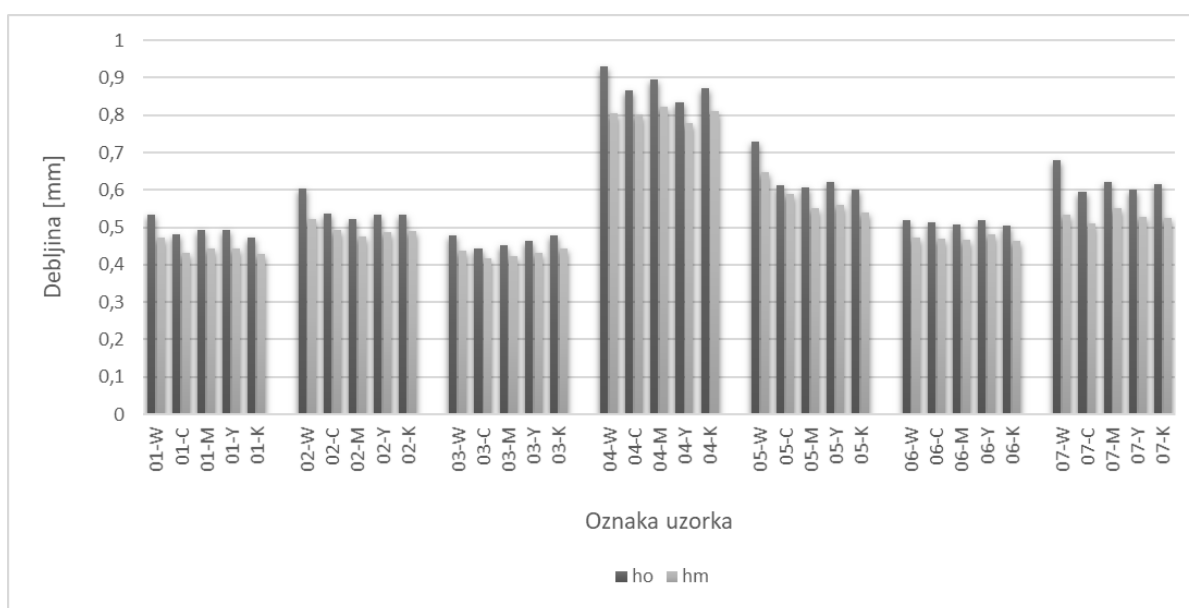
Sa slike se može videti da su Co/PES štampane pletenine izuzetno krute, što je vidljivo po višestrukim naborima koji su nastali tokom primene opterećenja smicanja. Tako veliko povećanje vrednosti krutosti smicanja za pamučne i Co/PES pletenine je uzrokovano upotrebom polimernog praha, koji se ugradio u pore pletenine i značajno smanjio pokretljivost pređe u strukturi pletenina. Sublimacioni polimerni prah je stvorio površinski sloj na ovim pleteninama i izmenio njihovu strukturu, koja je postala neelastična i kruta. Kao rezultat modifikacije, došlo je do značajnog smanjenja elastičnosti i uticalo na ponašanje pletenina pri primeni opterećenja smicanja.

Visoke vrednosti G i $2HG$ dovode do lošeg drapiranja i ukazuju na poteškoće kada se velike površine štampanih pletenina koriste u proizvodnji odevnih predmeta. Pored toga, nemogućnost tekstilnog materijala da se deformiše i prilagodi telu osobe tokom kretanja rezultuje odećom sa lošim svojstvima ergonomske udobnosti što je od izuzetnog značaja pri odabiru tekstilnog materijala za izradu sportske odeće.

4.5.4 Kompresijska svojstva pletenina

Rezultati istraživanja dati su u obliku promena sledećih kompresijskih svojstava pletenina: debljina (h_0 i h_m), kompresibilnost (C), deformacijski rad pri kompresiji (WC), linearnost krive (LC), sposobnost oporavka (RC) i specifična zapremina (V_{sp}).

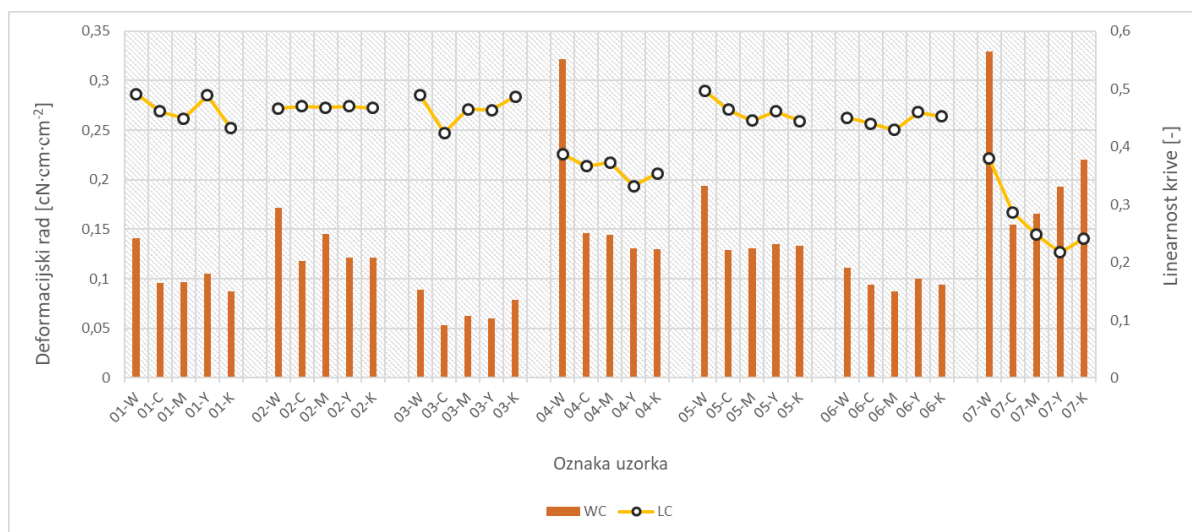
Rezultati debljine konvencionalnih pletenina, izmerene pri dva različita kompresijska opterećenja, predstavljeni su na slici 74.



Slika 74. Rezultati debljina pletenina izmerena pri dva različita kompresijska opterećenja

Sa povećanjem kompresijskog opterećenja smanjuje se debljina pletenina bez i sa štampom. Smanjenje debljina h_0 i h_m primećeno je nakon primene sublimacione štampe, što je posledica pritiska u presi tokom procesa fiksiranja boje. Kod PES štampanih pletenina primećeno je blago smanjenje h_m u odnosu na h_0 vrednosti, dok je u slučaju kod pamučnih i Co/PES pletenina izraženije smanjenje h_m vrednosti.

Rezultati deformacijskog rada pri kompresiji WC i linearnosti krive LC pletenina prikazani su na slici 75.



Slika 75. Rezultati deformacijskog rada pri kompresiji WC i linearnosti krive LC pletenina

Smanjenje WC vrednosti zabeležen je za sve pletenine nakon primene procesa štampe. Za uzorke bez štampe najviše WC vrednosti zabeležene su za pamučne ($0,322 \text{ cN}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}$) i Co/PES ($0,329 \text{ cN}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}$) pletenine, ali nakon primene postupka štampe dolazi do značajnijeg smanjenja ovih vrednosti. Za Co/PES pletenine u pike prepletaju zabeleženo je smanjenje WC vrednosti u rasponu od 54,66 % do 59,63 %, dok je smanjenje u rasponu od 33,13 % do 52,89 % za pamučne pletenine u desno-levom prepletaju 07.

Najmanji procenat smanjenja WC vrednosti (od 15,32 % do 21,62 %) zabeležen je kod pletenina u desno-desnom prepletaju 06. Ova pletenina je pletena pređom najveće podužne mase (11,11 tex) i ima najveću površinsku masu u poređenju sa ostalim PES konvencionalnim pleteninama. Pored toga, pletenina ima visoku vrednost ukupne gustine. Svi ovi faktori doprineli su stabilnoj strukturi na koju je kompresijsko opterećenje imalo najmanji uticaj nakon procesa štampe.

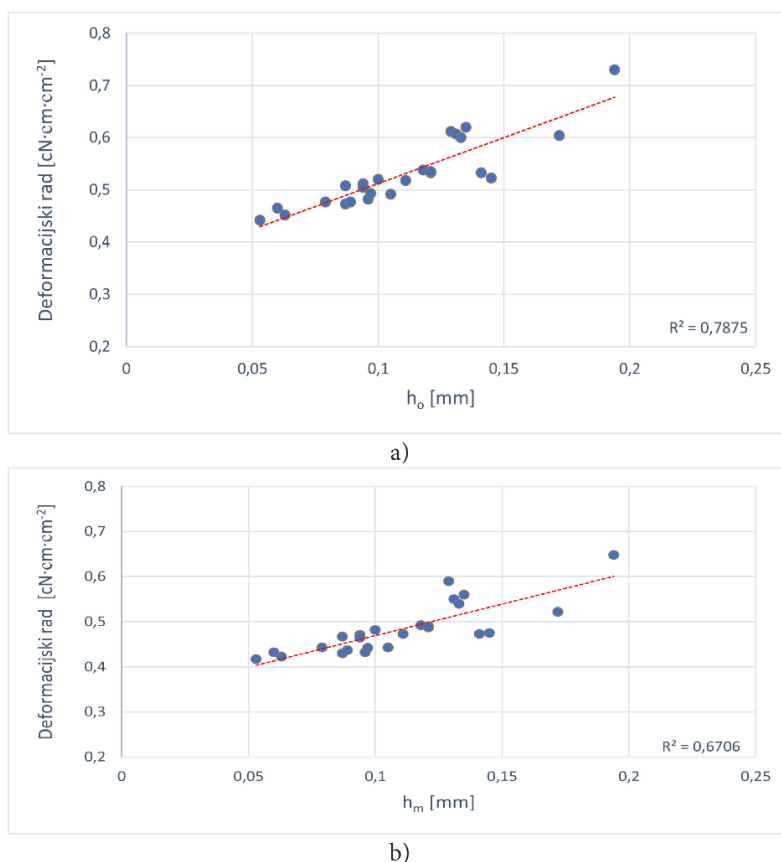
Za pletenine sa oznakama 01, 02 i 05 (izrađene od iste pređe 7,40 tex) može se zaključiti da se WC vrednosti povećavaju sa uvećanjem debljine pletenina.

Smanjenje WC vrednosti ukazuje da su pletenine imale smanjenu „voluminoznost“ nakon primene postupka štampe, što je posledica procesa fiksiranja, tj. korišćenja pritiska i toplote u toplotnoj presi.

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 75, vidljivo je da je za uzorke PES pletenina došlo do blagih promena LC vrednosti nakon procesa štampanja. Kod pletenina u interlok prepletaju zabeleženo je smanjenje LC vrednosti u rasponu od 0,41 % do 12,02 % za pletenine 01 i u rasponu od 0,41 % do 13,29 % za pletenine 03. Za pletenine 02 zabeležena je neznatna promena LC vrednosti nakon štampe.

Kod PES pletenina u saće prepletaju 05 zabeleženo je smanjenje LC vrednosti u rasponu od 7,24 % do 10,46 % u odnosu na uzorak bez štampe. Za Co/PES pletenine sa 04 oznakom zabeleženo je smanjenje LC vrednosti u rasponu od 3,62 % do 14,21 % nakon procesa štampanja. U slučaju pamučnih pletenina u desno-levom prepletaju 07 zabeleženo je značajno smanjenje LC vrednosti (od 24,54 % do 42,74 %) nakon procesa štampe.

Zavisnost deformacijskog rada WC od debljina h_0 i h_m za PES, kao i za pamučne i Co/PES pletenine prikazana je na slici 76.

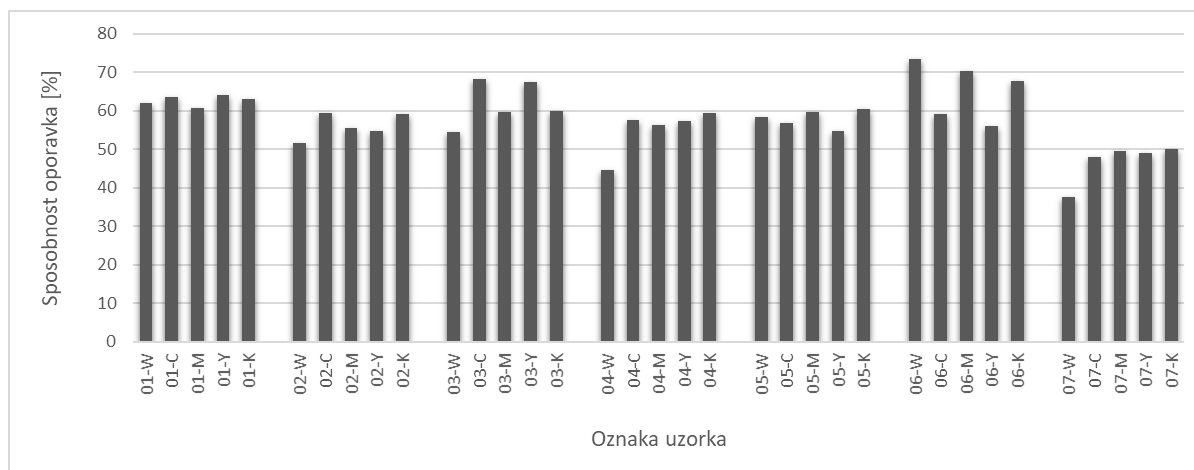


Slika 76. Zavisnost deformacijskog rada pri kompresiji WC PES pletenina od:

a) debljine h_0 i b) debljine h_m

Na osnovu rezultata sa slike, može se zaključiti da između WC i debljine h_0 za PES pletenine postoji dobra linearna zavisnost što je takođe vidljivo iz vrednosti R^2 (0,7875) dok je za zavisnost WC od debljine h_m vrednost R^2 (0,6706) nešto manje izražena.

Rezultati sposobnosti oporavka RC analiziranih pletenina predstavljeni su na slici 77.

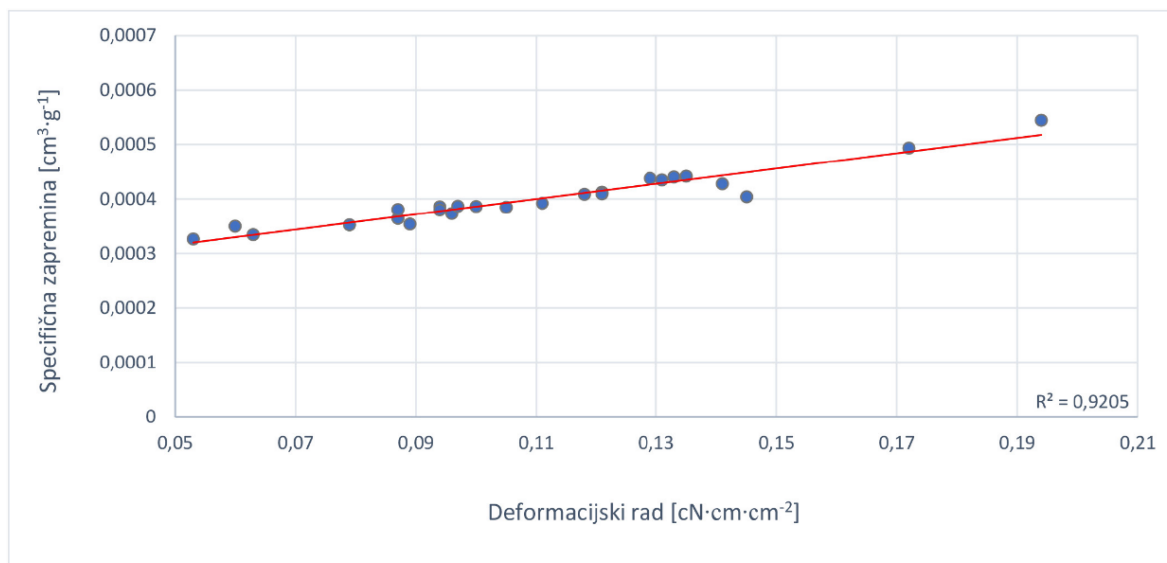


Slika 77. Rezultati sposobnosti oporavka RC pletenina

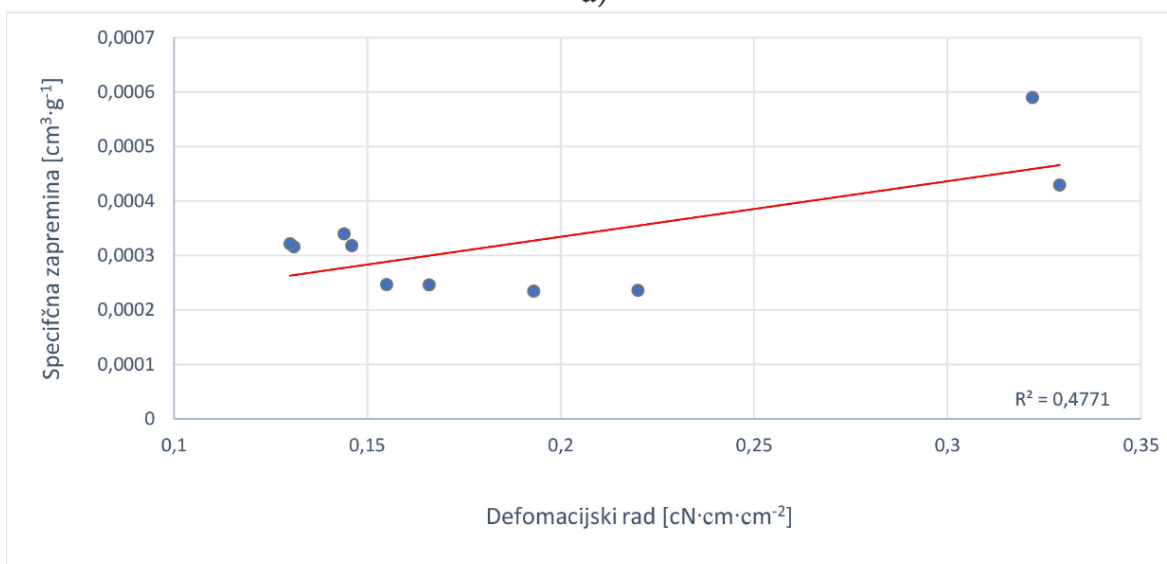
Kao što se vidi sa slike, veće RC vrednosti dobijene su za PES pletenine (od 51,60 % do 73,38 %) u poređenju sa Co/PES (od 44,63 % do 59,46 %) i pamučnim (od 37,48 % do 50,05 %) pleteninama. Zabeležena je neznatna promena RC vrednosti nakon postupka štampanja kod PES interlok pletenina 01, 02 i 05 koje su pletene upotrebom iste pređe (7,40 tex) dok, je za pletenine u interlok prepletaju 03 zabeleženo uvećanje u rasponu od 5,02 % do 13,61 %.

Izraženija promena RC vrednosti zabeležena je za pamučne i Co/PES pletenine nakon procesa štampanja. Uvećanje RC vrednosti u rasponu od 11,67 % do 14,83 % zabeleženo je za Co/PES pletenine u pike prepletaju 04, dok je uvećanje u rasponu od 10,43 % do 12,57 % zabeleženo za pamučne pletenine 07 nakon procesa štampe. Dobijeni rezultati se mogu objasniti promenom strukture pletenih tekstilnih materijala, što je posledica procesa modifikacije. Više vrednosti sposobnosti oporavka RC daju mekši, puniji i glatkiji opip tekstilnog materijala.

Na slici 78a, prikazana je zavisnost V_{sp} od WC za PES pletenine, dok je na slici 78b prikazana ova zavisnost za Co/PES i pamučne pletenine.



a)



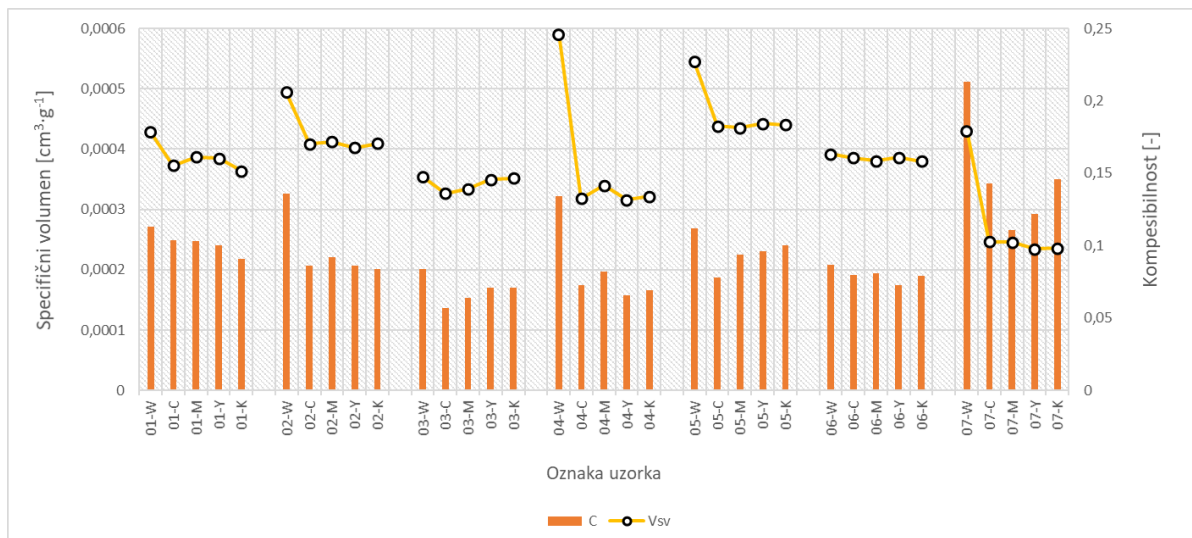
b)

Slika 78. Zavisnost specifične zapremine V_{sp} od deformacijskog rada pri kompresiji WC:

a) za PES pletenine i b) za pamučne i Co/PES pletenine

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 78a, može se primetiti da je zavisnost V_{sp} od WC za PES pletenine sasvim zadovoljavajuća u pogledu linearne zavisnosti, što se može potvrditi vrednošću R^2 (0,9205). Pored toga, zavisnosti između V_{sp} i WC za pamučne i Co/PES pletenine (slika 78b) su male u pogledu linearne zavisnosti, što je potvrđeno vrednošću R^2 (0,477).

Rezultati specifične zapremine V_{sp} i kompresibilnosti C pletenina predstavljeni su na slici 79.



Slika 79. Rezultati specifične zapremine V_{sp} i kompresibilnosti C pletenina

Na slici 79 je vidljivo da se vrednosti C i V_{sp} smanjuju nakon procesa štampanja za sve pletenine. Kod PES pletenina 01 nakon štampe zabeleženo je smanjenje C vrednosti u rasponu od 7,96 % do 19,47 %, kod pletenina 02 smanjenje se kreće od 47,56 % do 48,47 %, dok je kod pletenina 03 zabeleženo smanjenje od 15,48 % do 32,14 %. Sa smanjenjem ukupne gustine pletenina u interlok prepletaju dolazi do većeg procenta smanjenja kompresibilnosti nakon štampe.

Kod pletenina u pike prepletaju 05 zabeleženo je smanjenje C vrednosti u rasponu od 30,36 % do 91,07 % nakon procesa štampanja. Najmanji uticaj procesa štampe na C vrednosti zabeležen je kod pletenina u desno-desnom prepletaju 06. Za ove štampane uzorke zabeleženo je najmanje smanjenje C vrednosti, u rasponu od 6,9 % do 16,09 % u odnosu na uzorak bez štampe. Ovi rezultati odgovaraju WC i LC rezultatima dobijenim za pletenine u desno-desnom prepletaju 06.

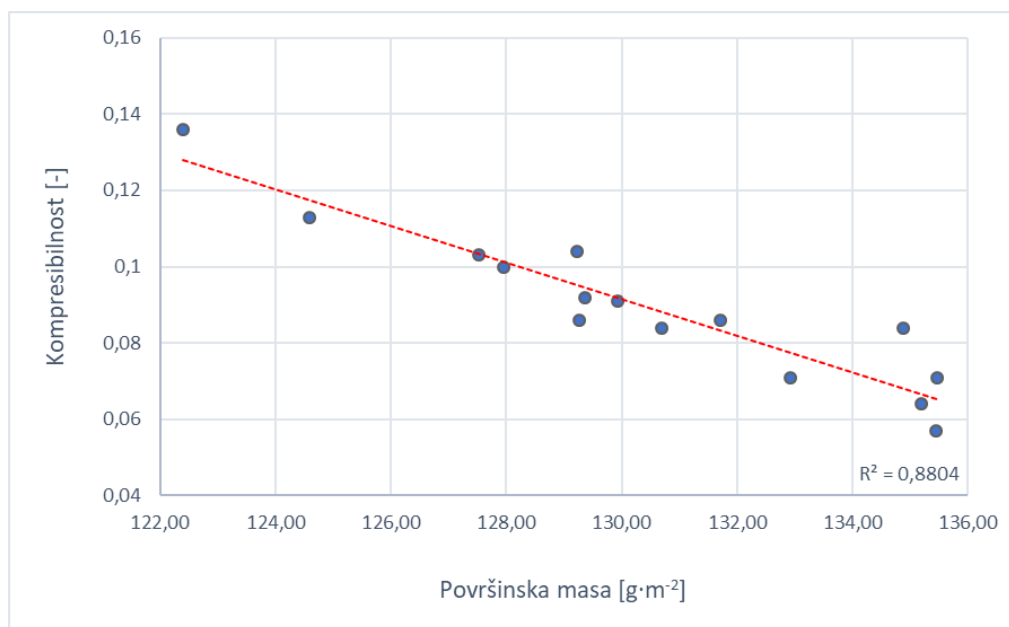
Proces modifikacije značajno je uticao na rezultate kompresibilnosti. Procenat smanjenja kompresibilnosti bio je mnogo veći za Co i Co/PES pletenine u poređenju sa PES pleteninama. Za Co/PES pletenine u pike prepletaju 04 zabeleženo je smanjenje u rasponu od 38,81 % do 50,75 %, dok je za Co štampane pletenine u desno-levom prepletaju 07 zabeleženo smanjenje vrednosti kompresibilnosti u rasponu od 31,46 % do 47,89 %.

Kod pletenina u interlok prepletaju dolazi do smanjenja V_{sp} vrednosti nakon štampe u rasponu od 9,58 % do 14,95% za uzorke 01, ovo smanjenje je u rasponu od 16,43 % do 18,05 % za uzorke 02 i od 0,56 % do 7,91 % za uzorke 03.

Najmanja promena V_{sp} vrednosti nakon primene sublimacione štampe zabeležena je za PES pletenine u desno-desnom prepletaju 06. Ova pletenina je izrađena korišćenjem pređe najveće podužne mase (11,11 tex) u odnosu na ostale PES pletenine. Dobijeni V_{sp} rezultati odgovaraju ostalim rezultatima svojstava kompresije dobijenih za ovu pleteninu.

Kod pamučnih (od 24,19 % do 42,56 %) i Co/PES (od 39,29 % do 71,42 %) pletenina dolazi do značajnog smanjenja V_{sp} vrednosti nakon štampe što je rezultat upotrebe polimernog praha i pritiska u toplotnoj presi.

Zavisnost C od površinske mase PES pletenina u interlok prepletaju prikazana je na slici 80.



Slika 80. Zavisnost kompresibilnosti C od površinske mase za PES pletenine u interlok prepletaju

Kao što se može videti sa slike, uočena je dobra linearna zavisnost kompresibilnosti od površinske mase za PES pletene u interlok prepletaju, što je vidljivo i iz R^2 vrednosti od 0,8804.

4.5.5 Površinska svojstva pletenina

Površinska svojstva pletenina sa i bez štampe prikazana su u tabeli 20.

Tabela 20. Rezultati površinskih svojstava pletenina bez i sa štampom

Oznaka uzorka	MIU (-)		MMD (-)		SMD (μm)	
	Pravac nizova	Pravac redova	Pravac nizova	Pravac redova	Pravac nizova	Pravac redova
01-W	0,216	0,301	0,004	0,009	1,128	4,635
01-C	0,228	0,269	0,004	0,009	0,930	2,108
01-M	0,207	0,244	0,003	0,009	0,995	2,982
01-Y	0,172	0,245	0,003	0,118	1,032	4,442
01-K	0,203	0,259	0,004	0,011	0,662	4,255
02-W	0,176	0,260	0,008	0,010	1,420	7,326
02-C	0,185	0,261	0,007	0,009	1,633	7,077
02-M	0,191	0,243	0,006	0,009	1,238	7,942
02-Y	0,184	0,255	0,004	0,007	1,450	7,955
02-K	0,160	0,236	0,004	0,009	1,625	6,947
03-W	0,149	0,291	0,003	0,013	1,575	4,362
03-C	0,175	0,284	0,003	0,014	1,733	3,955
03-M	0,166	0,271	0,003	0,012	1,443	5,082
03-Y	0,265	0,274	0,011	0,013	5,578	5,778
03-K	0,179	0,265	0,003	0,010	1,495	4,820
04-W	0,159	0,242	0,007	0,014	3,462	6,502
04-C	0,107	0,112	0,006	0,009	1,245	2,297
04-M	0,114	0,112	0,006	0,008	1,305	2,245
04-Y	0,112	0,113	0,007	0,010	1,635	2,687
04-K	0,115	0,121	0,007	0,008	1,432	2,215
05-W	0,232	0,287	0,005	0,020	6,005	12,270
05-C	0,240	0,290	0,007	0,016	6,920	10,948
05-M	0,229	0,250	0,005	0,018	4,698	10,138
05-Y	0,195	0,263	0,005	0,012	5,323	9,137
05-K	0,211	0,275	0,005	0,012	6,538	9,923
06-W	0,174	0,251	0,005	0,011	1,483	7,320
06-C	0,158	0,206	0,005	0,010	1,183	3,810
06-M	0,160	0,213	0,005	0,012	1,245	3,357
06-Y	0,165	0,216	0,005	0,010	1,207	3,590
06-K	0,148	0,181	0,005	0,013	1,228	3,973
07-W	0,186	0,186	0,009	0,009	2,548	6,265
07-C	0,112	0,114	0,008	0,008	1,048	1,220
07-M	0,108	0,114	0,009	0,009	1,402	2,165
07-Y	0,116	0,114	0,008	0,009	1,280	1,980
07-K	0,118	0,115	0,009	0,009	1,098	1,557

Za pletenienu 05-W (uzorak bez štampe), najviše *MMD* i *SMD* su izmerene u odnosu na ostale pletenine bez štampe. Takav rezultat se može objasniti vrlo komplikovanom i neravnom strukturom desno-desnog saće prepletaja. Nakon procesa štampe, smanjenje *MMD* i *SMD* vrednosti je zabeleženo u pravcu redova i nizova pletenine. Izuzetak je pletenina 05-C u pravcu nizova gde je zabeleženo blago uvećanje ovih vrednosti. Ovo sugeriše da je proces štampe doprineo smanjenju hrapavosti pletenina 05. Do ovih promena je došlo usled smanjenja gustine i debljine u toku toplotne obrade, što je doprinelo smanjenju geometrijske hrapavosti ovih pletenina (sa izuzetkom 05-C uzorka).

PES pletenine u desno-desnom prepletaju 06 pokazuju značajno smanjenje *SMD* vrednosti kako u pravcu nizova tako i u pravcu redova nakon procesa štampe što ukazuje da je proces štampe i toplotne obrade doprineo povećanju glatkoće štampanih pletenina iz ove grupe uzoraka.

Analiza površinskih svojstava PES pletenina u interlok prepletaju (pletenine 01, 02 i 03) pokazale su znatno veće vrednosti *MIU*, *MMD* i *SMD* u pravcu redova.

Za PES pletenine 01 zabeležene su male promene u *MIU*, *MMD* i *SMD* vrednostima u pravcu nizova nakon procesa štampe. Izuzetak je bio uvećanje *MMD* vrednosti u pravcu redova za pletenine 01-Y i 01-K. Do smanjenja *SMD* vrednosti došlo je kako u pravcu redova tako i u pravcu nizova za sve štampane pletenine 01 u poređenju sa uzorkom bez štampe. Ova činjenica sugeriše da se glatkoća ovih pletenina povećala nakon štampanja.

Za PES pletenine u interlok prepletaju 02 smanjenje *MMD* vrednosti su zabeležene u pravcu nizova. Kada se posmatraju *SMD* vrednosti za pletenine 02 može se zaključiti da su male promene *MMD* vrednosti zapažene nakon štampe. U slučaju PES pletenina 03 uvećanje *MIU* vrednosti je zabeleženo u pravcu nizova i smanjenje ovih vrednosti u pravcu redova a *MMD* vrednosti u pravcu nizova ostaju nepromenjene (sa izuzetkom 03-Y) dok je zabeleženo smanjenje i rast u pravcu redova nakon štampe. Vrednosti *SMD* za pletenine 03 se povećavaju u pravcu redova (sa izuzetkom 03-C) dok u pravcu redova dolazi do smanjenja (03-C i 03-Y) i uvećanja (03-M i 03-K) ovih vrednosti.

Nakon razmatranja *SMD* vrednosti za sve PES pletenine u interlok prepletaju (pletenine 01, 02 i 03), najviše vrednosti su zabeležene kod pletenine 02 u pravcu redova. Ove vrednosti za štampane pletenine su u rasponu od 6,947 do 7,955 μm .

U slučaju Co/PES i pamučnih pletenina (04 i 07 oznaka), značajno smanjenje *MIU* i *SMD* vrednosti u pravcu redova i nizova je zapaženo nakon procesa štampe. Ovo ukazuje da je došlo do smanjenja hrapavosti pletenina nakon procesa štampe i primene sublimacionog

polimernog praha. Kod ovih pletenina je došlo do promene strukture, tj. boja u kombinaciji sa sublimacionim polimernim prahom je stvorila glatki površinski sloj koji je ublažio neravnine pletenine.

SMD vrednosti za Co/PES pletenine 04 su smanjene u poređenju sa uzorkom bez štampe (04-W) i kreću se od 64,04 % (04-C) do 52,77 % (04-Y) u pravcu nizova i od 65,45 % (04-K) do 64,67 % (04-C) u pravcu redova. Ove vrednosti za pamučne štampane pletene 07 kreću se od 59,19 % (07-K) do 45,40 % (07-M) u pravcu nizova i od 80,53 % (07-C) do 65,44 % (07-M) u pravcu redova pletenine. Značajne promene u površinskim svojstvima štampanih pletenina 04 i 07 ukazuju da je upotreba sublimacionog polimernog praha značajno izmenila površinu ovih pletenina i drastično smanjila njihovu hrapavost (neravnomernost).

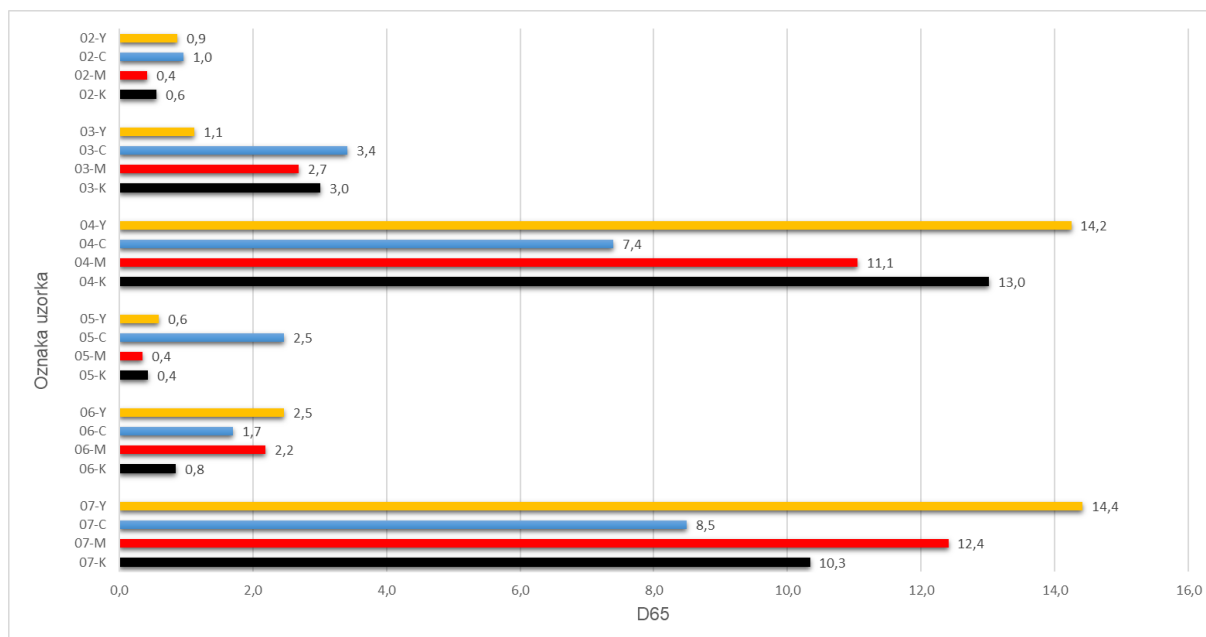
4.6 Razlika boje ΔE^*

Vrednosti razlike boje (ΔE^*) štampanih pletenina izračunate su prema CIE94 formuli koja se bazira na *CIElab* prostoru boja korišćenjem tri kordinate boje: L^* (svetlostne kordinate), a^* (crveno/zelene kordinate) i b^* (žuto/plave kordinate).

Štampane PES pletenine u interlok prepletaju 01 odabrane su kao standard (referentni uzorak) za upoređivanje sa drugim štampanim pleteninama. Pletenina 01-C (referentni uzorak) je upoređivana sa štampanim pleteninama 02-C, 03-C, 04-C, 05-C, 06-C i 07-C. Ostale pletenine sa oznakom 01 upoređene su sa uzorcima štampanim u istoj boji.

Prema formuli CIE94, vrednosti razlike boje koje su manje od 1 smatraju se neupadljivim i nevidljivim za ljudsko oko, dok su vrednosti veće od 1 vidljive ljudskom oku. Standardni svetlostni izvor D65 koji simulira prosečnu dnevnu svetlost korišćen je za vreme testiranja štampanih pletenina. Ispitan je uticaj prepletaja, parametara pređe i sirovinskog sastava na razliku boje.

Na slici 81 prikazani su rezultati ΔE^* za pletenine štampane tehnikom sublimacione transfer štampe.



Slika 81. Rezultati razlike boje ΔE^* pletenina

Kada se upoređuju vrednosti ΔE^* za PES pletenine u interlok prepletaju, najniže ΔE^* vrednosti za uzorke štampane žutom bojom zabeležene su za pletenine 02. Pošto su ove pletenine (02) izrađene od istog sirovinskog sastava pređe i u istom su prepletaju kao referentni uzorak, može se zaključiti da gustina pletenina utiče na percepciju boje. Ipak, razlika boje je zanemarljiva, jer je vrednost ΔE^* bila 0,9. Za PES pletenine u interlok prepletaju štampane žutom bojom (03-Y), dobijena vrednost ΔE^* iznosila je 1,1, što ukazuje da je razlika u boji primetna. Ova pletenina izrađena je korišćenjem dve pređe, od kojih je jedna (filamentna) sjajna, što je bio glavni razlog većih vrednosti razlike boje u odnosu na druge pletenine u interlok prepletaju.

PES pletenine u desno-desnom saće prepletaju 05 su takođe izrađene od iste pređe kao i referentni uzorak. Stoga, ako se uzme u obzir uticaj prepletaja, može se zaključiti da je složena reljefna struktura desno-desnog (saće) prepletaja doprinela nižim ΔE^* (0,6) vrednostima. Za PES pletenine u desno-desnom prepletaju 06-Y dobijene su najviše vrednosti razlike boje (2,5) u odnosu na ostale PES pletenine štampane žutom bojom. Ove vrednosti ΔE^* ukazuju da je razlika boje primetna već na prvi pogled za uzorak 06-Y (pletenina je od dve pređe 11,11 tex i u drugom prepletaju u odnosu na druge PES pletenine).

Izuzetno visoke vrednosti ΔE^* zabeležene su za pletenine 04-Y (14,2) i 07-Y (14,4). Sublimacioni polimerni prah, koji je „maskirao“ strukturu pletenine, takođe je doprineo visokim vrednostima razlike u boji. Najveće vrednosti ΔE^* za pamučne i Co/PES pletenine 04

i 07 zabeležene su za uzorke štampane žutom bojom u poređenju sa cijan, magenta i crnom bojom.

Za pleteninu 02-C dobijena je ΔE^* vrednost od 1,0 a za pleteninu 05-C dobijena vrednost ΔE^* je 2,2. To znači da parametri pređe nisu uticali na manje ΔE^* vrednosti za pletenine štampane u cijan boji. Za pleteninu 03-C dobijene su znatno veće vrednosti ΔE^* (3,4), što sugeriše da su parametri pređe imali veći uticaj na razliku boje u odnosu na pletenine štampane žutom bojom. Za pleteninu 06-C dobijena vrednost bila je 1,7.

Za Co/PES i Co pletenine 04-C i 07-C dobijene ΔE^* vrednosti bile su 7,4 i 8,5, po redosledu navođenja. Značajno niže ΔE^* vrednosti su dobijene za pletenine 04 i 07 štampane cijan bojom u odnosu na one štampane žutom, magenta i crnom.

Ako se razmatra uticaj pređe na vrednosti razlike boje za pletenine štampane magenta bojom, za pletenine 02-M i 05-M dobijene su niske ΔE^* vrednosti (0,4).

Za pleteninu 03-M dobijena ΔE^* vrednost bila je 2,7, što znači da je vidljiva mala razlika boje. Parametri pređe imali su značajan uticaj na dobijene rezultate. U slučaju pletenine 06-C dobijena ΔE^* vrednost bila je 2,2.

Upotreba sublimacionog polimernog praha je značajno uticala na visoke ΔE^* vrednosti za pletenine 04-M (11,1) i 07-M (12,4).

Kada se razmatra uticaj pređe za pletenine štampane crnom bojom, može se zaključiti da su niske ΔE^* vrednosti zabeležene za pletenine sa oznakama 02-K (0,6) i 05-K (0,4). Za pleteninu sa oznakom 03-K viša ΔE^* vrednost (3,0) je zabeležena u odnosu na drugu pleteninu u interlok prepletaju (pletanina 02).

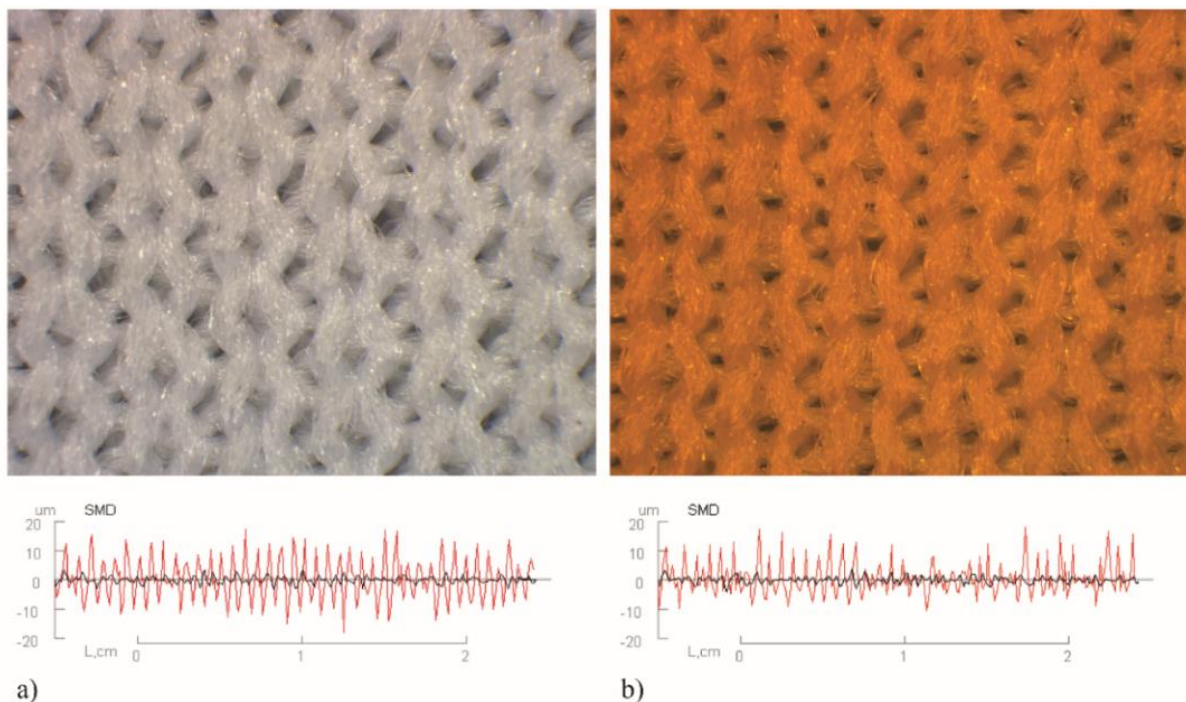
ΔE^* vrednost koja je manja od jedan (0,8) je dobijena za pleteninu 06-K. Za pletenine 04-K (14,2) i 07-K (14,4) dobijene su visoke ΔE^* vrednosti. Upotreba sublimacionog polimernog praha je imala veliki uticaj na ove rezultate.

4.7 Analiza mikroskopskih slika pletenina bez i sa štamptom

Za analizu promene površine pletenina nakon procesa štampe korišćene su slike dobijene elektronskim mikroskopom. Može se primetiti da je proces štampe uticao na površine Co/PES i pamučnih pletenina (oznaka 04 i 07) različito od površina PES pletenina. Kod svih štampanih PES, Co/PES i pamučnih pletenina, štamparska boja je fiksirana na površini lica, dok na naličju nije bilo uticaja štamparske boje. Sve PES pletenine 01, 02, 03, 05 i 06 imaju

umerenu promenu površinskih svojstava dok Co/PES i pamučne pletenine 04 i 07 imaju izraženu promenu površinskih svojstva što se takođe vidljivo preko mikroskopskih slika.

Izgled površine i dijagram geometrijske hrapavosti PES pletenina u interlok prepletaju je prikazan na slici 82.

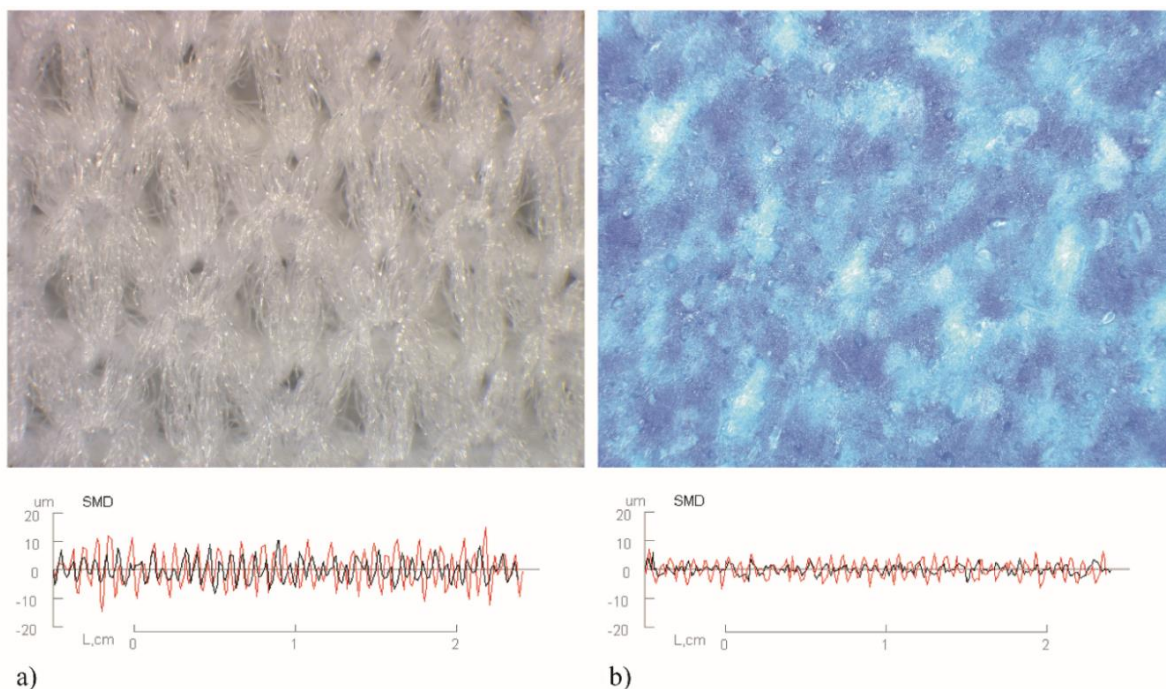


Slika 82. Izgled i geometrijska hrapavost *SMD* pletenina sa oznakom 01:

a) pre (01-W) i b) posle (01-Y) primene procesa sublimacione transfer štampe

Sa slike 82 se vidi da nisu primećene značajne razlike između uzorka 01 bez i sa štampom. Međutim, došlo je do promene u strukturi, što je uočljivo sa dijagrama geometrijske hrapavosti i rezultata prikazanih u tabeli 20. Rezultati sugerišu da je proces štampe tehnikom sublimacione transfer štampe doprineo smanjenju hrapavosti pletenina 01.

Na slici 83 prikazan je izgled površine i dijagram geometrijske hrapavosti Co/PES pletenine u interlok pike prepletaju.



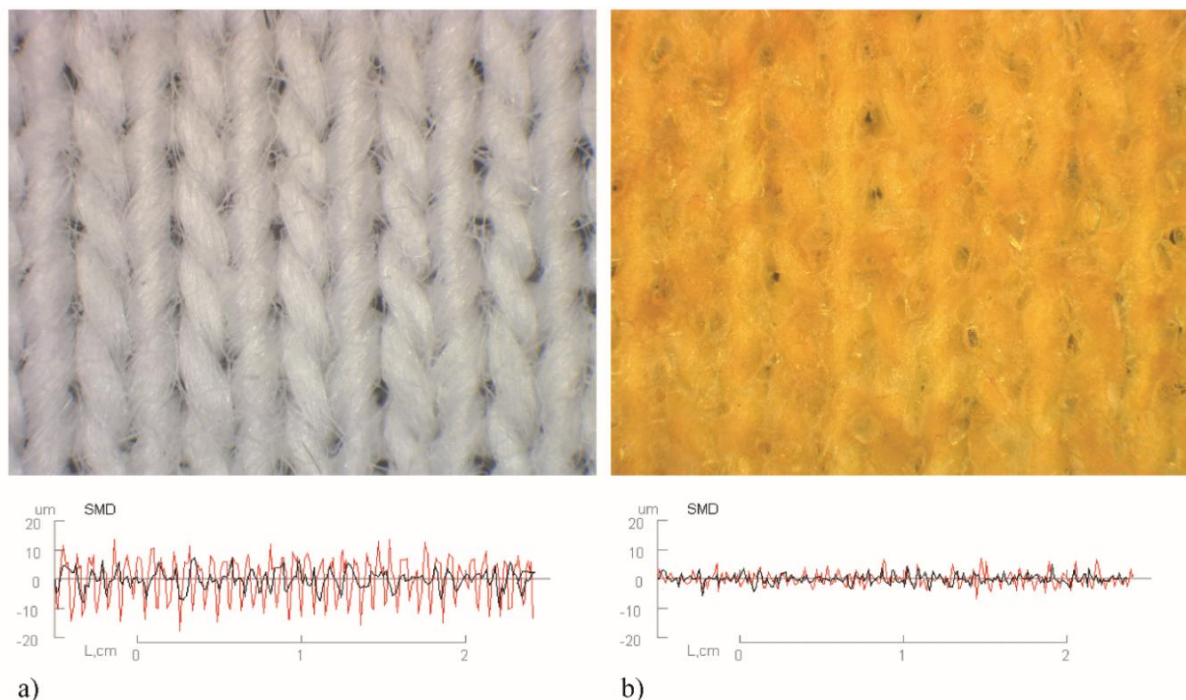
Slika 83. Izgled i geometrijska hrapavost *SMD* analiziranih pletenina sa oznakom 04:

a) pre (04-W) i b) posle (04-C) primene procesa sublimacione transfer štampe

Sa slike su vidljive značajne razlike između strukture pletenine 04 pre i nakon štampe. Na površini ove pletenine formiran je sloj, nastao od polimernog praha i štamparske boje, što je doprinelo smanjenju pora između petlji. Takođe je vidljivo iz dijagrama geometrijske hrapavosti.

Smanjenje geometrijske hrapavosti i koeficijenta trenja može se videti kako u pravcu redova, tako i u pravcu nizova pletenine 04-Y (tabela 20) što je posledica upotrebe sublimacionog polimernog praha i štamparske boje. Struktura ove štampane pletenine može se opisati kao „plastična“ i glatka. Upotreba sublimacionog polimernog praha i toplotna obrada doprineli su promeni strukture ove pletenine nakon primene štampe.

Izgled površine i dijagram geometrijske hrapavosti pamučnih pletenina u desno-levom prepletaju je prikazan na slici 84.



Slika 84. Izgled i geometrijska hrapavost SMD analiziranih pletenina sa oznakom 07:

a) pre (07-W) i b) posle (07-Y) primene procesa sublimacione transfer štampe

Još veći uticaj procesa sublimacione transfer štampe na strukturu pletenina može se primetiti kod pamučne pletenine 07. Upotreba sublimacionog polimernog praha i toplotne dorade rezultovala je velikom promenom strukture ovih pletenina. Prepletaj štampanih pletenina 07 je skoro neprepoznatljiv. Promene u strukturi ovih pletenina za posledicu imaju i povećanje glatkoće, što je vidljivo sa dijagrama na slici 84 i rezultata prikazanih u tabeli 20.

4.8 Toplotna svojstva pletenih tekstilnih materijala

Više q_{max} vrednosti ispitivanih pletenina ukazuju na hladniji osećaj pri nošenju odeće izrađene od tih pletenina što je poželjno za izradu sportske odeće koja se nosi u letnjem periodu.

U tabeli 21 prikazani su rezultati toplotnih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenina bez štampe.

Tabela 21. Toplotna svojstva konvencionalnih i funkcionalnih pletenina bez štampe

Oznaka pletenine	Ispitivani prametar toplotnih svojstava pletenina				
	Toplo-hladni osećaj q_{max} ($W \cdot cm^{-2}$)	Stacionarni toplotni tok ϕ (W)	Koeficijent toplotne provodljivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Toplotna otpornost R_{ct} (clo)	Otpornost protoku vodene pare R_{et} ($Pa \cdot m^2 \cdot W^{-1}$)
01	0,108	3,08	0,0444	0,485	6,464
02	0,088	2,63	0,0427	0,512	6,487
03	0,119	3,30	0,0422	0,472	7,227
04	0,092	2,11	0,0531	0,584	7,547
05	0,087	2,28	0,0454	0,512	6,732
06	0,104	2,96	0,0422	0,476	6,164
07	0,124	2,94	0,0552	0,516	7,479
08	0,108	2,83	0,0583	0,430	7,151
09	0,072	2,06	0,0459	0,493	6,540
10	0,076	1,84	0,0466	0,572	7,540
11	0,114	2,54	0,0509	0,544	7,296
12	0,131	3,24	0,0633	0,530	7,305
13	0,136	3,12	0,0654	0,448	7,005

Analizom rezultata toplo-hladnog osećaja q_{max} konvencionalnih i funkcionalnih pletenina bez štampe zaključuje se da su najveće q_{max} vrednosti zabeležene za funkcionalne pletenine 13 i 12 (u desno-levom i desno-levom perflang prepletaju) koje su najtanje u odnosu na ostale funkcionalne pletenine. Najmanje q_{max} vrednosti su dobijene za funkcionalne pletenine 09 i 10 u pike prepletaju koje su najdeblje u odnosu na ostale funkcionalne pletenine. Pored toga, za konvencionalnu pleteninu 04 u interlok pike prepletaju zabeležena je manja q_{max} vrednost, što se objašnjava svojstvima dvoslojnih pletenina i velikom debljinom ove pletenine.

Vrednosti q_{max} se povećavaju kod pletenina u interlok prepletaju (01, 02 i 03) sa smanjenjem debljine ovih pletenina. Za pletenine u desno-desnom 1:1 prepletaju (06 i 11) veća vrednost q_{max} je zabeležena za funkcionalnu pleteninu 11. Ova pletenina je deblja i ima veću površinsku masu u odnosu na pleteninu 06, što ukazuje da je upotreba PMC materijala doprinela ovim rezultatima.

Najveća vrednost stacionarnog toplotnog toka ϕ kod konvencionalnih pletenina zabeležena je za uzorak 03 (3,3 W) u interlok prepletaju, dok su najveće vrednosti kod funkcionalnih pletenina zabeležene za pletenine u levo-levom i levo-levom preflang prepletaju 12 (3,24 W) i 13 (3,12 W), po redosledu navođenja. Najmanja vrednost ϕ kod konvencionalnih pletenina je zabeležena za dvoslojnu pleteninu 04, dok je kod funkcionalnih zabeležena za dvoslojnu pleteninu 10. Ovi rezultati ukazuju da dvoslojne strukture doprinose manjim vrednostima toplotnog toka.

Sirovinski sastav pletenina imao je najveći uticaj na vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti λ . Najviše λ vrednosti zabeležene su za funkcionalne pletenine 13, 12 i 08, po redosledu navođenja. Pletenine 08 i 13 izrađene su od PA/EL vlakna dok je pletenina 12 izrađena od Co/EL vlakana. Za konvencionalne pletenine najviše vrednosti su zabeležene za pletenine 04 (Co/PES) i 07 (Co). Niže λ vrednosti (i kod konvencionalnih i funkcionalnih) su zabeležene za pletenine sa većinskim udelom PES u odnosu na pletenine izrađene od većinskog udela Co i PA vlakana.

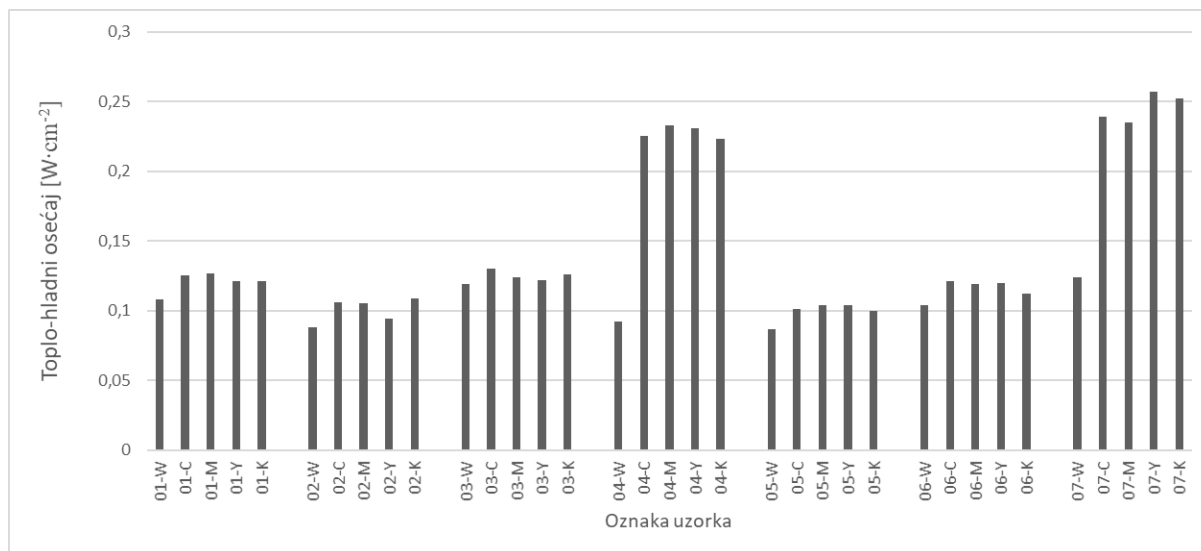
Vrednosti toplotne otpornosti R_{ct} kreću se u rasponu od 0,472 clo do 0,584 clo za konvencionalne i od 0,43 clo do 0,572 clo za funkcionalne pletenine. Najviše vrednosti R_{ct} dobijene su za dvoslojne pleteninu u interlok pike prepletaju 04 i pleteninu 10 u pike prepletaju koje su deblje u odnosu na ostale pletenine. Kod konvencionalnih pletenina u interlok i desno-desnom 1:1 prepletaju kao i funkcionalnih pletenina u pike prepletaju sa uvećanjem debljine dolazi do uvećanja R_{ct} vrednosti.

Vrednosti otpornosti protoka vodene pare R_{et} kreću se u rasponu od 6,164 Pa·m²·W⁻¹ do 7,547 Pa·m²·W⁻¹ za konvencionalne, dok se za funkcionalne pletenine kreću u rasponu od 6,54 Pa·m²·W⁻¹ do 7,54 Pa·m²·W⁻¹. Manje vrednosti otpora protoku vodene pare R_{et} kod konvencionalnih pletenina dobijene su za PES u odnosu na pletenine od Co i Co/PES vlakana.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je glavni parametar koji je uticao na vrednosti toplo-hladnog osećaja i toplotne otpornosti bila debljina pletenina. Prepletaj je uticao na vrednosti stacionarnog toplotnog toka, pa su najveće vrednosti zabeležene za funkcionalne pletenine u levo-levom prepletaju. Na vrednosti λ najveći uticaj je imao sirovinski sastav, pa su veće vrednosti zabeležene za pletenine izrađene od Co i PA vlakana u odnosu na pletenine od PES vlakana.

4.9 Uticaj sublimacione transfer štampe na toplotna svojstva pletenina

Na slikama 85 do 89 prikazani su rezultati toplotnih svojstava pletenina bez i sa štamptom.



Slika 85. Toplo-hladni osećaj q_{max} pletenina

Analizom rezultata vidljivo je da je proces štampe imao značajan uticaj na promenu q_{max} vrednosti. Blago uvećanje q_{max} vrednosti nakon procesa štampe je zabeleženo kod PES dok je kod pamučnih i Co/PES pletenina ovo uvećanje veoma izraženo.

Kod pletenina u interlok prepletaju nakon procesa štampe došlo je do uvećanja q_{max} vrednosti u rasponu od 12,04 % do 17,59 % za uzorke oznake 01, u rasponu od 6,82 % do 23,86 % za uzorke oznake 02 i najmanje uvećanje je zabeleženo za uzorke oznake 03 (u rasponu od 2,56 % do 9,24 %).

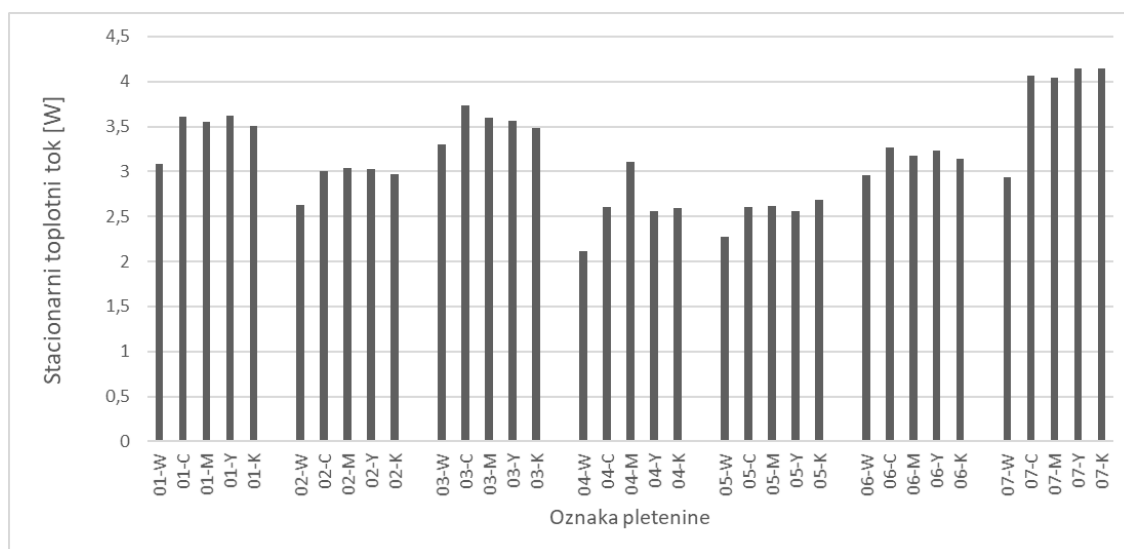
Kod pletenina u desno-desnom saće prepletaju 05 došlo je do uvećanja q_{max} vrednosti u rasponu od 14,94 % do 19,54 % nakon procesa štampe. Zabeleženo uvećanja q_{max} vrednosti kod pletenina u desno-desnom 1:1 prepletaju 06 kreće se u rasponu od 7,69 % do 16,35 % u odnosu na uzorak bez štampe.

Proces modifikacije tokom štampanja pletenina koje sadrže pamučna vlakna doveo je do značajnog povećanja q_{max} vrednosti. Ovo uvećanje kod pletenine 04 (Co/PES) u rasponu je od 2,43 puta do 2,53 puta dok, kod pletenina 07 (Co) u rasponu od 1,89 puta do 2,07 puta.

Analizom rezultata može se zaključiti da je proces štampe doprineo blagom povećanju hladnijeg osećaja pri nošenju odevnih predmeta sa štamptom izrađenih od PES pletenina, dok

bi odeća sa štampom izrađenih od pamučnih i Co/PES pletenina ovo uvećanje hladnijeg osećaja bilo dosta izraženije.

Na slici 86 prikazani su rezultati stacionarnog toplotnog toka ϕ analiziranih pletenina.



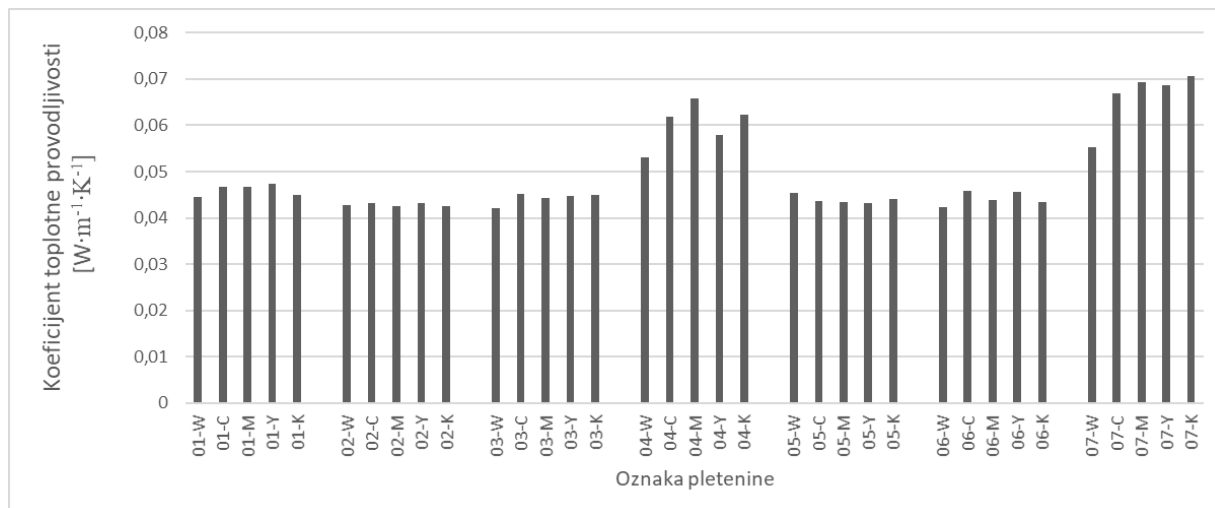
Slika 86. Stacionarni toplotni tok ϕ pletenina

Proces sublimacione štampe je uticao na promenu rezultata stacionarnog toplotnog toka ϕ . Za štampane pletenine u interlok prepletaju 01 zabeleženo je uvećanje vrednosti stacionarnog toplotnog toka ϕ nakon procesa štampe u rasponu od 13,96 % do 17,53 %, dok, je ovo uvećanje u rasponu od 12,93 % do 15,59 % i od 5,45 % do 13,33 % za pletenine 02 i 03, po redosledu navođenja. Vrednosti ϕ su obrnuto srazmerne debljini pletenina u interlok prepletaju.

Porast ϕ vrednosti u rasponu od 12,28 % do 15,59 % je zabeležen za pletenine 05, dok je kod PES pletenine u desno-desnom prepletaju 06 došlo do uvećanja od 6,08 % do 10,47 % nakon procesa štampe u odnosu na uzorak bez štampe.

Upotreba sublimacionog polimernog praha pri štampanju pamučnih i Co/PES pletenina imala je značajan uticaj na porast ϕ vrednosti. Kod Co/PES pletenine 04 uvećanja vrednosti stacionarnog toplotnog toka ϕ je od 21,33 % do 47,39 % nakon procesa štampe dok, kod pamučnih pletenina uvećanje ovih vrednosti je od 37,41 % do 41,16 % u odnosu na uzorak bez štampe.

Rezultati koeficijenta toplotne provodljivosti λ ispitivanih pletenina prikazani su na slici 87.



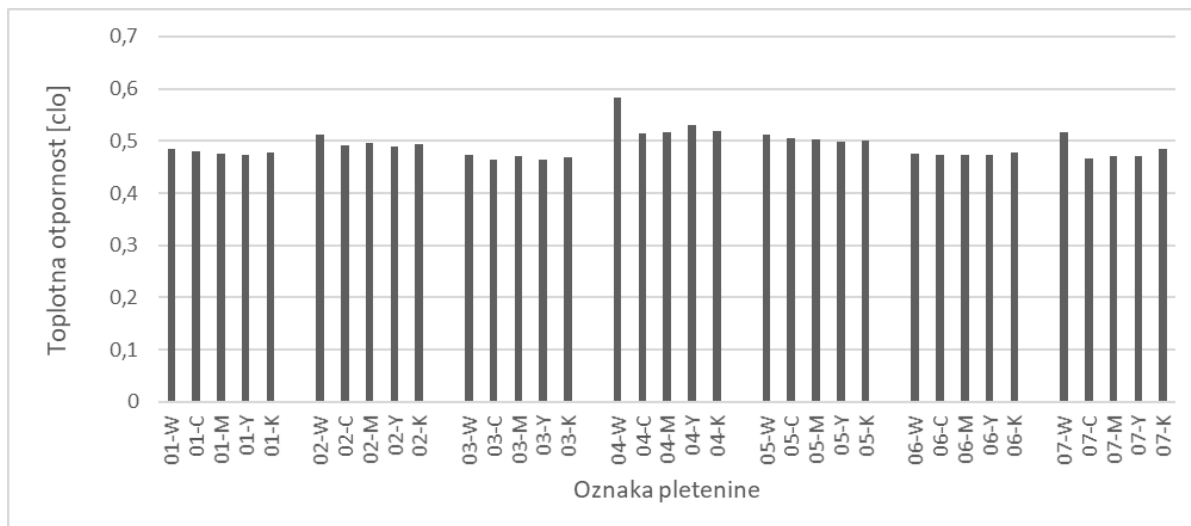
Slika 87. Koeficijent toplotne provodljivosti λ pletenina

Proces štampe doprineo je promeni koeficijenta toplotne provodljivosti λ . Zabeležen je blagi porast λ vrednosti kod pletenina u interlok prepletaju 01 (0,99 % do 6,68 %) i 03 (4,91 % do 6,69 %) nakon procesa štampe, dok su za pletenine 02 promene zanemarljive. Porast λ vrednosti nakon procesa štampe je zabeležen za 06 pletenine.

PES pletenine u desno-desnom saće prepletaju 05 su jedine PES pletenine kod kojih je došlo do smanjenja λ vrednosti nakon procesa štampe. Smanjenje se kreće u rasponu od 0,77 % do 4,32 % u odnosu na neštampani uzorak.

Upotreba sublimacionog polimernog praha doprinela je značajnoj promeni λ vrednosti nakon procesa štampe kod pletenina sa većinskim sadržajem pamučnih vlakana. Naime, dolazi do značajnog uvećanja λ vrednosti, i to u rasponu od 9,03 % do 23,84 % za pletenine 04 i u rasponu od 21,08 % do 27,82 % za pletenine 07.

Na slici 88 prikazani su rezultati toplotne otpornosti R_{ct} ispitivanih pletenina određenih prema kontaktnoj metodi.



Slika 88. Rezultati toplotne otpornosti R_{ct} pletenina

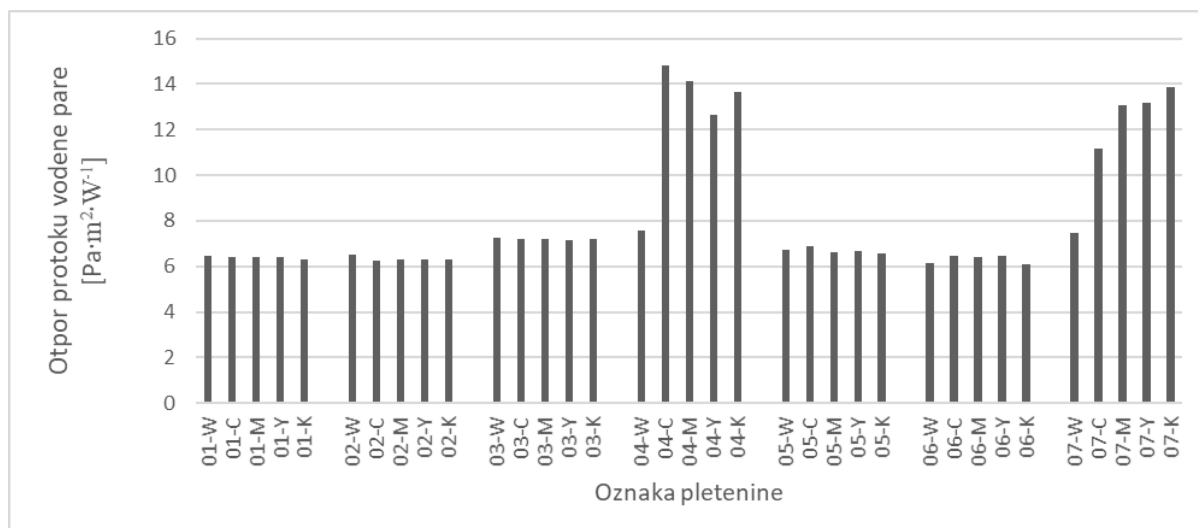
Nakon procesa štampe došlo je do smanjenja vrednosti toplotne otpornosti R_{ct} kod svih ispitivanih pletenina.

Kod pletenina u interlok prepletaju, najveće smanjenje R_{ct} vrednosti je zabeleženo za pletenine 02 (od 6,6 % do 7,92 %), dok je najmanji procenat smanjenja zabeležen za pletenine 03 (od 0,64 % do 1,91 %). Smanjenje u rasponu od 1,03 % do 2,27 % zabeleženo je kod pletenina u interlok prepletaju 01 u odnosu na uzorak bez štampe.

Smanjenje vrednosti R_{ct} za pletenine desno-desnom saće prepletaju 05 kreće se u rasponu od 1,17 % do 2,54 %, dok je kod pletenina 06 u desno-desnom 1:1 prepletaju došlo do smanjenja od 0,42 % do 0,84 % (izuzetak je uzorak 06-K kod kojeg nije došlo do promene nakon procesa štampe).

Kao posledica modifikacije došlo je do znatno izraženijeg smanjenja R_{ct} vrednosti kod pamučnih i Co/PES pletenina nakon procesa štampe u odnosu na PES pletenine. Kod Co/PES pletenina 04 došlo je do smanjenja R_{ct} vrednosti u rasponu od 9,08 % do 11,99 %, dok je kod pamučnih pletenina 07 smanjenje u rasponu od 6,01 % do 9,5 % u odnosu na uzorak bez štampe.

Na slici 89 prikazani su rezultati otpornosti materijala protoku vodene pare R_e određeni kontaktnom metodom.



Slika 89. Rezultati otpornosti materijala protoku vodene pare R_{te} pletenina

Blago smanjenje vrednosti otpornosti materijala protoku vodene pare R_{te} nakon procesa štampe je zabeleženo za PES pletenine u interlok prepletaju 02, dok je kod pletenine 01 i 02 došlo do zanemarljivih promena.

Za pletenine u desno-desnom saće prepletaju 05 kao i kod pletenina u desno-desnom 1:1 prepletaju 06 zabeležene su neznatne promene R_{te} vrednosti nakon primene procesa štampe.

Proces štampe imao je značajniji uticaj na promenu R_{te} vrednosti kod pamučih i Co/PES pletenina kod kojih je zabeležen znatan porast ovih vrednosti. Uvećanje R_{te} vrednosti kreće se od 67,36 % do 96,16 % za Co/PES pletenine 04, dok je kod pamučnih pletenina 07 zabeležen porast od 49,14 % do 85,28 % nakon procesa štampe. Ovakvi rezultati se mogu objasniti upotrebom polimernog praha koji se u kombinaciji sa štamarskom bojom ugradio u pore pletenine i doprineo velikom smanjenju poroznosti materijala što je značajno smanjilo protok vodene pare.

Proces štampe je imao manji uticaj na PES u odnosu na pamučne i Co/PES pletenine. Zabeleženo je uvećanje vrednosti stacionarnog toplotnog toka, smanjenje toplotne otpornosti i blage promene u otpornosti materijala protoku vodene pare kod svih štampanih uzoraka. Proces modifikacije tj. upotreba sublimacionog polimernog praha je doprineo promeni sutrukture ovih pletenina što se odrazilo na značajno uvećanje vrednosti toplo-hladnog osećaja, uvećanje stacionarnog toplotnog toka, otpornosti protoku vodene pare i smanjenju toplotne otpornosti pletenina.

4.10 Upoređivanje simuliranih 3D modela (*OptiTex*) fudbalerskih majica sa stvarnim (realizovanim) fotografijama majica

U ovom poglavlju biće dato poređenje 3D simulacija sa realizovanim majicama. Za izradu simulacija korišćena su mehanička svojstva pletenina dobijena na KES sistemu. Od ovih pletenina su izrađene sportske majice čije fotografije su upoređivane sa 3D simulacijama iz *OptiTex* softvera.

Telesne mere virtuelnog manekena su prilagođene telesnim merama testne osobe koja je nosila modele. Fotografije simulacija i realizovanih modela su prikazani na slikama P-1 do P-14 u Prilogu. Majice imaju oznaku po pletenini od koje su izrađene.

Majica 05

Upoređivanjem realizovane i simulirane majice 05, može se videti da je poprilično dobro poklapanje izgleda prednjeg dela majice (Prilog slika P-1). Majica usko prianja uz telo, pa se formiraju nabori na prednjem delu majice ispod rukava koji se mogu videti na realizovanom i na simuliranom modelu. Pored toga, mali nabori se formiraju na rukavima (ugao posmatranja - napred i pozadi) koji su vidljivi i na simuliranom i realizovanom modelu. Na zadnjem delu majice vidljiva je razlika u formiranim naborima koji se javljaju na centralnom delu majice na simuliranom modelu dok je na realizovanom vidljiv samo nabor na desnom boku.

Sa bočne strane modela može se primetiti da je rukav na realizovanom modelu malo širi. Nabori pozicionirani u predelu grudi jako su slični na simuliranom i realizovanom modelu kada je testna osoba okrenuta sa strane (na levo).

Najveće odstupanje je vidljivo na predelu okovratnika koji je malo širi na realizovanom modelu dok na simulaciji usko prianja uz vrat.

Majica 07

Upoređivanjem realizovane i simulirane majice 07, može se videti da je prilično dobro poklapanje izgleda prednjeg dela majice realizovanog i simuliranog modela. Kod realizovane majice okovratnik prianja uz vrat, što je vidljivo i na simuliranom modelu. Na zadnjem delu, na realizovanom modelu vidljivi su nabori koji se javljaju ispod lopatica i kreću ka šavu koji spaja zadnji i prednji deo. Kod rukava je primećeno dobro poklapanje u formi i širini. Na

simuliranom modelu nema nabora na prednjem i zadnjem delu dok se oni nalaze na realizovanom.

Majica 08

Značajno odstupanje između realizovane majice 08 i simuliranog modela je uočljivo (Prilog slika P-3). Pletenina 08 je izuzetno kruta što se vidi na fotografijama realizovanih modela sa grubim naborima. Na simuliranom modelu nema nabora (kao oklop).

Pored toga, okovratnik na realizovanom modelu stoji uspravno i odvaja se od vrata što nije slučaj kod simuliranog modela.

Majica 09

Dobra podudarnost između simuliranog modela majice 09 (prednji deo, kao i pogled sa boka) oznake 09 i realizovanog modela može se videti sa slike P-4 u Prilogu. Odstupanje između modela je uočljivo na zadnjem donjem delu (na realizovanom modelu vide se nabori).

Majica 12

Na realizovanoj majici 12, na zadnjem donjem delu javljaju se nabori koji ne postoje na simuliranom modelu. Na ostalim delovima modela je dobro poklapanje. Forma rukava i nabori na njima imaju poprilično dobru podudarnost (slika P-5 u Prilogu).

Majica 13

Odstupanje u izgledu realizovanog modela majice 13 sa simuliranim modelom je vidljivo sa slike P-6 u Prilogu. Odstupanje je najviše uočljivo ispod pazuha. Poklapanje forme ostalih delova između realizovanog i simuliranog modela je zadovoljavajuće.

Na osnovu analize izgleda majica može se zaključiti da je kod nekih modela (majice 05 i 12) postignuta dobra podudarnost između simuliranih i realizovanih (sa minimalnim odstupanjima) ali da to nije slučaj kod svih (majice 07, 08, 09 i 13).

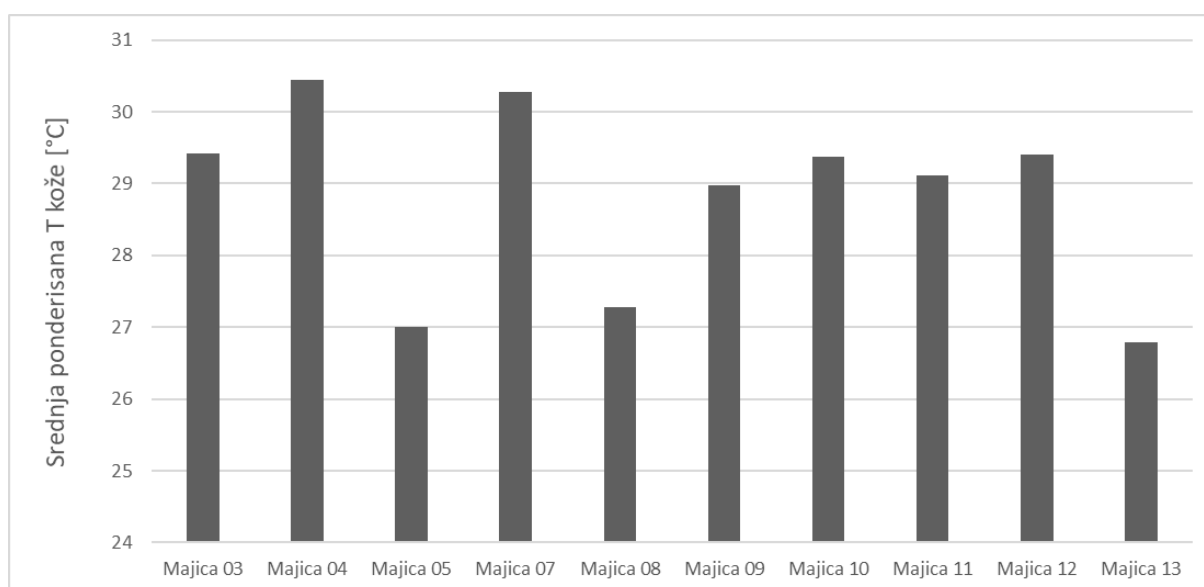
Pored toga, nije bilo moguće izraditi simulacije za sve modele majica u *OptiTex* softveru. Naime, ovaj softver nije bio adekvatan za izradu simulacija odeće kada se koriste parametri izuzetno elastičnih tekstilnih materijala (kao u ovom radu).

4.11 Toplotno-fiziološka ispitivanja tokom sportskih aktivnosti

Odabrano je deset najpogodnijih pletenina (četiri konvencionalne i šest funkcionalnih) od kojih su izrađene majice po istom kroju. Glavni kriterijumi za izbor pletenina za izradu majica bili su rezultati toplotnih svojstava i propustljivosti vazduha ispitivanih pletenina.

4.11.1 Ponderisana temperatura kože

Na slici 90 prikazani su rezultati srednjih vrednosti ponderisane temperature kože testne osobe 1 koja je nosila modele sportskih majica izrađene po istom kroju od različitih pletenina i izmerenih prilikom fizičke aktivnosti opisane u protokolu A u Prilogu.



Slika 90. Rezultati srednje ponderisane temperature kože

Analizom rezultata sa slike, može se zaključiti da su fizička i strukturna svojstva kao i sirovinski sastav pletenina od kojih su izrađene majice imali veliki uticaj na rezultate srednje ponderisane temperature kože (T_{pon}). Najniže vrednosti T_{pon} izračunate su kod nošenja majice oznake 13 (26,79 °C), zatim majice 05 (27,00 °C) i majice 08 (27,28 °C). Niže vrednosti T_{pon} objašnjavaju se svojstvima pletenina korišćenim za izradu majica. Pletenina 13 sadrži PMC materijale koji imaju funkciju toplotne regulacije i posebno je projektovana za primenu u sportskoj aktivnoj odeći. Pletenina 08 u pike prepletaju (mrežica) ima izuzetno poroznu

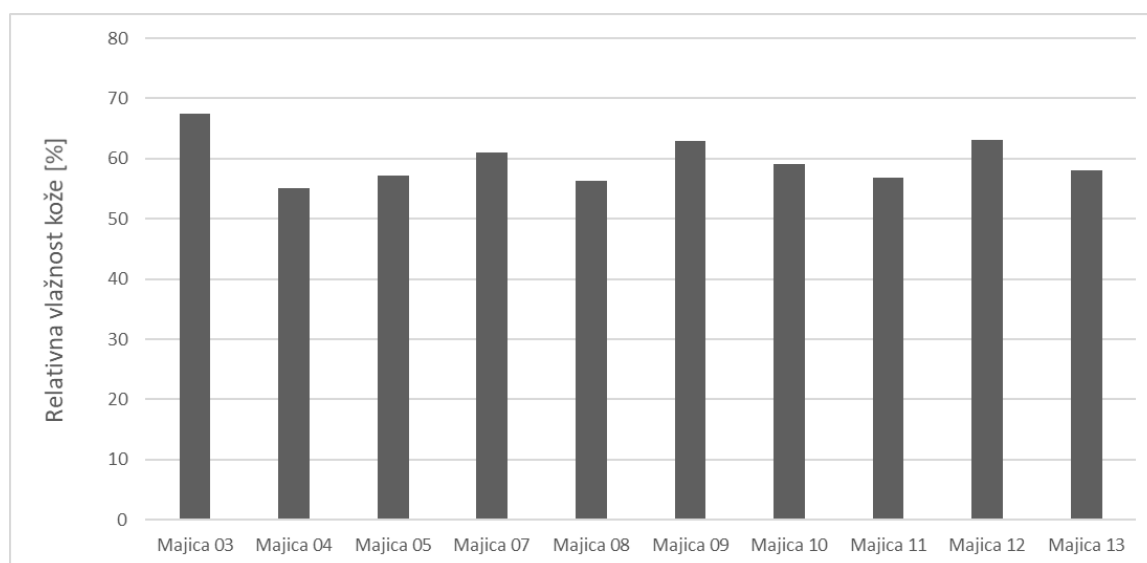
strukturu što omogućava povećanu ventilaciju i protok vazduha, što za posledicu ima hlađenje tela tokom fizičkih aktivnosti i doprinosi niskim vrednostima T_{pon} . Pletenina 05, takođe ima poroznu strukturu jer je u desno-desnom (saće) prepletaju, male je debljine i površinske mase što doprinosi poboljšanju toplotno-fiziološke udobnosti majice i samim tim niskim vrednostima T_{pon} prilikom nošenja.

Najviše vrednosti T_{pon} izračunate kod nošenja majice oznake 04 (30,45 °C) koja je izrađena od dvoslojne pletenine (50% Co / 50% PES). Povećana debljina i sirovinski sastav doprineli su visokim T_{pon} vrednostima. Kod majice oznake 07 (od Co pređe) izračunata je T_{pon} od 30,28 °C što se objašnjava velikom debljinom i površinskom masom pletenine od koje je izrađena. Takođe, je zabeležena i visoka RH vrednost kože od 61,08 %, čemu je glavni uzrok sirovinski sastav (Co vlakna pri izlaganju povećanoj vlažnosti bubre, zadržavaju vlagu i sporo se suše).

Kod majica od funkcionalnih pletenina (sa PMC materijalima) izračunate su manje vrednosti T_{pon} (od 26,79 °C do 29,38 °C) u odnosu na majice izrađene od konvencionalnih pletenina (izuzetak majica 05).

Kod majica od funkcionalnih pletenina 08 i 13 su niže T_{pon} vrednosti (PA/EL pređe) u odnosu na ostale majice 09, 10, 11 i 12 (majica 12 - 29,4 °C, majica 10 - 29,38 °C). Povećanim vrednostima T_{pon} kod majica od PES pređa doprinela je veća površinska masa i debljina pletenine.

Na slici 91 prikazane su srednje vrednosti relativne vlažnosti kože testne osobe tokom nošenja majica.



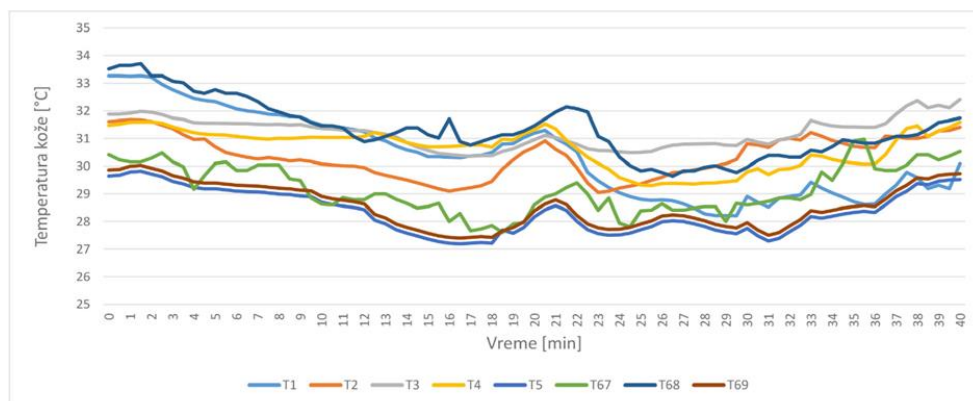
Slika 91. Rezultati srednje vrednosti relativne vlažnosti kože

Na osnovu rezultata sa slike može se uočiti da se rezultati vlažnosti kože testne osobe prilikom nošenja majica kreću u rasponu od 55,09 % (majica 04) do 63,01 % (majica 03). Najmanja srednja vrednost relativne vlažnosti kože izračunata je za majicu 04 od dvoslojne pletenine u interlok pike prepletaju. Upotrebom pređe različitih sirovinskih sastava pri izradi dvoslojnih pletenina poboljšavaju se svojstva upravljanja vlagom. Za sloj koji se nosi pored tela koriste se pređe sa vodoodbojnim svojstvima, dok se za spoljašnji sloj koriste hidrofilne pređe, zato se ove pletenine odlikuju brzim sušenjem, poboljšanim upijanjem znoja kao i dobrim izolacijskim svojstvima. Ovakav sistem odvođenja vlage sa površine kože kroz tekstilni materijal u okolinu doprineo je ovakvim rezultatima.

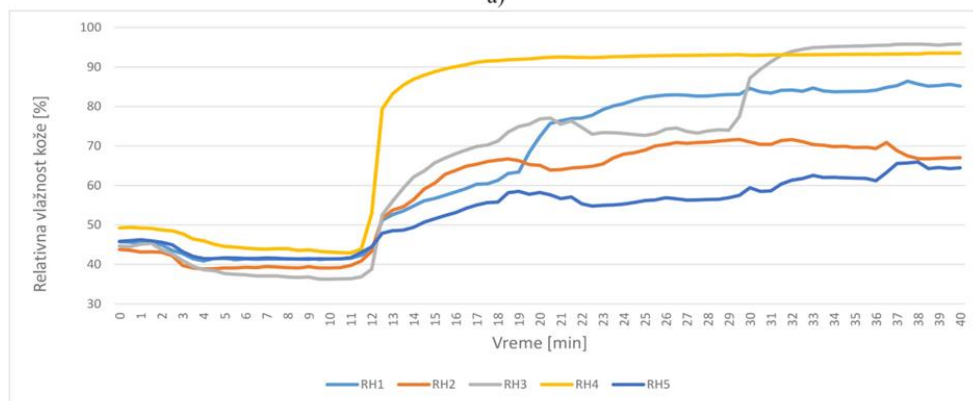
Najviše vrednosti relativne vlažnosti kože izračunate su za majicu 03. Visoke vrednosti relativne vlažnosti kože pri nošenju pamučne majice 07 objašnjavaju se sirovinskim sastavom. Vlakna apsorbuju ali i zadržavaju tečnost, što dovodi do sporog sušenja.

Upoređivanjem rezultata relativne vlažnosti kože dobijenih pri nošenju majica izrađenih od pamučnih pletenina (07 i 12), manje vrednosti relativne vlažnosti kože za 4,48 % su zabeležene su pri nošenju majice od funkcionalne pletenine (majica 12) što se objašnjava upotrebom PMC materijala.

Na slikama 92 do 101 prikazani su rezultati temperature kože (8 pozicija na telu testne osobe) i relativne vlažnosti kože (4 pozicija na telu testne osobe i jedna dodatna pozicija) merenih prema zahtevima ISO 9886:2004 standarda [242].

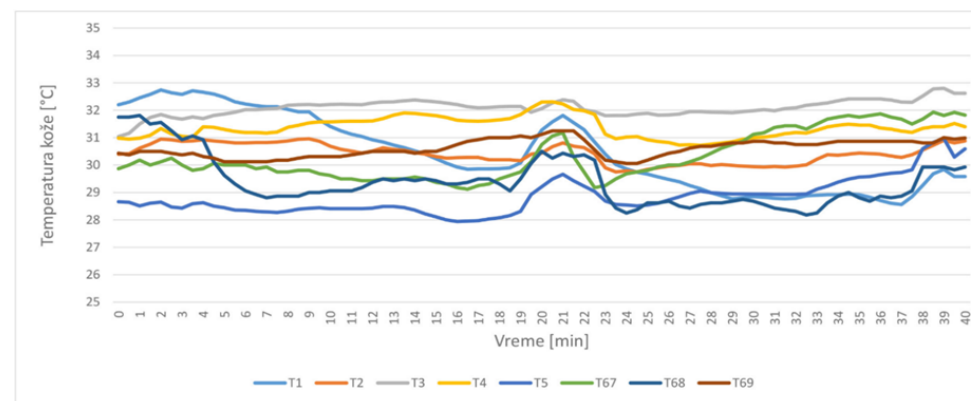


a)

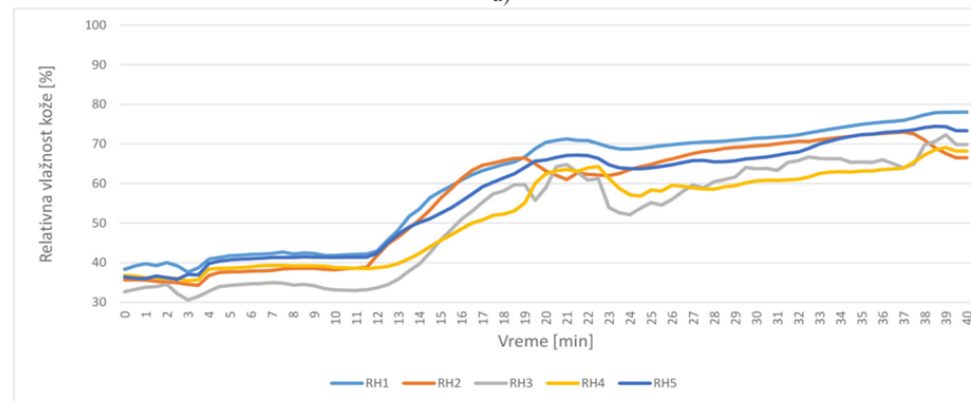


b)

Slika 92. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 03 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

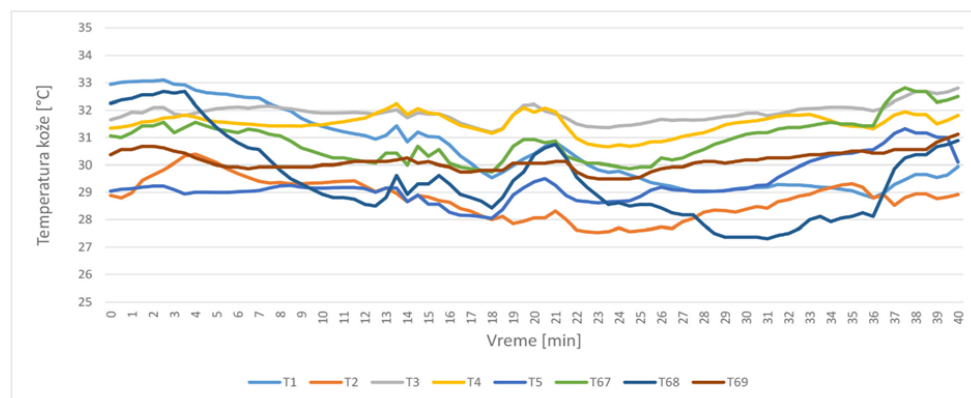


a)

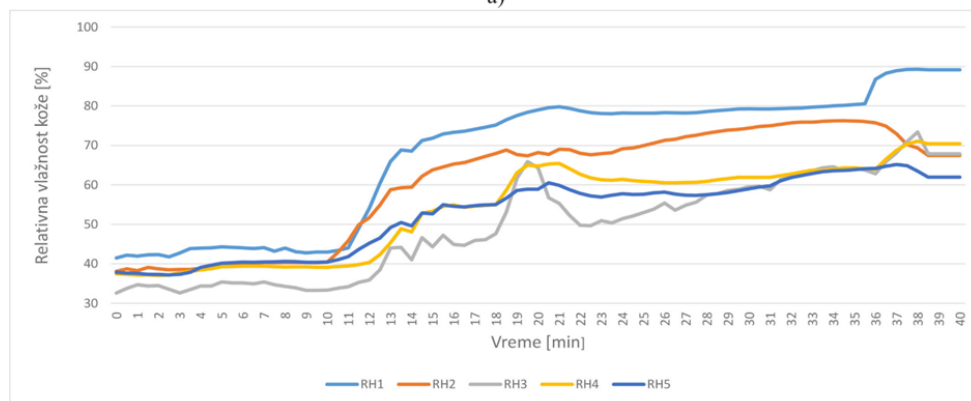


b)

Slika 93. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 04 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

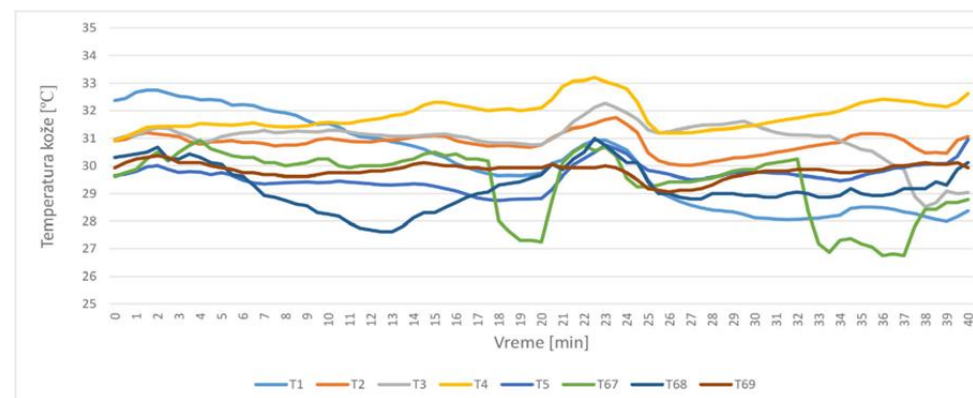


a)

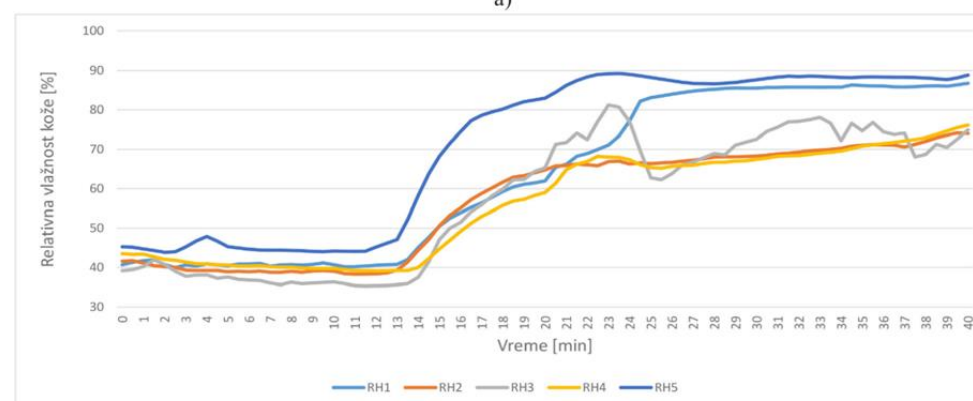


b)

Slika 94. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 05 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

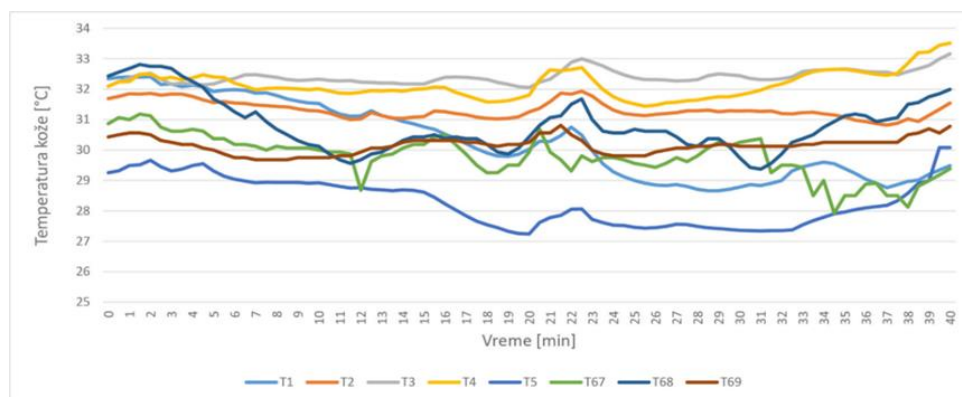


a)

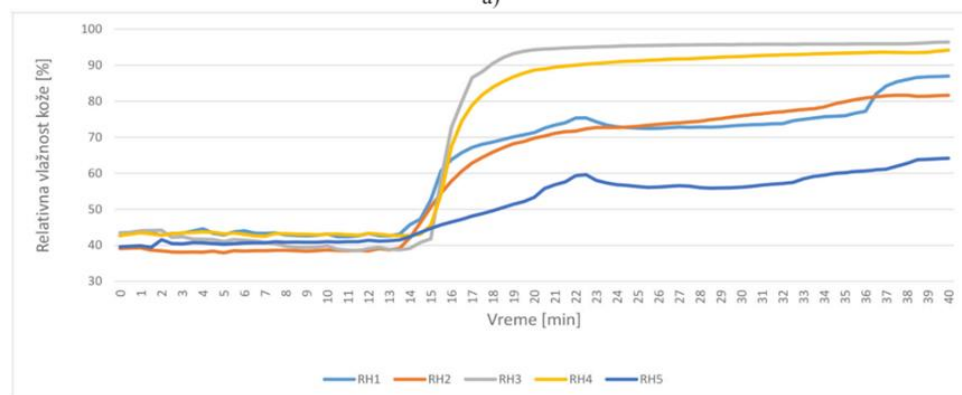


b)

Slika 95. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 07 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

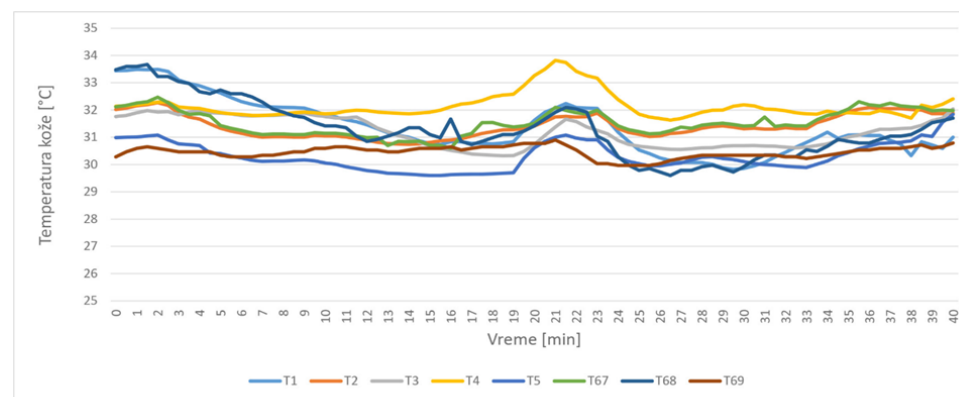


a)

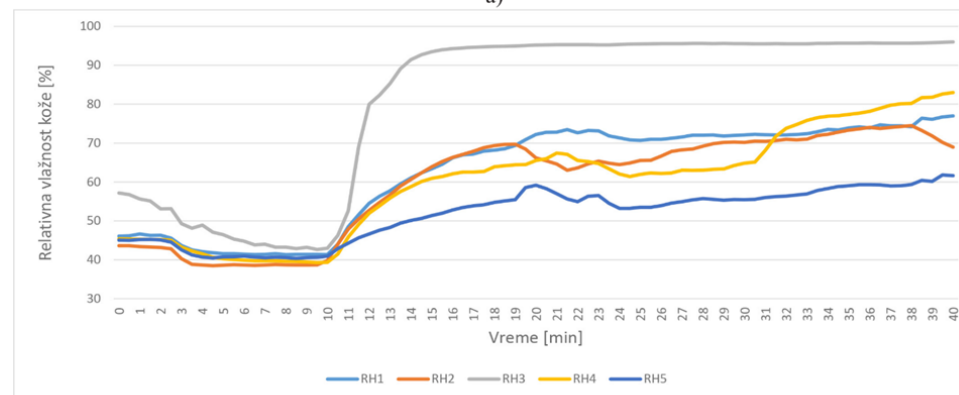


b)

Slika 96. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 08 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

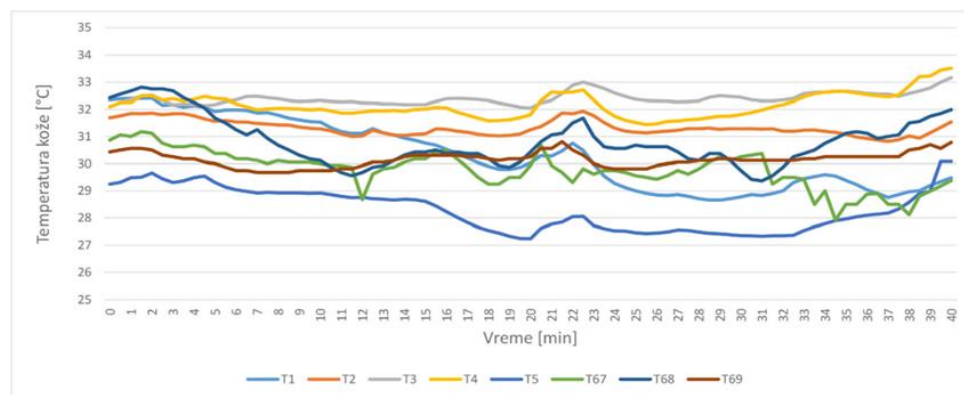


a)

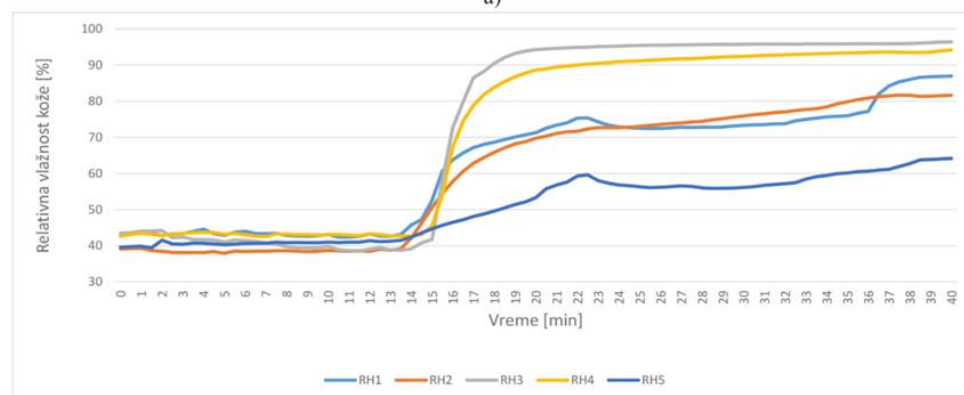


b)

Slika 97. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 09 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

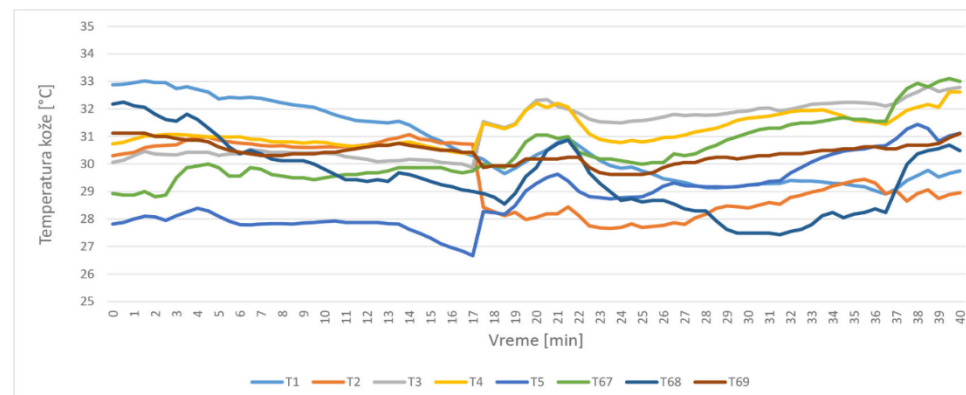


a)

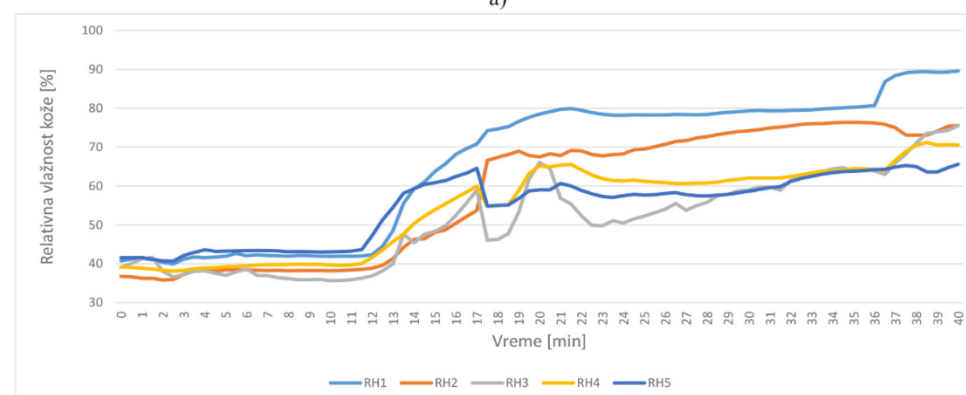


b)

Slika 98. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 10 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

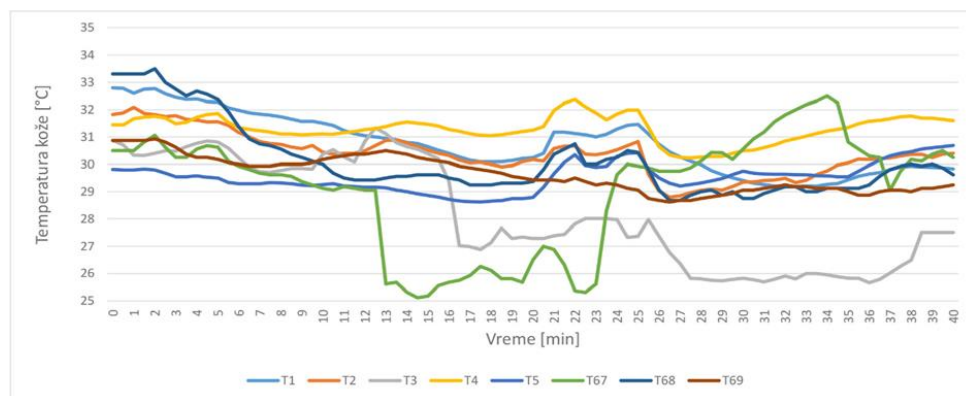


a)

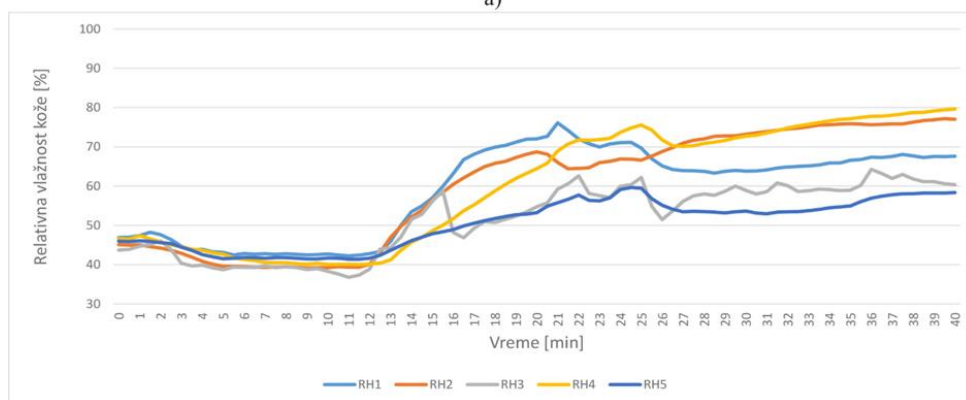


b)

Slika 99. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 11 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

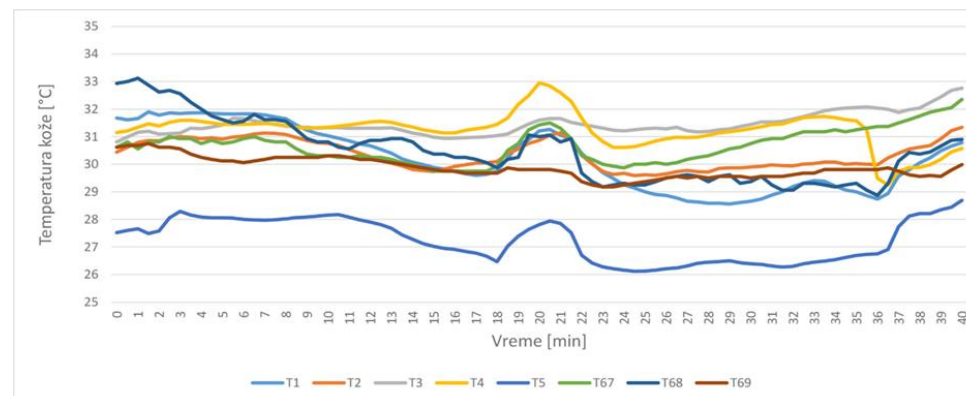


a)

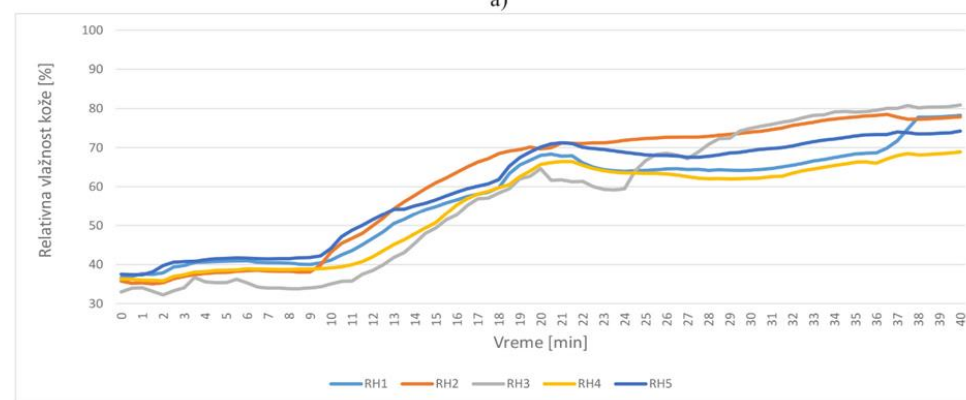


b)

Slika 100. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 12 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože



a)



b)

Slika 101. Rezultati toplotno-fiziološkog ispitivanja prilikom nošenja majice oznake 13 prema standardu ISO 9886:2004:
a) temperatura kože i b) relativna vlažnost kože

Na osnovu rezultata vidi se da pri nošenju majice 03 izrađene od PES pletenine u interlok prepletaju, promenom intenziteta fizičke aktivnosti, merene su temperature (slika 92a) i relativne vlažnosti kože (slika 92b) na telu testne osobe. Sve temperature na početku eksperimenta do osamnaestog minuta opadaju. Nakon ovog perioda dolazi do blagog porasta svih temperatura kože, dok u periodu mirovanja sve temperature dostižu maksimalne vrednosti nakon odprilike 2 min i zatim opadaju. Nakon dvadeset petog minuta sve temperature kože blago rastu sa oscilacijama do kraja eksperimenta. Najveće prosečne vrednosti temperatura kože pri nošenju majice 03 izmerene su na butini (31,33 °C) i grudima (31,2 °C) a najmanja na listu noge (28,55 °C).

Do drugog minuta eksperimenta sve vrednosti RH kože su ujednačene dok, nakon toga do dvanaestog minuta blago opadaju. Nakon toga, ove vrednosti naglo rastu i zadržavaju visoke vrednosti do kraja eksperimenta, što je posledica znojenja koje se javilo usled pojačane fizičke aktivnosti. Najveće prosečne vrednosti RH kože izmerene su na ramenu (77,64 %) i grudima (67,23 %) a najmanje na leđima (58,65 %) i butini (53,16 %).

Prilikom nošenja majice sa oznakom 04 (slika 93a) izrađene od dvoslojne pletenine, zapažene su neznatne promene u temperaturama kože do devetnaestog minuta eksperimenta, osim na čelu i butini gde ove vrednosti blago opadaju. U periodu mirovanja temperature kože blago rastu i zatim opadaju do dvadeset trećeg minuta. U drugoj fazi eksperimenta dolazi do neznatnog porasta svih temperatura kože izmerenih na telu testne osobe. Najveće prosečne vrednosti temperatura kože izmerene su na grudima (32,09 °C) i ramenu (31,37 °C) dok je najmanja na butini (28,84 °C).

Sve vrednosti RH kože (slika 93b) pri nošenju majice 04 su približno konstantne do dvanaestog minuta a zatim sa povećanjem brzine kretanja rastu do kraja prve faze eksperimenta. U periodu mirovanja dostižu maksimum i blago opadaju do dvadeset četvrtog minuta. U drugoj fazi do kraja eksperimenta ove vrednosti blago rastu. Najmanje prosečne vrednosti RH kože izmerene su na grudima (50,68 %) i ramenu (51,64 %) a najveće na čelu (59,91 %). Niske vrednosti RH kože, u toku eksperimenta objašnjavaju se svojstvima dvoslojne pletenine (korišćene za izradu majice 04) koja se odlikuje poboljšanim toplotnim i svojstvima regulacije vlage.

Pri nošenju majice sa oznakom 05 (slika 94a) izrađene od PES pletenine zabeležene su oscilacije vrednosti temperatura kože do petnaestog minuta eksperimenta, a nakon toga pri brzini kretanja od 12 km·h⁻¹ sve temperature blago opadaju. Oko dvadestog minuta javlja se maksimum kod svih merenih temperatura. I u drugoj fazi eksperimenta zabeležen je blagi

porast svih vrednosti (sem na butini). Pri nošenju majice 05 najveće prosečne vrednosti temperatura kože izmerene su na grudima (31,87 °C) i čelu (30,57 °C) a najmanje na ruci (29,25 °C) i butini (29,39 °C).

Analizom vrednosti RH kože prikazanih na slici 94b vidljivo je da su promene u vrednostima RH kože zanemarljive od prvog do desetog minuta testa. Nakon toga, sa uvećanjem brzine kretanja ove vrednosti rastu sa blagim oscilacijama do kraja eksperimenta. Najveće prosečne vrednosti RH kože izmerene su na čelu i lopatici i iznose 66,9 % i 60,47 %, po redosledu navođenja a najniže srednje vrednosti RH na butini 52,3 %.

Na slici 95a prikazani su rezultati temperature kože izmereni pri nošenju majice 07 izrađene od konvencionalne pamučne pletenine. Tokom prvih petnaest minuta sve temperature kože blago opadaju (sa izuzetkom temperature kože na ramenu koja raste). U fazi mirovanja javlja se maksimum na oko dvadeset trećeg minuta. Javlja se odstupanje kod T₆₇ (šaka) što je posledica odlepljivanja senzora usled pojačanog znojenja testne osobe. U drugoj fazi eksperimenta sa povećanjem intenziteta fizičke aktivnosti zabeležen je blagi porast svih temperatura kože sa izuzetkom temperature izmerene na čelu. Najveće prosečne vrednosti temperatura kože izmerene su na ramenu (31,87 °C) i grudima (30,98 °C) a najmanja na šaci (29,42 °C).

Do trinaestog minuta eksperimenta zabeležene su neznatene promene u RH vrednostima (slika 95b), a nakon toga naglo rastu do dvadeset trećeg minuta (period mirovanja). U drugoj fazi eksperimenta sve vrednosti RH kože blago rastu. Najmanje prosečne vrednosti RH kože izmerene su na ramenu (56,23 %) i lopatici (56,87 %) a najviša na butini (71 %).

U prvoj fazi eksperimenta prilikom nošenja majice 08 izrađene od funkcionalne pletenine (slika 96a) zabeležene su blage promene u vrednostima temperatura kože. Dolazi do pojave maksimuma na sredini perioda mirovanja. U drugoj fazi eksperimenta, zabeležen je blagi porast svih temperatura kože. Najveće prosečne vrednosti temperatura kože su na grudima (32,41 °C) i leđima (31,32 °C) a najmanja na ruci (28,3 °C).

Na početku eksperimenta nema značajnih promena u vrednostima RH kože (slika 96b). Oko četranaestog minuta sa povećanjem brzine kretanja dolazi do naglog porasta svih vrednosti RH kože i nakon dvadesetog minuta se neznatno menjaju. Najveće srednje vrednosti RH kože zabeležene su na grudima (73,35 %) i ramenu (71,79 %) dok je najniža na butini (50,66 %).

Pri nošenju majice 09 (slika 97a) od funkcionalne pletenine temperature kože blago opadaju do četvrtog minuta, nakon čega se javlja blagi porast do perioda mirovanja kada se

uočava pojava maksimuma, nakon toga su promene neznatne. Najveće prosečne vrednosti temperatura kože izmerene su na ramenu (31,87 °C) i grudima (30,98 °C) a najmanja na šaci (29,42 °C).

Tokom prvih deset minuta, vrednosti RH kože blago opadaju (slika 97b) zatim do devetnaestog minuta naglo rastu a posle toga rast je blag. Najveći porast temperature je zabeležen na grudima. Najveća srednja vrednosti RH kože je na grudima (81,33 %) a najmanja na butini (51,9 %).

Prilikom nošenja majice 10 (slika 98a) izrađene od funkcionalne *Coolmax* pletenine primećene su velike oscilacije u vrednostima temperature kože tokom eksperimenta. Do petnaestog minuta zabeleženo je blago opadanje svih temperatura kože, nakon toga pri povećanju brzine kretanja dolazi do porasta ovih vrednosti. U toku faze mirovanja dolazi do pojave maksimuma (sa izuzetkom temperature izmerene na šaci). U drugoj fazi eksperimenta zabeležen je blagi porast svih vrednosti temperatura kože. Najviše srednje vrednosti temperatura kože zabeležene su na ramenu (31,41 °C) i leđima (30,81 °C) a najmanja na ruci (28,48 °C).

Do desetog minuta zabeležene su neznatne promene u vrednostima RH kože (slika 98b), koje nakon toga rastu do kraja prve faze eksperimenta i nakon toga promene su neznatne. Najveće srednje vrednosti RH kože izračunate su na ramenu (66,66 %) i leđima (60,97 %) a najmanje na butini (53,85 %).

Pri nošenju majice 11 izrađene od funkcionalne pletenine (slika 99a) zabeleženo je blago opadanje temperatura kože do sedamnaestog minuta, nakon toga raste sa pojavom maksimuma na početku perioda mirovanja a zatim neznatno rastu do kraja eksperimenta. Najviše srednje vrednosti temperature kože su izračunate na grudima (31,25 °C) i ramenu (31,21 °C) a najniža na ruci (28,83 °C).

Zabeležene su blage promene u RH vrednostima (slika 99b) do dvanaestog minuta eksperimenta, nakon čega ove vrednosti naglo rastu. Sa uvećanjem brzine kretanja vrednosti RH kože rastu sa blagim promenama do kraja eksperimenta. Izuzetak su RH vrednosti izmerene na grudima i ramenu testne osobe što je posledica odlepljivanja senzora. Najveće srednje vrednosti RH kože su na čelu (66,05 %) i leđima (58,47 %) dok je najmanja na grudima (51,25 %).

Pri testiranju majice sa oznakom 12 (slika 100a) od funkcionalne pletenine došlo je do odlepljivanja senzora koji su merili temperaturu kože na pozicijama T₆₇ (šaka) i T₃ (grudi), što je dovelo do velikih odstupanja u ovim vrednostima. Slična pomena temperatura kože je

zabeležena kao i pri nošenju majice 11 sa izuzetkom temperatura na šaci i grudima. Najviše srednje vrednosti temperature kože iznose 31,34 °C na ramenu i 30,73 °C na čelu a najmanja na 26,83 °C na grudima.

Vrednosti RH kože (slika 100b) se menjaju na sličan način kao pri nošenju majice 11. Najveće srednje vrednost RH kože 60,7 % zabeležene su na ramenu i 59,15 % na čelu a najmanje 52,18 % na grudima.

Pri nošenju majice 13 zabeležena je slična promena temperatura kože (slika 101a) kao kod majica 11 i 12 s tom razlikom da je temperatura na ruci dosta niža ali se menja na isti način. Takođe, ista promena RH kože (slika 101b) je zabeležena kao kod majica 11 i 12. Najviše srednje vrednosti RH kože su na leđima (61,43 %) dok je najniža (54,68 %) na ramenu. Ova majica je izrađena od izuzetno porozne funkcionalne pletenine što je doprinelo povećanoj ventilaciji tokom fizičke aktivnosti i nižim vrednostima RH kože.

Može se zaključiti da svojstva upotrebljenih pletenina za izradu majica kao što su sirovinski sastav i struktura imaju veliki uticaj na rezultate temperature i relativne vlažnosti kože. Takođe, može se primetiti da svojstva upotrebljenih pletenina različito utiču na toplotno-fiziološku udobnost u toku vremena i intenziteta fizičke aktivnosti.

Kao najadekvatnije sportske majice na osnovu rezultata srednje T_{pon} i RH kože su majica 05 (izrađena od konvencionalne pletenine) i majice 08 i 13 (izrađene od funkcionalnih pletenina).

4.11.2 Rezultati isparavanja i izlučivanja znoja

U tabeli 22 prikazani su rezultati srednjih vrednosti isparenog i izlučenog znoja testne osobe 1 (protokol A) prilikom nošenja ispitivanih majica. Uslovi testiranja su: temperatura okoline 20 °C, vlažnost vazduha 50 % i brzina kretanja vazduha 0,5 m·s⁻¹.

Tabela 22. Rezultati količine izlučenog i upijenog znoja

Oznaka majice	Količina izlučenog znoja [g]	Količina upijenog znoja [g]
Majica 03	425	10
Majica 04	351	18
Majica 05	396	14
Majica 07	643	26
Majica 08	468	12
Majica 09	352	18
Majica 10	356	14
Majica 11	420	20
Majica 12	363	22
Majica 13	410	20

Najveća količina izlučenog znoja zabeležena je prilikom nošenja majice 07 (643 g) koja je izrađena od pamučne pređe a najmanja vrednost za majicu 04 (351 g) koja je izrađena od dvoslojne pletenine (50 % Co / 50 % PES). Može se zaključiti da je upavo sirovinski sastav imao uticaj na vrednosti količine izlučenog znoja, pa je tako za majicu 07, zabeležena izuzetno visoka vrednost količine upijenog znoja, čak 26 g. Poznato je da pređe izrađene od pamučnih vlakana u svojoj strukturi sadrže mnoštvo kapilara kao posledicu nepravilnosti ovih vlakna (kao neujednačen poprečni presek) što dodatno utiče na svojstva kvašenja i dinamiku kretanja vlage kako u samoj pređi tako i duž nje. Ovo nije slučaj kod upotrebe pređa od sintetičkih vlakana, koje imaju kompaktnu strukturu i jasno raspoređene kapilare pa je samim tim transport vlage u njihovoj strukturi jako ubrzan.

Prilikom nošenja majice 03 izrađene od konvencionalne PES pletenine u interlok prepletaju zabeležena je nešto veća količina izlučenog znoja (425 g) u odnosu na PES pleteninu u desno-desnom saće prepletaju 05 (396 g), što se objašnjava poroznošću saće prepletaja odnosno pojačanom ventilacijom. Pored toga, prilikom nošenja ovih majica zabeležene su niske vrednosti upijenog znoja.

Količina izlučenog znoja pri nošenju majice 04 izrađene od dvoslojne pletenine (50 % Co / 50 % PES) u interlok pike prepletaju iznosi 351 g, dok je pri nošenju majice 09 izrađene od funkcionalne dvoslojne pletenine u pike prepletaju zabeležena neznatno veća količina izlučenog znoja (352 g). Količina upijenog znoja je jednaka pri nošenju obe majice i iznosi 18 g. Ovakvi rezultati se objašnjavaju dobrim svojstvima transporta vlage dvoslojnih pletenina.

Prilikom nošenja majice sa oznakom 08 zabeležena je visoka količina izlučenog znoja od 468 g dok je količina upijenog znoja bila mala (12 g). Ova majica je izrađena od izuzetno

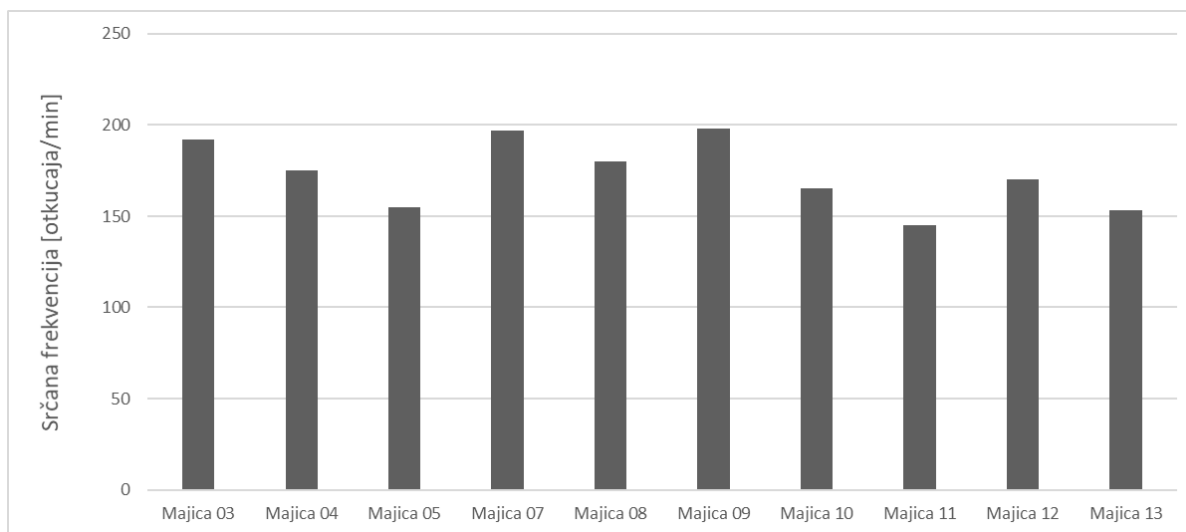
porozne pletenine što je uzrokovano strukturom (mrežica) pa je to doprinelo brzom sušenju i odvođenju vlage sa površine pletenine u okolinu.

Najmanje vrednosti količine upijenog znoja zabeležene su prilikom nošenja majica 03 (PES), 08 (80 % PA / 20 % EL), 05 (PES) i 10 (PES *Coolmax*). Najveće količine upijenog znoja zabeležene su pri nošenju majica 07 (100 % Co) izrađene od konvencionalne pletenine i 12 (95 % Co / 5 % EL) izrađene od funkcionalne pletenine. Ovi rezultati objašnjavaju se hidrofilnom prirodom pamučnih vlakana.

4.11.3 Rezultati srčane frekvencije

Srčana frekvencija ili sinusni ritam može se definisati kao brzina smene srčanih ciklusa i meri se brojem kontrakcija srca u minuti (otkucaja u minuti). Srčana frekvencija može varirati u zavisnosti od potrebe organizma, telesnih i fizičkih potreba.

Rezultati srednje vrednosti srčane frekvencije zabeleženih pri nošenju analiziranih modela majica tokom fizičke aktivnosti (opisane u Prilogu, protokol A) prikazani su na slici 102.



Slika 102. Srednje vrednosti srčane frekvencije testne osobe 1 pri nošenju majica

Na osnovu analize rezultata prikazanih na slici vidi se da se srednje vrednosti srčane frekvencije kreću u rasponu od 145 otkucaja/min (majica 11) do 198 otkucaja/min (majica 09). Takođe, može se zaključiti da svojstva pletenina upotrebljenih za izradu majica imaju veliki uticaj na rezultate srčane frekvencije. Niže vrednosti srčane frekvencije zabeležene su i za majice sa oznakama 11, 13, 05 i 10. Ovakvi rezultati se podudaraju sa rezultatima subjektivnog

ispitivanja udobnosti analizirane odeće (sa izuzetkom majice 11 koja je ocenjena kao neudobna), gde je testna osoba ove majice ocenila kao najudobnije po pitanju toplotno-fiziološke udobnosti. Pored toga, za pletenine 05 i 10 zabeležene su visoke vrednosti propustljivosti vazduha kao i najmanje vrednosti sadržaja vlage u odnosu na ostale pletenine što je doprinelo brzom sušenju ovih majica i povećanoj toplotno-fiziološkoj udobnosti u toku fizičke aktivnosti (a samim tim i najmanjim vrednostima srčane frekvencije).

Najviše vrednosti srčane frekvencije testne osobe zabeležene su pri nošenju majica sa 09, 07 i 03. Na ovakve rezultate pre svega su uticali faktori kao što je sirovinski sastav i debljina pletenine od kojih su majice izrađene. Majice 07 i 12 oznaka su izrađene od pamučnih pletenina, što je doprinelo smanjenju toplotno-fiziološke udobnosti (visoke vrednosti srednje T_{pon}) i za posledicu imalo visoke rezultate srčane frekvencije.

Niski rezultati srčane frekvencije su zabeleženi pri nošenju majica koje se odlikuju poroznom strukturom tj. strukturom koja omogućava povećan protok vazduha i propustljivosti vlage, što omogućava hlađenje tela tokom fizičke aktivnosti.

Analizom rezultata toplotnih i fizičkih svojstava upotrebljenih pletenina za izradu modela majica može se zaključiti da navedena svojstva pletenina imaju značajan uticaj na opterećenje sportista tokom fizičke aktivnosti što se može videti iz rezultata srčane frekvencije. Povišena temperatura okoline pri fizičkoj aktivnosti dovodi do povećanja temperature kože i za posledicu ima širenje vena i povećanje krvnog protoka kao i povećanje vrednosti srčane frekvencije. Manje vrednosti srčane frekvencije zabeležene su pri nošenju majica kod kojih su izračunate niže srednje T_{pon} kože.

4.11.4 Subjektivna ispitivanja toplotno-fiziološke udobnosti

U svrhu procene toplotnog stanja sportiste pri nošenju majica, testna osoba 1 je odgovarala na pitanja prikazana u tabeli P-1 (Prilog) pre, u toku i nakon eksperimenta.

Rezultati subjektivne ocene toplotnog osećaja prikazani u tabeli P-3 (Prilog), dok su rezultati subjektivnih ocena stepena vlažnosti kože prikazani u tabeli P-4 (Prilog).

Pitanje: Toplotni osećaj

Testna osoba 1 je na pitanje toplotnog osećaja pri nošenju majice oznake 03 (od PES pletenine u interlok prepletaju) odgovorila da se na početku eksperimenta oseća „blago hladno“, u fazi mirovanja „toplo“, dok se na kraju eksperimenta osećala „vruće“.

Prilikom nošenja majice 04 (od konvencionalne dvoslojne pletenine Co/PES) testna osoba je odgovorila da se u toku celog eksperimenta oseća „blago toplo“. Pri nošenju majice 09 (od funkcionalne dvoslojne pletenine Co/PES) testna osoba je odgovorila (da se na početku eksperimenta oseća „hladno“, u fazi mirovanja „toplo“ i na kraju eksperimenata „vruće“) isto ko za majicu 03.

Prilikom nošenja majice 05 (konvencionalne PES pletenine u desno-desnom saće prepletaju) testna osoba je odgovorila da se na početku i kraju eksperimenta oseća „neutralno“, dok u toku faze mirovanja „toplo“.

Testna osoba je ocenila toplotni osećaj, prilikom nošenja majice 07 (od konvencionalne pletenine u desno-levom prepletaju) na početku eksperimenta kao „neutralno“, dok je u fazi mirovanja i na kraju eksperimenta odgovor bio „toplo“. Kada se ovi rezultati uporede sa rezultatima dobijenim za majicu 08 (od funkcionalne pletenine 95 % Co / 5 % EL u desno-levom prepletaju) u toku prve faze eksperimenta testna osoba se osećala „hladno“, dok se u toku faze mirovanja i druge faze eksperimenta osećala „vruće“. Na osnovu ovog odgovora testne osobe može se zaključiti da je funkcionalna pletenina od koje je izrađena majica doprinela hladnijem osećaju samo na početku eksperimenta.

Kod majica izrađenih od funkcionalnih pletenina, testna osoba je odgovorila da se na početku eksperimenta oseća „neutralno“ pri nošenju majice 13, „blago hladno“ pri nošenju majice 10, a odgovor „blago toplo“ pri nošenju majica sa oznakama 08 i 12 i „toplo“ pri nošenju majice 11. U fazi mirovanja, odgovor je bio „blago toplo“ pri nošenju majice 10, dok je pri nošenju majica 09, 11 i 13 odgovor bio „toplo“.

Na osnovu ovih rezultata, može se zaključiti da iz ugla toplotnog osećaja najbolje se pokazala majica 05 od konvencionalne PES pletenine. Kod majica izrađenih od funkcionalnih pletenina nije bilo poboljšanja toplotnog stanja ili je to bilo samo na početku eksperimenta. Tačnije, za sve majice je testna osoba odgovorila da se oseća „toplo“ i „vruće“ u fazi mirovanja dok je odgovor „vruće“ bio zabeležen za kraj eksperimenta. Kao najnepogodnije, na osnovu subjektivnih ocena testne osobe, su majice izrađene od funkcionalnih pletenina 08 i 12.

Pitanje: Toplotna udobnost

Testna osoba je na pitanje toplotne udobnosti na početku eksperimenta odgovorila da se oseća „udobno“ pri nošenju svih modela majica.

Za fazu mirovanju testna osoba je odgovorila da se oseća „udobno“ pri nošenju majica 04, 05, 07 i 13, „blago neudobno“ pri nošenju majica 03, 08, 10, 11, 12, 13 i „neudobno“ pri nošenju majice 09.

Na kraju eksperimenta testna osoba je odgovorila da se oseća „udobno“ pri nošenju majica 04 i 05, „blago neudobno“ pri nošenju majica 03, 07, 08, 10, 11, 12, 13 i „neudobno“ pri nošenju majice 09.

Po pitanju toplotne udobnosti na osnovu odgovora testne osobe kao najpogodnije su se pokazale majice 04 i 05 u toku celog eksperimenta, dok je majica 09 ocenjena kao najneudobnija.

Pitanje: Željeno toplotno stanje

Na početku eksperimenta testna osoba je na pitanje „Kako biste želeli da promenite toplotnu okolinu?“ odgovorila „ni toplije ni hladnije“ prilikom nošenja majica 04, 12 i 13 oznaka, dok je pri nošenju majica 03, 05, 07 i 10 oznaka testna osoba je odgovorila da želi da je „samo malo toplije“, pri nošenju majica 08 i 09 odgovor je bio „toplije“ dok je pri nošenju majice 11 odgovor bio „samo malo hladnije“.

U toku faze mirovanja na ovo pitanje testna osoba je odgovorila „dosta toplije“ dok je nosila majicu 03 dok je odgovor bio „ni toplije ni hladnije“ prilikom nošenja majica 04, 05, 08 i 13 i „samo malo hladnije“, pri nošenju majica 07, 09, 10, 11 i 12.

Odgovor na pitanje željenog toplotnog stanja na kraju eksperimenta testna osoba odgovorila „ni toplije ni hladnije“ prilikom nošenja majica 03, 05, 07 i 08 dok je odgovor „samo malo hladnije“ bio pri nošenju majica 04, 09, 10, 11, 12 i 13.

Po pitanju željenog toplotnog stanja na osnovu odgovora testne osobe kao najpogodnije su se pokazale majice 05 i 04 (izrađene od konvencionalnih pletenina) u toku celog eksperimenta.

Pitanje: Prihvatljivost trenutnih toplotnih uslova

Na pitanje „Prihvatljivost trenutnih toplotnih uslova“ testna osoba je odgovorila „Više prihvatljivo nego neprihvatljivo“ pri nošenju svih modela majica u svim fazama eksperimenta.

Pitanje: Lična tolerancija na toplotnu okolinu

Testna osoba je na pitanje „Lična tolerancija na toplotnu okolinu“ za prvu fazu eksperimenta odgovorila „odlično podnosim“ pri nošenju svih ispitivanih majica. U fazi

mirovanja odgovor na ovo pitanje je bio „odlično podnosim“ pri nošenju majica 04, 05, 07, 09, 10, 11 i 13, dok je odgovor „malo teže podnosim“ testna osoba dala pri nošenju majica 03, 08 i 12.

U drugoj fazi eksperimenta testna osoba je na ovo pitanje odgovorila „odlično podnosim“ pri nošenju majica oznaka 04, 05, 07, 10, 11 i 13, dok je pri nošenju majica 03, 08, 09 i 12 odgovor bio „malo teže podnosim“.

Kao nepogodne majice na osnovu odgovora testne osobe na ovo pitanje u fazi mirovanja i na kraju eksperimenta bile su majice 03, 08, 09 i 12.

Pitanje: Stepen vlažnosti kože

Na pitanje „Koliko je vaša koža vlažna na čelu“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila da je „suva“ pri nošenju svih modela majica. U fazi mirovanja odgovor na ovo pitanje bio je „blago vlažna“ pri nošenju majica 05 i 12, odgovor „vlažna“ testna osoba je dala pri nošenju majica 03, 04, 07, 11 i 13 a odgovor „mokra“ pri nošenju majica 08, 09 i 10. Na kraju eksperimenta odgovor „vlažna“ testna osoba je dala pri nošenju majica 05, 09, 10 i 11, a odgovor „mokra“ pri nošenju majica 03, 04 i 07, dok je odgovor „veoma mokra“ pri nošenju majica 08, 12 i 13.

Na pitanje „Koliko je vaša koža vlažna na grudima“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila „suva“ pri nošenju svih majica, u fazi mirovanja odgovor je bio „blago vlažna“ pri nošenju majica 04, 05, 07, 08, 11, 12 i 13, dok je pri nošenju majica 03, 09 i 10 odgovor bio „vlažna“. Na kraju eksperimenta testna osoba je dala odgovor „blago vlažna“ pri nošenju majica 07 i 11, dok je odgovor „vlažna“ dat za majice 04, 05 i 13 a odgovor „mokra“ pri nošenju majica 03, 08, 09, 10 i 12.

Kod pitanja „Koliko je vaša koža vlažna pod pazuhom“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila „suva“ pri nošenju svih majica. U fazi mirovanja testna osoba je odgovorila da je koža pod pazuhom „vlažna“ za majice 05, 11 i 12 a odgovor „mokra“ za sve ostale majice. Na kraju eksperimenta testna osoba je odgovorila „mokra“ pri nošenju majica 04, 05, 07, 11 i 12 dok je pri nošenju ostalih majica odgovor bio „veoma mokra“.

Na pitanje „Koliko je vaša koža vlažna na laktu“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila „suva“ pri nošenju svih majica. U fazi mirovanja odgovor je bio „suva“ pri nošenju majica 03, 04 i 08 dok je odgovor „blago vlažna“ pri nošenju ostalih majica. Na kraju eksperimenta odgovor „suva“ dat je pri nošenju majica 03, 07, 11 i 13.

Na pitanje „Koliko je vaša koža vlažna na dlanu“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila da je „suva“ pri nošenju svih testiranih majica. Testna osoba je u fazi mirovanja dala odgovor „blago vlažna“ pri nošenju majica 03, 04, 05, 07, 11 i 12 dok je odgovor „vlažna“ dat pri nošenju ostalih testiranih majica. Na kraju eksperimenta odgovor „blago vlažna“ dat pri nošenju majica 05, 07, 11, 12 i 13 i odgovor „vlažna“ pri nošenju ostalih majica.

Na pitanje „Koliko je vaša koža vlažna na butini“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila „suva“ pri nošenju svih majica. Tokom faze mirovanja testna osoba je dala odgovor „blago vlažna“ pri nošenju majica 03, 04, 05, 07, 08 11 i 12 dok je odgovor „vlažna“ dat pri nošenju ostalih majica, sa izuzetkom majice sa oznakom 13 (pri nošenju majice 13, testna osoba je odgovorila da je koža na butini „suva“ u svim fazama eksperimenta). Na kraju eksperimenta odgovor je bio „blago vlažna“ pri nošenju majica 05, 07, 09, 10, 11 i 12 dok je odgovor „vlažna“ dat pri nošenju majica 03, 04 i 08.

Na pitanje „Koliko je vaša koža vlažna na kolenu“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila da je „suva“ pri nošenju svih majica. Odgovor „blago vlažna“ testna osoba je dala pri nošenju majice 13, odgovor „mokra“ dala pri nošenju majica 05, 09, 10 odgovor „vlažna“ je dat pri nošenju ostalih majica u fazi mirovanja. Na kraju eksperimenta odgovor „blago vlažna“ testna osoba je dala pri nošenju majice 13, dok je odgovor „vlažna“ dala pri nošenju majica 07 i 11 i pri nošenju ostalih testiranih majica odgovor je bio „mokra“.

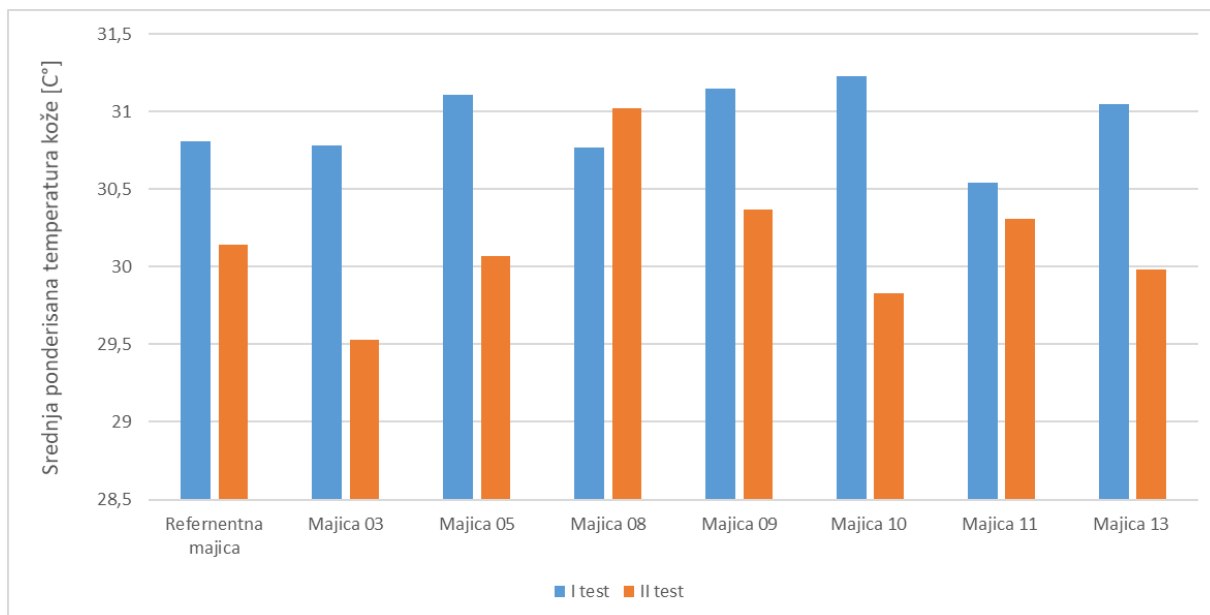
Na pitanje „Koliko je vaša koža vlažna na leđima“ testna osoba je na početku eksperimenta odgovorila da je „suva“ pri nošenju svih majica. U fazi mirovanja odgovor „mokra“ testna osoba je dala pri nošenju majica 07, 09 i 10 dok je odgovor „vlažna“ dala pri nošenju ostalih majica. Na kraju eksperimenta testna osoba je dala odgovor „veoma mokra“ pri nošenju majica 03 i 08, dok je pri nošenju ostalih odgovor bio „mokra“.

4.11.5 Ergonomska, mahanička i kožno-senzorna udobnost

Merenja temperature i vlage kože sprovedena su prema ISO 9886:2004 standardu [242]. Pored ovih, vlaga kože je merena i na dodatnoj petoj poziciji na grudima.

Testirane su majice 03, 05, 08, 09, 10, 11 i 13 kao i referentna majica (sportska odeća poznatog brenda) namenjena za profesionalne sportiste. U eksperimentu je učestvovala testna osoba 2, koja je imala fizičke aktivnosti prema protokolu B (Prilog). Testna osoba je odgovarala na pitanja pre, u toku i nakon eksperimenta.

Na slici 103 prikazani su rezultati srednje ponderisane temperature kože pri nošenju majica.



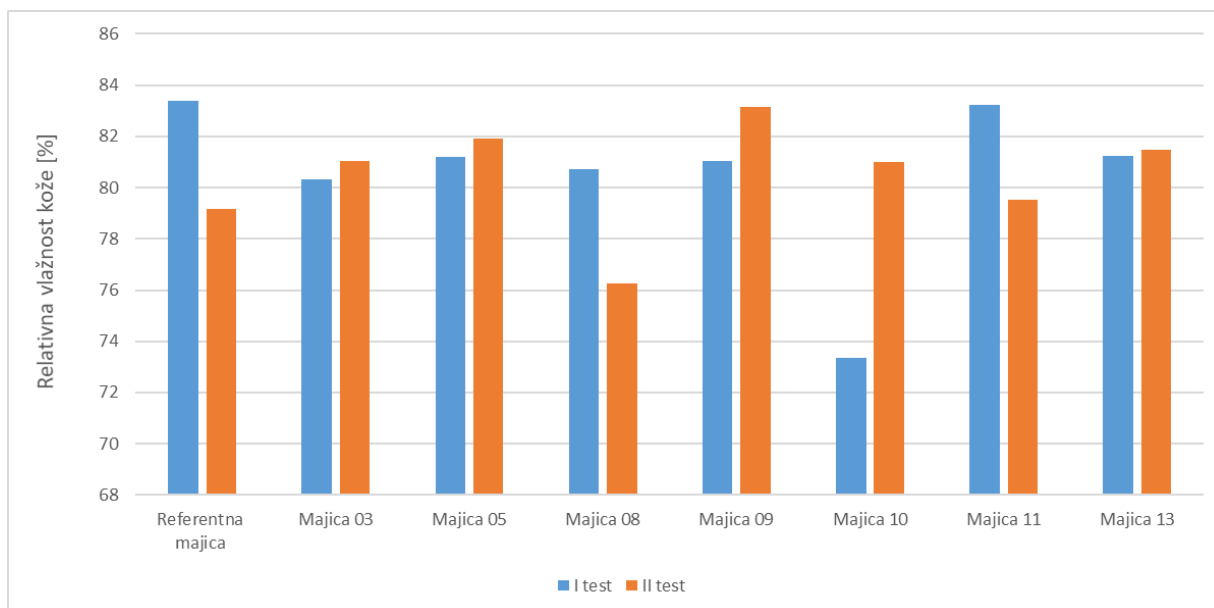
Slika 103. Srednja ponderisana temperatura kože pri nošenju analiziranih majica

Najniži rezultati srednje ponderisane temperature kože, u toku prvog testa, zabeleženi su za majicu 11 (30,78 °C), dok su najviši rezultati zabeleženi za majicu 10 (31,15 °C). U drugom testu su najniže T_{pon} vrednosti izračunate za majicu 03 (29,53 °C), dok su najviše T_{pon} vrednosti izračunate za majicu 08 (31,02 °C).

Pri nošenju svih majica više vrednosti T_{pon} izračunate su u prvom testu u odnosu na drugi test sa izuzetkom majice 08, gde je zabeleženo uvećanje od 0,81%. Verovatno je odstupanje nastalo zbog porozne strukture (mrežice) ove pletenine što je omogućilo poboljšanu ventilaciju i hlađenje tela nakon desetog minuta prvog testa. Smanjenje T_{pon} izračunate za drugi u odnosu na prvi test pri nošenju majica izrađenih od konvencionalnih pletenina iznosi 4,06 % i 3,34 % za majice 03 i 05, po redosledu navođenja. Pri nošenju majica izrađenih od funkcionalnih pletenina smanjenje T_{pon} izračunate za drugi u odnosu na prvi test iznosi 2,5% (majica 09), 4,48 % (majica 10), 0,75 % (majica 11) i 3,74 % (majica 13). Pri nošenju referentne majice smanjene T_{pon} izračunate su na drugom testu u odnosu na prvi (umanjenje iznosi 2,17 %).

Ovi rezultati se mogu objasniti dužim trajanjem prvog testa, gde je testna osoba bila podvrgnuta dugotrajnijoj fizičkoj aktivnosti što se odrazilo na povećanje telesne temperature.

Na slici 104 prikazani su rezultati relativne vlažnosti kože pri nošenju testiranih majica.



Slika 104. Relativna vlažnost kože pri nošenju testiranih majica

Analizom rezultata relativne vlažnosti kože pri nošenju majica, može se zaključiti da su najviše vrednosti u prvom testu dobijene za referentnu majicu (83,4 %), majicu 11 (83,23 %) i 13 (81,24 %), dok su najmanje vrednosti izračunate pri nošenju majice 10 (73,32 %).

Smanjenje od 4,25 % u vrednostima RH kože izračunato je za drugi u odnosu na prvi test pri nošenju referentne majice. Pri nošenju majica izrađenih od konvencionalnih PES pletenina zabeležena je mala razlika u vrednostima RH kože izračunatih za prvi i drugi test. Uvećanje od 0,72 % u vrednostima RH kože izračunato je za majicu 03 za drugi u odnosu na prvi test, dok je ova razlika bila 0,62 % pri nošenju majice 05.

Za majicu sa oznakom 10 u prvom testu izračunata je izuzetno niska RH kože dok je T_{pon} kože bila visoka, što sugeriše da nije došlo do hlađenja tela jer je izlučena mala količina znoja. Tokom drugog testa je zabeleženo pojačano znojenje što je dovelo do smanjenja vrednosti T_{pon} kože.

Pri testiranju majice sa oznakom 13, zabeležena je najmanja razlika između vrednosti relativne vlažnosti kože izračunatih za prvi i drugi test, koja iznosi 0,24 %.

4.11.5.1 Subjektivna ocena ergonomske udobnosti pri nošenju analiziranih majica

Rezultati subjektivnog ispitivanja ergonomske, mehaničke, toplotne i ukupne udobnosti pri nošenju analiziranih majica prikazani su u tabelama P-5 do P-12 u Prilogu.

Na pitanje „Kako biste ocenili majicu koju nosite“ testna osoba 2 je odgovorila „lagana“ pri nošenju referentne majice, kao i majica 05, 09, 10, 11 i 13 u toku oba testa. Pri nošenju majica 03 i 08 testna osoba 2 je odgovorila „lagana“ nakon prvog testa, dok je nakon drugog testa odgovor bio „kruta“.

Testna osoba 2 je odgovorila „osećam se opušteno“ na pitanje „Da li je majica udobna iz ugla kretanja“ pri nošenju svih majica nakon oba testa.

Odgovor testne osobe 2 na pitanje „Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku“ bio je „prihvatljivo pokretna“ pri nošenju svih majici kod oba testa, sa izuzetkom pri nošenju majice 08 nakon prvog testa gde je odgovor bio „neprilagodljiva“.

Na pitanje „Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)“ testna osoba 2 je odgovorila „lako se oblači“ nakon oba testa.

4.11.5.2 Subjektivna ocena mehaničke udobnosti pri nošenju analiziranih majica

Testna osoba 2 dala je potvrdni odgovor na pitanje „Da li smatrate da je majica dovoljno elastična?“ pri nošenju svih majica, nakon oba testa.

Na pitanje „Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna?“ testna osoba 2 je odgovorila „Da“ pri nošenju svih majica sa izuzetkom majice 08 gde je odgovor bio „Ne“ nakon oba testa.

Odgovor testne osobe na pitanje „Da li majica dobro stoji na telu“ bio je „Da“ pri nošenju svih majica, nakon oba testa.

4.11.5.3 Subjektivna ocena kožno-senzorne udobnosti pri nošenju analiziranih majica

Na pitanje „Koji osećaj majica ostavlja na koži?“ testna osoba 2 je odgovorila „Daje prijatan osećaj“ pri nošenju majica 03, 05, 09, 10 i 13 nakon oba testa. Pri nošenju modela majice 08 odgovor je bio da majica „daje prijatan osećaj“ nakon prvog testa a nakon drugog testa „Ne daje prijatan osećaj“. Pri nošenju majice 11, nakon oba testa odgovor je bio da majica „Ne daje prijatan osećaj“ na koži.

Testna osoba 2 je dala potvrdni odgovor na pitanje „Da li majica deluje hladno - daje neprijatni osećaj?“ pri nošenju majica 03 i 08 nakon oba testa, kao i kod majica 09 i 13 nakon prvog testa. Kod ostalih majica je odgovor na ovo pitanje bio negativan.

Na pitanje „Da li majica iritira kožu?“ testna osoba je odgovorila „Ne“ nakon oba testa pri nošenju svih modela majica.

Utvrđeno je da se testna osoba osećala najneugodnije iz ugla ergonomske, mehaničke i kožno-senzorne udobnosti (tokom dužeg bavljenja fizičkom aktivnošću) pri nošenju majica 03 i 08 koje su u drugom testu opisane kao krute, neprilagodljive prilikom pokretanja ruku, i pritom daju neprijatan osećaj na koži.

4.11.5.4 Subjektivna ocena ukupne udobnost pri nošenu analiziranih majica

Na pitanje „Da li osećate vrućinu?“ testna osoba je odgovorila potvrdno nakon oba testa pri nošenju svih majica, dok je negativni odgovor dala na pitanje „Da li osećate toplotu?“.

Testna osoba 2 dala je potvrdni odgovor na pitanje „Osećate li vlagu u majici?“ nakon oba testa dok, je na pitanje da li oseća umor pri nošenju analiziranih modela majica odgovor bio negativan nakon oba testa i pri nošenju svih majica.

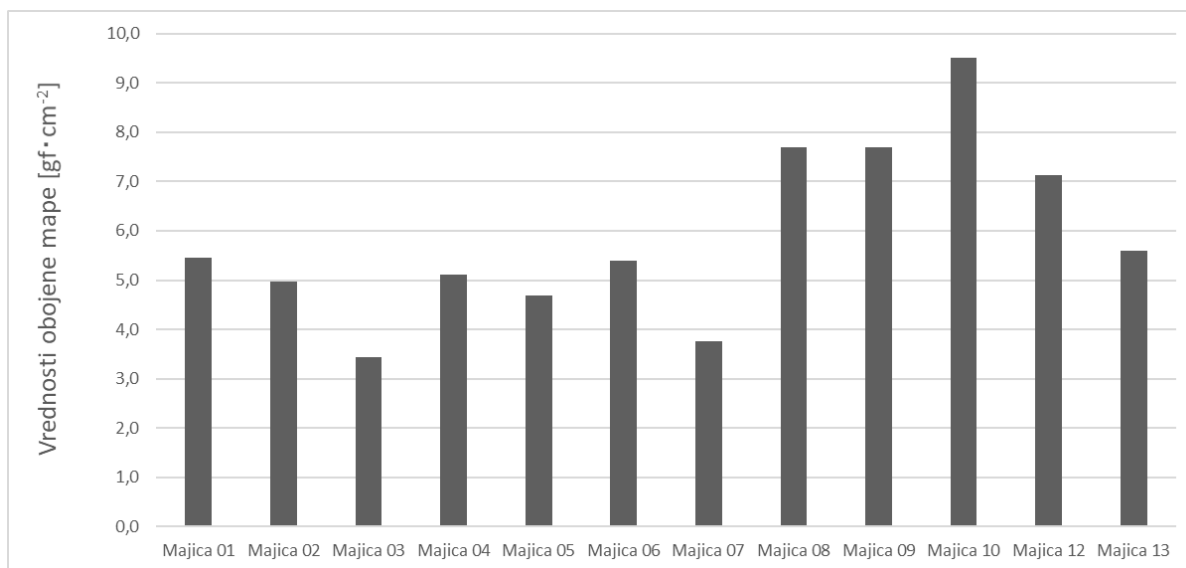
Na pitanje „Da li vas majica ometa pri kretanju?“ testna osoba je odgovorila „Ne“ pri nošenju svih majica nakon oba testa sa izuzetkom majice 08 nakon prvog testa kad je odgovor bio potvrđan.

4.12 Određivanje udobnosti pri nošenju fudbalskih majica upotrebom *OptiTex* programske opreme

Na osnovu rezultata mehaničkih svojstava pletenina (sa KES sistema), strukturnih svojstava i korišćenjem dvodimenzionalnih krojnih delova majice izrađene su 3D simulacije majica za fudbalere. Korišćena je opcija *Tension Map* u softveru *OptiTex* koja omogućava evaluaciju udobnosti simuliranih odevnih predmeta putem mape u boji koja prikazuje vrednosti istežanja, napetosti i udaljenosti između tekstilnog materijala i virtuelnog modela.

Raspon boja na simuliranom modelu predstavlja opseg vrednosti u $\text{gf}\cdot\text{cm}^{-1}$. Tople boje predstavljaju visoke, dok hladne boje predstavljaju niske vrednosti pa tako crvena označava najviše dok plava označava najniže vrednosti. Zelena boja se nalazi između crvene i plave boje. U svakom slučaju, na svakom odevnom predmetu mora da se javi crvena boja koja označava da odevni predmet tj. tekstilni materijal naleže na telo.

Na slici 105 prikazani su rezultati udobnosti simuliranih majica dobijenih putem opcije *Tension Map* u *OptiTex*-u (osim majice 11).



Slika 105. Rezultati udobnosti dobijeni opcijom *Tension Map*

Najviša vrednost je zabeležena za majicu sa oznakom 10, dok je najmanja vrednost zabeležena za majicu sa oznakom 03.

Na osnovu prikazanih rezultata vidljivo je da su veće vrednosti zabeležene za majice izrađene od funkcionalnih pletenina i u rasponu od $5,6 \text{ gf}\cdot\text{cm}^{-1}$ do $9,5 \text{ gf}\cdot\text{cm}^{-1}$ dok se kod konvencionalnih pletenina ove vrednosti se kreću od $3,4 \text{ gf}\cdot\text{cm}^{-1}$ do $5,5 \text{ gf}\cdot\text{cm}^{-1}$. Ovi rezultati ukazuju da majice izrađene od funkcionalnih pletenina više „naležu“ na telo virtuelnog manekena.

Na slikama P-7 do P-14 u Prilogu prikazane su *Tension map* simuliranih fudbalskih majica.

Na slici P-7 je prikazana *Tension Map* simulirane majice 02 za čiju simulaciju su korišćeni mehanički i strukturni parametri PES pletenine u interlok prepletaju. Na prednjem delu majice dominiraju plava i zelena boja. Na zadnjem delu majice - na gornjoj polovini dominira zelena boja, na lopaticama se javlja narandžasta (što sugeriše određenu napetost pletenine), dok na donjem delu je dominantna plava boja (koja ukazuje na najveće rastojanje između kože i odevnog predmeta). Male površine crvene boje su vidljive na mestima spajanja rukava sa prednjim delom majice. Izraženije crvene površine su vidljive na mestima spajanja rukava sa zadnjim delom majice kao i na delu okovratnika na leđima. Na osnovu simulacije, može se zaključiti da bi realizovani model majice usko prijanjao u predelu grudi i gornjem dela leđa.

Sa slike P-8 na kojoj je prikazana *Tension Map* simulirane majice 03 (za čiju simulaciju su korišćeni mehanički i strukturni parametri PES pletenine u interlok prepletaju). Može se zapaziti da je najveća napetost (crvena boja) primećena na grudima, na mestu ključnih kostiju, ramenom šavu, zadnjem delu majice u predelu lopatica kao i na mestima spoja rukava sa zadnjim delom. Dominira plava boja što ukazuje da je na ostalim delovima majica udobna i da pada bez dodirivanja tela.

Na slici P-9 prikazana je *Tension Map* simulirane majice 04 (za simulaciju su korišćeni mehanički i strukturni parametri dvoslojne Co/PES pletenine). Može se zapaziti da na majici dominiraju plava i zelena boja. Male površine crvene boje su vidljive na mestima spajanja rukava sa prednjim i zadnjim delom majice kao i na delu okovratnika na leđima. Na osnovu simulacije, realizovani model bi bio udoban bez obzira na manju napetost između majice i tela na mestu ramenog šava.

Tension Map simuliranog modela majice 05 (za simulaciju su korišćeni mehanički i strukturni parametri PES pletenine) prikazana je na slici P-10. Može se zapaziti da na majici dominiraju plava i zelena boja dok je crvena boja vidljiva na mestima spajanja rukava sa prednjim i zadnjim delom majice kao i na okovratniku. Na osnovu 3D simulacije, može se zaključiti da bi majica bila udobna za nošenje.

Tension Map simulirane majice 06 (za simulaciju su korišćeni mehanički i strukturni parametri PES pletenine) prikazana je na slici P-11. Crvena boja je vidljiva na mestima spajanja rukava sa prednjim i zadnjim delom majice i delovima rukava, kao i na pojedinim delovima okovratnika. Na prednjem i zadnjem delu majice dominira plava boja, dok je na gornjem delu (prednjeg i zadnjeg dela) takođe vidljiva i zelena boja.

Tension Map simulirane majice 07 (za simulaciju su korišćeni mehanički i strukturni parametri Co pletenine) prikazana je na slici P-12 (Prilog). Na prednjem delu majice dominira plava boja, dok se na gornjem delu (na grudima) kao i na delu oko bokova nalazi i zelena boja. Na zadnjem delu majice, u gornjem delu je kombinacija plave i zelene boje, a u donjem delu majice se nalazi samo plava boja. Na mestu spajanja rukava sa prednjim i zadnjim delom izražena je crvena boja sa malo narandžaste. Crvena boja je vidljiva i na zadnjem delu okovratnika.

Na slici P-13 prikazana je mapa simulirane majice 08 (za simulaciju su korišćeni mehanički i strukturni parametri funkcionalne *Outlast* pletenine). Na prednjem delu majice dominira plava boja, dok se na gornjem delu nalazi zelena boja u vidu tri trake pozicionirane preko grudi. Na delu oko bokova i struka nalaze dve trake zelene boje. Na šavovima (na bočnim

stranama) nalaze se zelena i žuta boja. Na mestu spajanja rukava sa prednjim i zadnjim delom dominantna je crvena boja. Crvena boja je vidljiva i na zadnjem delu majice odmah pored rukava.

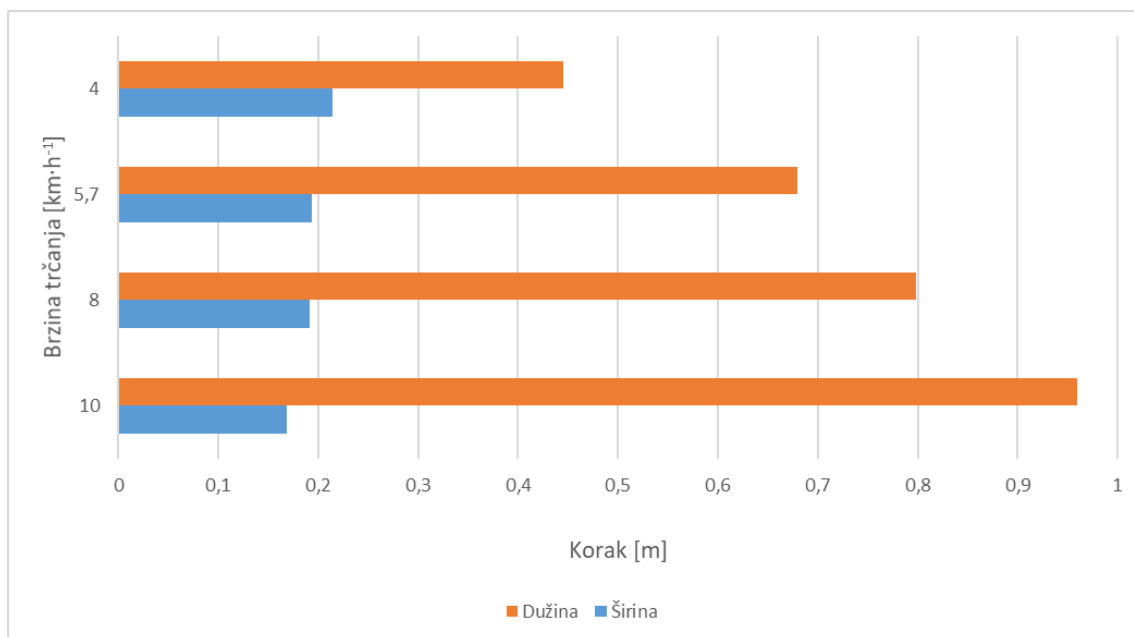
Na slici P-14 je prikazana obojena mapa simulirane majice 13 (izrađena na osnovu mehaničkih i strukturnih parametara funkcionalne pletenine). Može se primetiti da na prednjem delu majice dominira plava boja sa zelenim delovima na najisturenijim delovima grudi, dok je na zadnjem delu majice dominantna plava boja sa izuzetno malim zelenim površinama. Male crvene površine su raspoređene oko okovratnika i na delu spajanja rukava i prednjeg dela, dok su veće crvene površine raspoređene na mestu spajanja rukava i zadnje strane majice.

Mehanička svojstva konvencionalnih i funkcionalnih pletenina su dovela do formiranja različitih simulacija majica gde je prijanjanje majice na telo virtuelnog manekena različito prikazano. Na osnovu analiziranih rezultata (slika 105) može se zaključiti da majice koje bi najbolje stajale na telu (sa najmanjim opterećenjem materijala na telo) bile majice izrađene od konvencionalnih pletenina.

4.13 Rezultati ergonomske udobnosti procenjene upotrebom *Motion capture* sistema

Motion Capture System je korišćen za procenu parametara kretanja prilikom nošenja sportske majice (oznake 04) pri različitim nivoima fizičke aktivnosti. Parametri kretanja koji su praćeni korišćenjem MCS su: ROM savijanja i rotacije desne i leve ruke, dužina i širina koraka.

Rezultati dužine i širine koraka pri različitim opterećenjima prikazani su na slici 106.



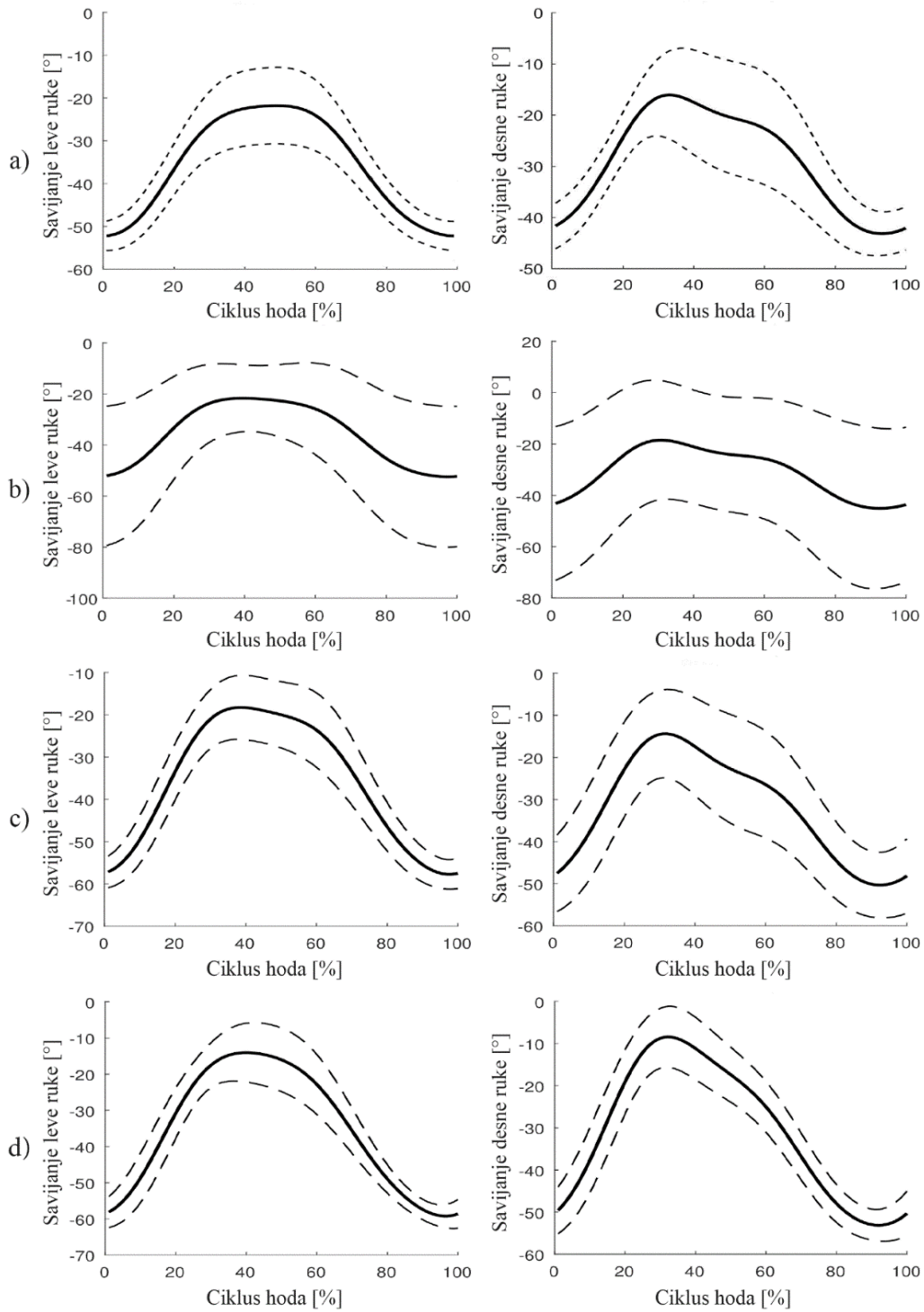
Slika 106. Rezultati dužine i širine koraka

Sa slike je vidljivo da sa povećanjem opterećenja (brzine trčanja) dolazi do postepenog uvećanja vrednosti dužine koraka. Zabeležena vrednost dužine koraka pri brzini trčanja od 4 km·h⁻¹ iznosila je 0,45 m a pri brzini trčanja od 10 km·h⁻¹ ova vrednost iznosi 0,96 m. Tokom eksperimenta, zabeleženo je najveće uvećanje dužine koraka od 1,5 puta između vrednosti zabeleženih pri 4 km·h⁻¹ i onih zabeleženih pri 5,7 km·h⁻¹. Porast od 1,2 puta primećen je za vrednosti dužine koraka zabeležene pri brzini trčanja od 5,7 km·h⁻¹ i 8 km·h⁻¹, kao i onih zabeležene pri 8 km·h⁻¹ i 10 km·h⁻¹.

Kod rezultata širine koraka sa uvećanjem opterećenja tj. brzine kretanja dolazi do smanjenja vrednosti širine koraka. Zabeležena vrednost širine koraka pri brzini trčanja od 4 km·h⁻¹ iznosila je 0,214 m, dok je pri brzini od 10 km·h⁻¹ zabeležena vrednost od 0,168 m. Širina koraka smanjena je 1,1 puta između vrednosti širine dobijene pri brzini kretanja 4 km·h⁻¹ i 5,7 km·h⁻¹. Vrednosti širine koraka smanjuju se 1,1 puta između vrednosti pri brzini kretanja 5,7 km·h⁻¹ i 8 km·h⁻¹. Takođe, zabeležen je pad od 1 % između vrednosti širine koraka pri brzini kretanja 8 km·h⁻¹ i pri 10 km·h⁻¹.

Analiza rezultata dovodi do zaključka da se povećanje opterećenja jasno odražava na pokrete tela kao što su dužina i širina koraka.

Na slici 107 prikazani su rezultati pokreta savijanja ruku pri različitim opterećenjima i na osnovu njih može se uočiti razlika između pokreta savijanja leve i desne ruke.



Slika 107. Rezultati savijanja ruku dobijeni pri:

a) $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, b) $5,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, c) $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i d) $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

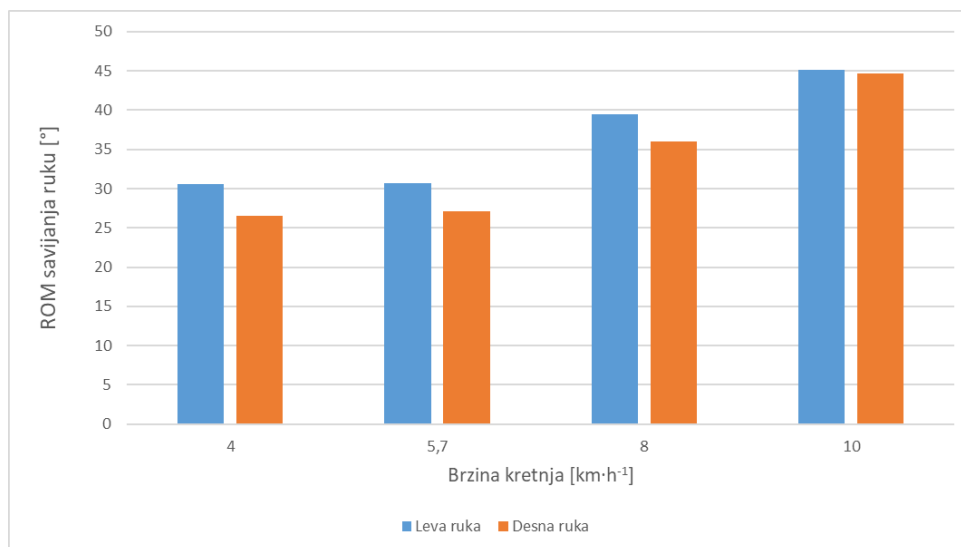
Za pokret savijanja leve ruke, pri brzini trčanja od $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, zabeležena je minimalna vrednost od $-52,01^\circ$ dok je maksimalna vrednost bila $-21,49^\circ$. Pri rasponu ciklusa hoda od 30 % do 58 % javljaju se maksimalne vrednosti koje nakon toga opadaju do kraja ciklusa hoda.

Savijanja leve ruke od $-52,47^\circ$ je minimalna zabeležena vrednost za brzinu kretanja od $5,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, dok je maksimalna vrednost $-21,73^\circ$. Pri brzini kretanja od $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vrednosti savijanja leve ruke su u rasponu od $-57,74^\circ$ do $-18,25^\circ$, dok se pri brzini kretanja od $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ove vrednosti kreću u rasponu od $-59,25^\circ$ do $-14,06^\circ$. Sa uvećanjem brzine kretanja - trčanja dolazi do postepenog opadanja vrednosti savijanja leve ruke.

Kada se analiziraju vrednosti pokreta savijanja desne ruke, vidljive su razlike u odnosu na rezultate dobijene za levu ruku tj. zabeleženi su niži rezultati. Razmatrajući rezultate dobijene za pokret savijanja desne ruke javlja se postepeno uvećanje ovih vrednosti od početka ciklusa hoda do oko 30 %, zatim blago opadanje ovih vrednosti na oko 60 % ciklusa i konačno smanjenje do kraja ciklusa hoda. Slični rezultati dobijeni su za sve brzine trčanja. Minimalna vrednost savijanja desne ruke bila je $-43,17^\circ$ dobijena za brzinu trčanja od $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, dok je maksimalna bila $-16,05^\circ$.

Pri brzini trčanja od $5,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vrednosti ROM za savijanje leve ruke se kreću u rasponu od $-45,08^\circ$ do $-18,49^\circ$, dok pri brzini trčanja od $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vrednosti ROM se kreću u rasponu od $-50,33^\circ$ do $-14,36^\circ$. Pri brzini kretanja od $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ minimalna vrednost ROM savijanja desne ruke se $-53,11^\circ$ a maksimalna $-8,42^\circ$.

Na slici 108 dati su rezultati ROM za savijanje ruku.

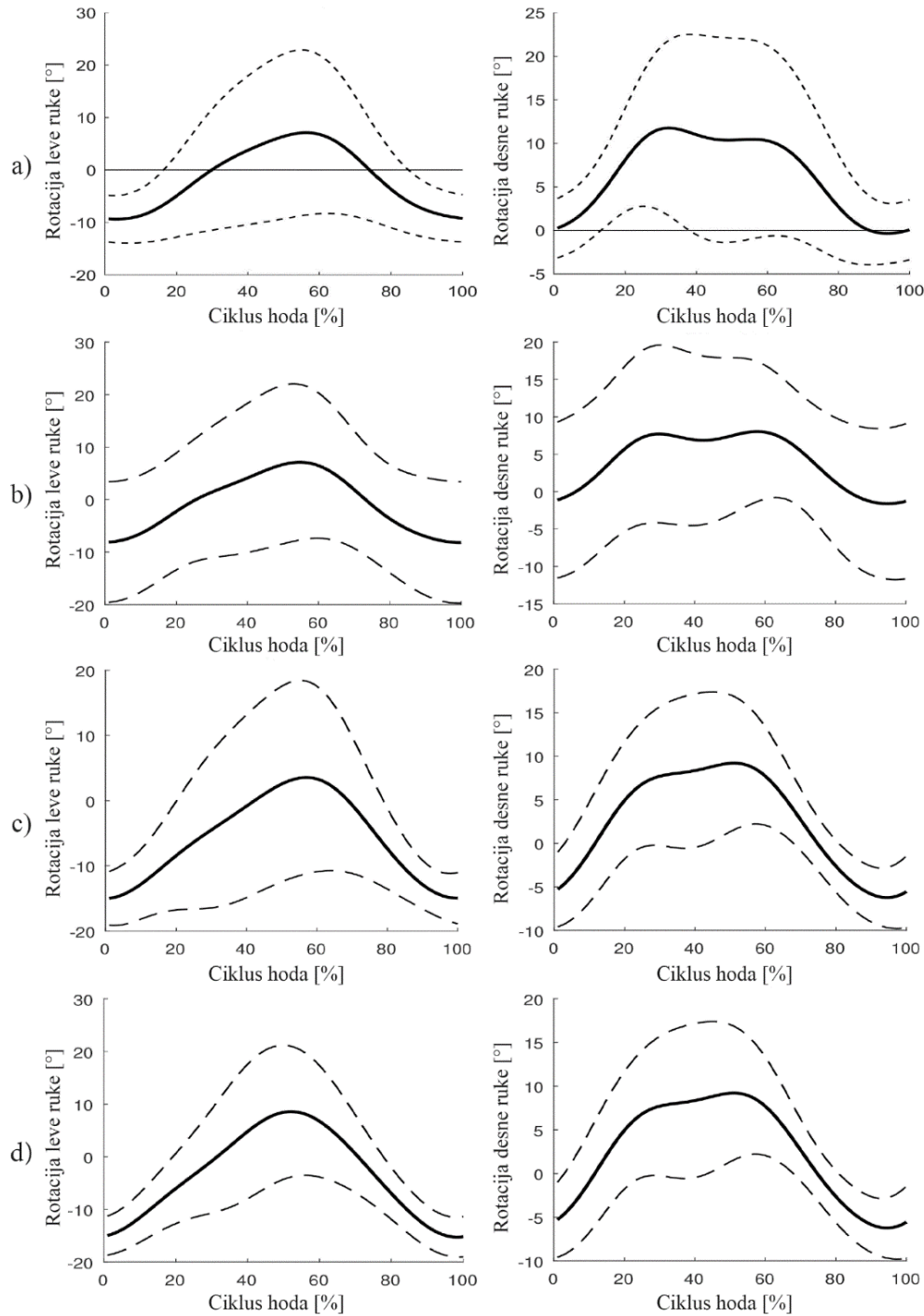


Slika 108. ROM za pokret savijanja leve i desne ruke

Na osnovu rezultata prikazanih na slici, vidljivo je da su više ROM vrednosti zabeležene za pokret savijanja leve ruke u odnosu na pokret savijanja desne ruke. Ova razlika između vrednosti zabeleženih za levu i desnu ruku se proporcionalno smanjuje sa povećanjem

brzine kretanja. Sa uvećanjem opterećenja (brzine kretanja) dolazi do postepenog povećanja vrednosti ROM savijanja ruku.

Na slici 109 prikazani su rezultati rotacionog kretanja ruke pri različitim opterećenjima.



Slika 109. Rezultati rotacije ruku dobijenih pri:

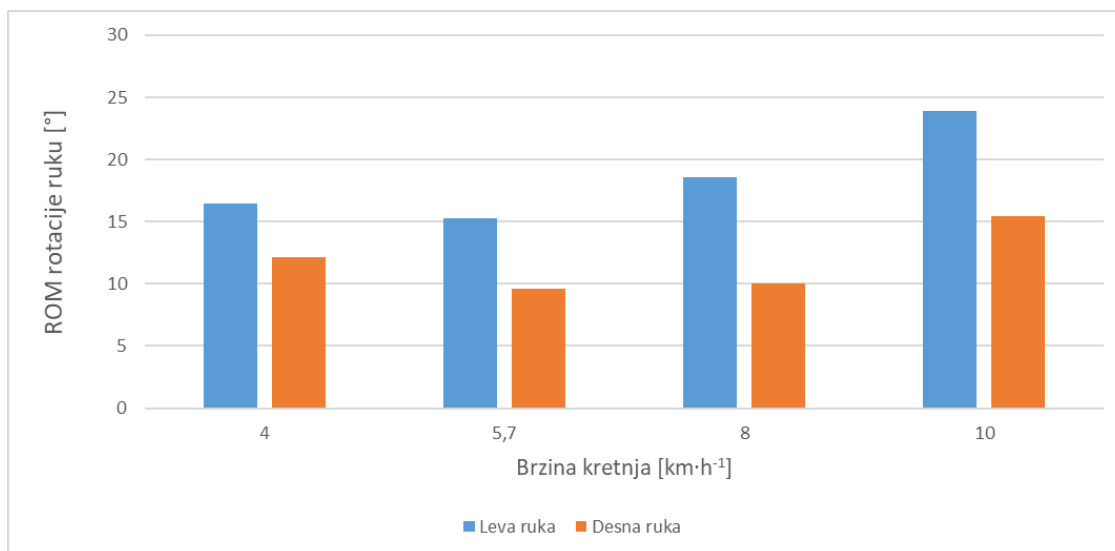
a) $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, b) $5,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, c) $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i d) $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Analizom rezultata može se zaključiti da su dobijene vrednosti za rotaciono kretanje desne i leve ruke vidljivo različiti pri svim brzinama kretanja. Pri brzini od $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, za rotaciju leve ruke zabeležena je minimalna vrednost od $-9,38^\circ$ dok je maksimalna vrednost od $7,12^\circ$ zabeležena na 59 % ciklusa hoda.

Pri brzini kretanja od $5,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ za rotaciju leve ruke zabeležene vrednosti nalaze se u rasponu od $-8,17^\circ$ do $7,13^\circ$, za brzinu kretanja od $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ove vrednosti su u rasponu od $-14,99^\circ$ do $3,56^\circ$ dok za brzinu kretanja od $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ zabeležene vrednosti se kreću od $-15,27^\circ$ do $8,59^\circ$. Za pokret rotaciono kretanje leve ruke pri svim brzinama kretanja, uočeno je da vrednosti od početka ciklusa hoda (0 %) rastu do 58 % ciklusa hoda, sa izuzetkom za $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, gde se pik javlja na 51 % ciklusa, i onda opadaju do završetka ciklusa hoda (100 %).

Za pokret rotacije desne ruke pri brzini kretanja od $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ zabeležene su vrednosti u rasponu od $-0,35^\circ$ do $11,75^\circ$, pri brzini kretanja od $5,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ove vrednosti se nalaze u rasponu od $-1,61^\circ$ do $8,03^\circ$, pri brzini kretanja od $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ u rasponu od $-5,16^\circ$ do $4,91^\circ$ dok se pri brzini kretanja od $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vrednosti rotacije desne ruke nalaze u rasponu od $-6,24^\circ$ do $9,21^\circ$. Analizirani rezultati pokazuju da su više vrednosti rotacije ruke zabeležene za desnu u odnosu na levu ruku (desna ruka je dominantna ruka testne osobe).

Na slici 110 prikazani su rezultati ukupnog ROM za pokret rotacije leve i desne ruke.



Slika 110. ROM za pokret rotacije leve i desne ruke

Na osnovu rezultata sa slike može se primetiti da su više vrednosti zabeležene za ROM rotacije leve u odnosu na desnu ruku. Takođe, sa povećanjem brzine kretanja dolazi do povećanja razlike rotacija leve i desne ruke. Pri brzini kretanja od $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ rezultati ukupnog ROM rotacije leve ruke su veći 1,4 puta u odnosu na rezultate ukupnog ROM rotacije desne

ruke, pri brzini od $5,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ovo uvećanje iznosi 1,6 puta, pri brzini od $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ iznosi 1,8 puta i pri brzini od $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ uvećanje je 1,5 puta.

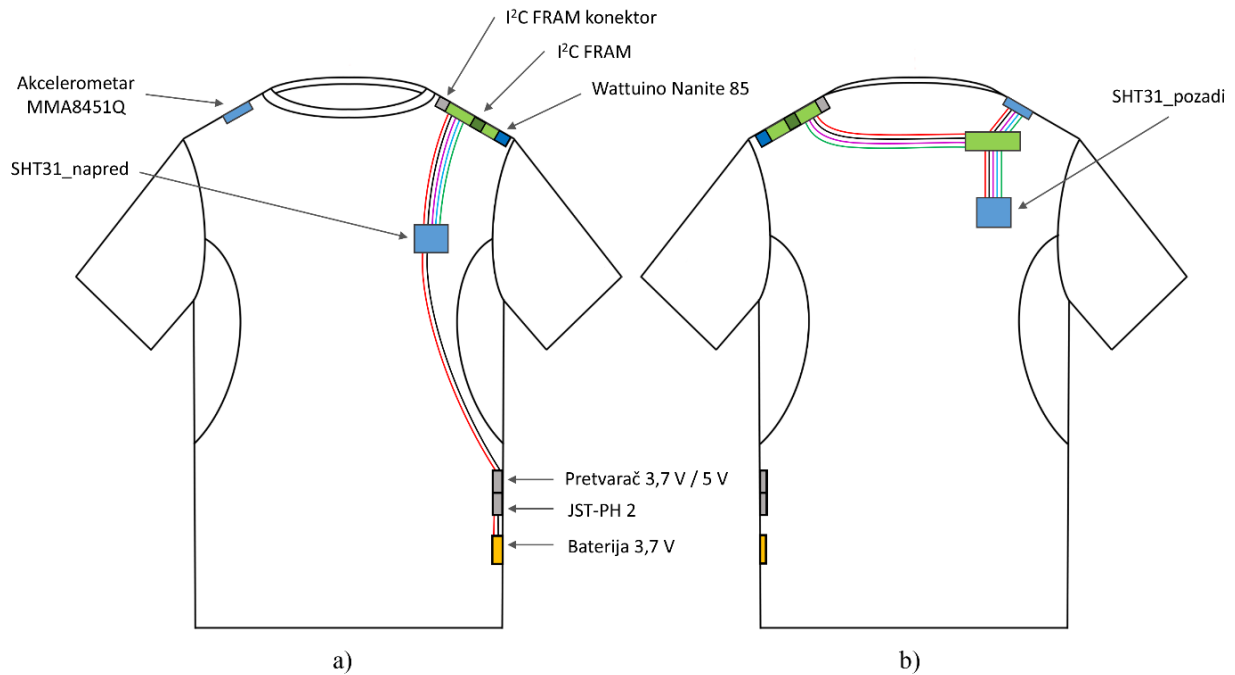
Na osnovu prikazanih rezultata ROM savijanja i rotacije ruku kao i dužine i širine koraka može se zaključiti da sa uvećanjem opterećenja dolazi do promene u pomenutim parametrima kretanja. Proporcionalno sa uvećanjem brzine kretanja dolazi do rasta ROM vrednosti savijanja i rotacije ruku. Zato je potrebno da aktivna sportska odeća bude dizajnirana tako da odgovara ergonomskim zahtevima (i najzahtevnijim pokretima tela kada dolazi do promene u dimenzijama tela) i da na bilo koji način ne sputava kretanje sportiste.

4.14 Izrada prvog prototipa pametne majice

Elektronske komponente integrisane su u majicu kratkih rukava. Majica je šireg kroja i dizajnirana da bude udobna za korisnika. Porozni tekstilni materijal (mrežica) je strateški postavljen ispod pazuha kako bi se omogućila ventilacija tokom fizičkih aktivnosti. Izrađena je od poliestarske pletenine sa povećanom prozračnošću (dobra propusnost vazduha i vlage), što omogućava brzo isparavanje vlage.

Senzori vlažnosti i temperature pozicionirani su prema lokacijama dva temperaturna mesta (desna lopatica i levi gornji deo grudnog koša) određena ISO 9886:2004 standardom [242].

Položaj senzora i drugih elektronskih komponenti integrisanih u majicu prikazan je na slici 111.

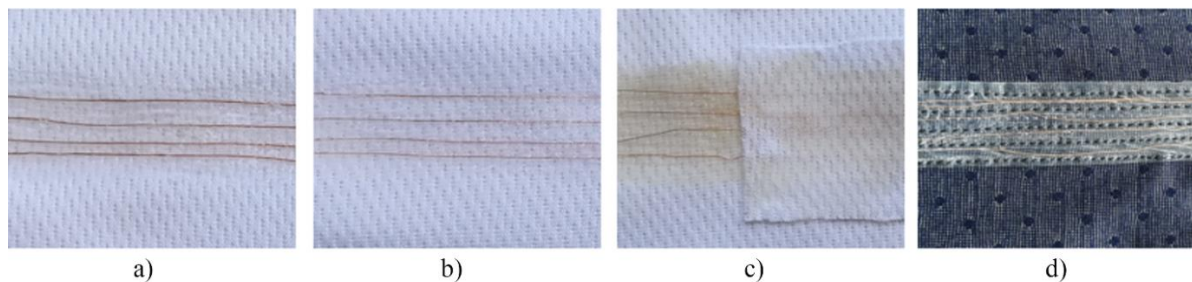


Slika 111. Položaj senzora i drugih elektronskih komponenti u prvom prototipu pametne majice:

a) napred i b) pozadi

Za povezivanje elektronskih komponenti u pametnoj odeći najčešće se koriste provodljivi konci ili trake. Prvi problem koji se javlja je mala jačina provodljivih konaca i traka, koje se lako mogu pokidati usled naprezanja odeće tokom fizičke aktivnosti. Drugi problem je izlučivanje znoja, bavljenje sportom pri visokim temperaturama okoline dovodi do obimnog znojenja. Iz tog razloga nije moguće koristiti obične, izolovane žice a bilo je i neophodno obezbediti zaštitu elektronskih komponenti od vlage (koja je provodnik struje) kako bi se sprečio kontakt. Zbog toga je izabrano da se koriste fleksibilne emajlirane bakarne žice za povezivanje komponenti u pametnoj majici.

Eksperiment je sproveden sa ciljem pronalaženja odgovarajućeg načina fiksiranja ovih žica za tekstilni materijal (slika 112). Za pričvršćivanje bakarnih žica (debljine 0,12 mm i 0,2 mm) za pleteninu korišćeni su tečna guma, tekstilni lepak i tehnika termičkog zavarivanja u kombinaciji sa šivenjem.



Slika 112. Povezivanja emajliarnih žica i pletenog tekstilnog materijala:

- a) emajlirane bakarne žice debljine 0,2 mm i tečna guma, b) emajlirane bakarne žice debljine 0,12 mm i tečna guma, c) emajlirane bakarne žice debljine 0,2 mm i tekstilni lepak i d) termičko zavarivanje u kombinaciji sa šivenjem i upotrebom bakarne žice od 0,2 mm

Na osnovu vizuelne procene i u svrhu udobnosti odevnog predmeta, izabrano je da se ožičenje u pametnoj majici izvede tehnikom termičkog zavarivanja u kombinaciji sa šivenjem i korišćenjem emajliranih bakarnih žica debljine 0,2 mm (slika 112d). Pored toga, kombinacija termičkog zavarivanja i šivenja omogućava postavljanje više žica u zakrivljene linije na ravnomernom rastojanju u paralelnom položaju što pruža dodatnu zaštitu od vlage.

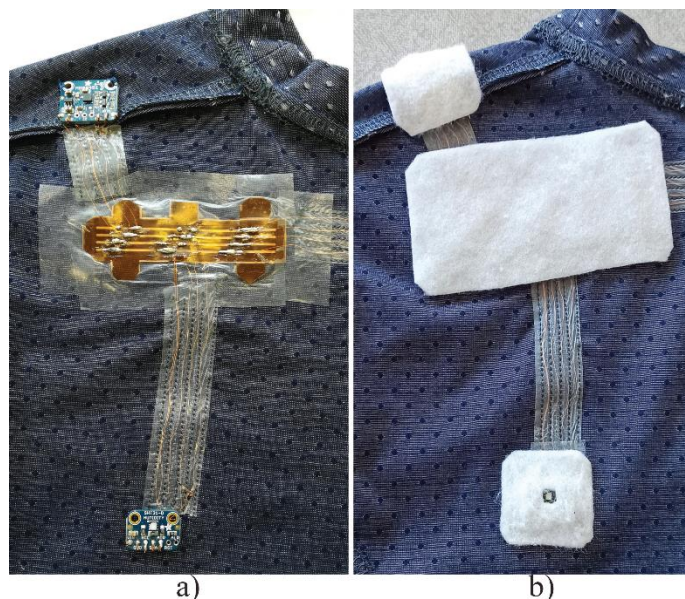
Ploče senzora SHT31 su zalemljene na bakarnim žicama i na taj način povezane sa ostalim elektronskim komponentama u pametnoj majici. Zaštita senzora od vlage i mehaničkih oštećenja postignuta je premazivanjem ploče tečnom gumom. Jedini deo koji je ostao nezaštićen je sam senzor (SH3x). Sledeći korak bio je nanošenje netkanog tekstilnog materijala na ploču senzora. Netkani tekstil štiti senzore, smanjuje direktan kontakt između senzora i tela i poboljšava udobnost pametne majice.

Korišćenje tečne gume i tehnologije termičkog zavarivanja obezbedilo je trajno i bezbedno povezivanje elektronskih komponenti, žica i PCB-a (PCB - *Printed circuit board*) sa pleteninom, što se pokazalo ispravnim nakon dugotrajnog testiranja (u trajanju od godinu dana) pametne majice u kojima je učestvovalo šest testnih osoba.

Jedna fleksibilna štampana ploča (PCB) se nalazi na leđima (slika 113) a druga na ramenu (slika 114b). Odgovarajuća struktura PCB-a postignuta je upotrebom tehnike ecovanja (hemijskog nagrizanja) na tankom sloju bakra koji je spojen sa fleksibilnom folijom.

Fleksibilna PCB smeštena na desnoj lopatici (115 mm × 42 mm) ima funkciju da obezbedi vezu sa senzorom. Žice se na zadnjem delu majice kreću od fleksibilne PCB koja se nalazi na levom ramenu do druge fleksibilne PCB (65 mm × 25 mm) postavljene na desnoj

lopatici u blago zakrivljenoj liniji. Ovakav raspored žica i elektronike na poledini majice obezbeđuju udobnost prilikom nošenja, tako da nema smetnji tokom pokretanja ruku sportiste.



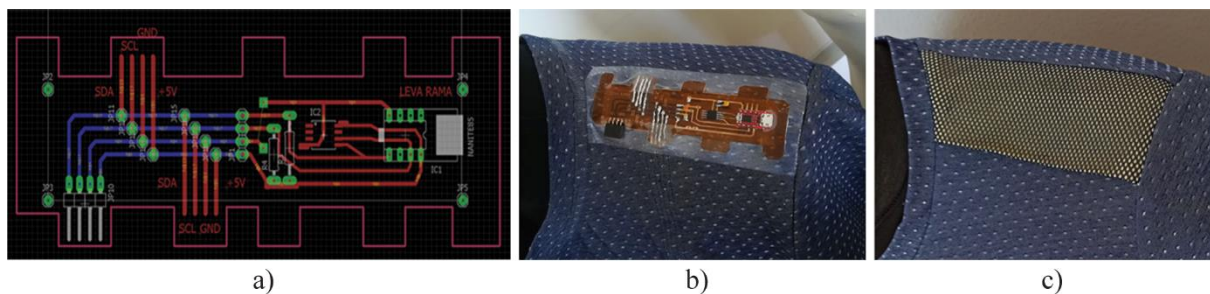
Slika 113. Fleksibilna PCB smeštena na zadnjoj strani:

a) tokom integracije na majicu i b) završni izgled

Druga fleksibilna PCB se nalazi na levom ramenu majice. Wattuino Nanite 85 i MB85RC256Vv čip su postavljeni na ovu fleksibilnu PCB i povezani sa sensorima na odgovarajuće pinove.

Žice na levoj lopatici izvedene su u blago zakrivljenoj liniji, kreću se od senzora do položaja kuka gde se nalaze pretvarač 3,7 V u 5 V, JST-PH2 pin i baterija postavljena na šav koji spaja prednji i zadnji deo majice. Ova linija je još više zakrivljena. Na ovaj način se minimalizuje smanjenje elastičnosti u pravcu nizova pletenine.

Nacrt PCB, integrisana fleksibilna PBC, kao i konačni izgled levog ramena majice prikazani su na slici 114.



Slika 114. Levo rame: a) nacrt fleksibilne PCB

b) fleksibilna PCB integrisana u majicu i c) konačni izgled

Konektor u blizini okovratnika omogućava povezivanje *data* kablova, tako da se podaci koji se nalaze na FRAM-u mogu preneti na personalni računar. Podaci se mogu pratiti preko *Arduino* serijskog monitora. Prenosa podataka prikazan je na slici 115.



Slika 115. Prenos podataka kod prvog prototipa pametne majice

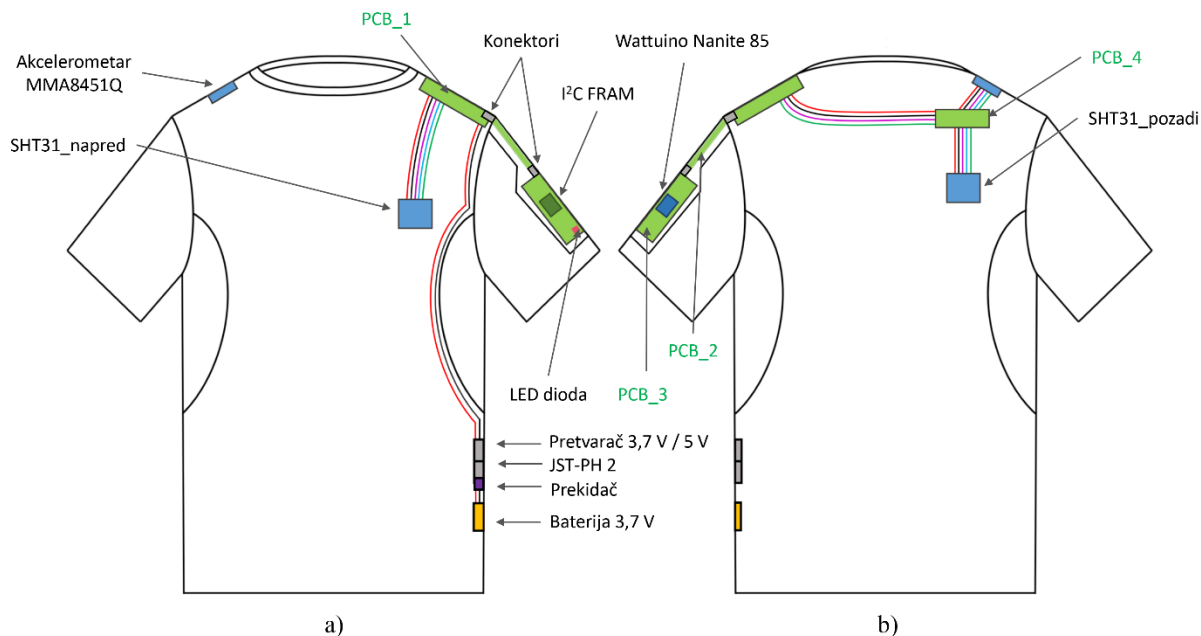
4.15 Izrada drugog prototipa pametne majice

Pri izradi drugog prototipa razmatrana je optimizacija položaja elektronskih komponenata sa ciljem unapređenja funkcionisanja pametnog sistema, udobnosti i izgleda pametne majice. Drugi prototip pametne majice je izrađen od poliestarske pletenine 05 koja se na osnovu eksperimentalnih rezultata fizičkih i toplotnih svojstava, kao i rezultata subjektivnog ispitivanja toplotno-fiziološke, mehaničke i ergonomske udobnosti pokazala kao veoma povoljna. I kod drugog prototipa mrežica je postavljena ispod pazuha radi poboljšanja toplotne regulacije sportista tokom fizičke aktivnosti.

Za izradu drugog prototipa pametne majice korišćene su iste elektronske komponente i senzori kao za izradu prvog prototipa sa tom razlikom da je kod drugog prototipa korišćen novi optimizovan raspored pojedinih komponenata, ožičenja i način integrisanja žica u tekstilni materijal. Pored toga, u drugi prototip je ugrađen i prekidač koji se koristi za određivanje

početka i kraja prikupljanja podataka koji je lociran na desnom boku i kojem korisnik lako može da pristupi.

Položaj senzora i drugih elektronskih komponenti integrisanih u majicu prikazan je na slici 116.



Slika 116. Položaj senzora i drugih elektronskih komponenti

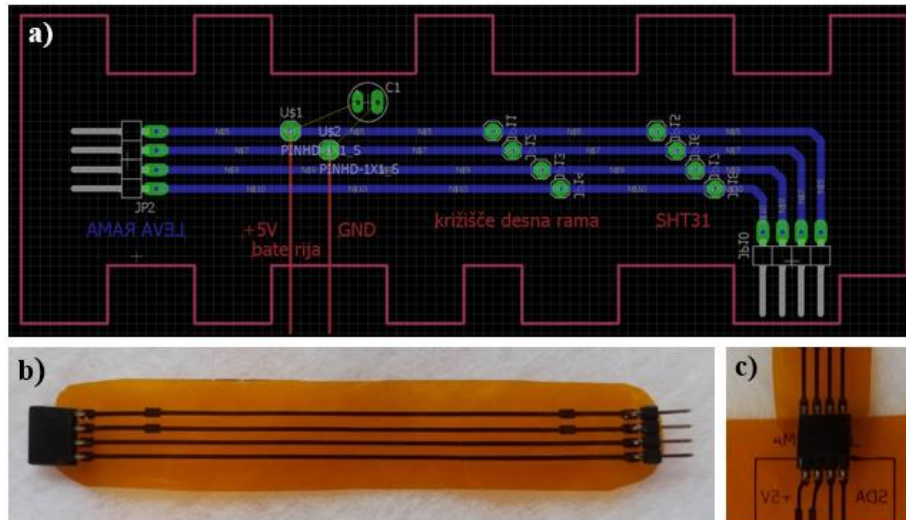
u drugom prototipu pametne majice:

a) napred i b) pozadi

Emajlirane bakarne žice debljine 0,2 mm korišćene su za povezivanje elektronskih komponenta. Da bi se poboljšala udobnost pri nošenju, osmišljen je novi način integracije, odnosno fiksiranja žica u unutrašnjosti majice (slika 119f). Žice su uvučene u kanale koji su formirani prošivanjem mrežice na unutrašnji deo majice i nakon toga su povezane na odgovarajuće pinove senzora ili priključke na fleksibilnim PCB. Svaki „put žica“ sadrži pet (SCL, SDA, GND, +5V i ADDR), četiri (SCL, SDA, GND i +5V) ili dva kanala (GND i +5V) što omogućava provlačenje potrebnog broja žica u zavisnosti koja se od komponenta povezuje na pametni sistem.

Izrađena su četiri nove fleksibilne PCB koje omogućavaju povezivanje komponenta prema novom rasporedu. PCB_1 smeštena je na levom ramenu, PCB_4 je pozicionirana na desnoj lopatici na leđima (slika 118), PCB_2 (slika 117b) omogućava povezivanje PCB_1 i PCB_3 ploče smeštene u džepu na levom rukavu. Kao i kod prvog prototipa, struktura svih

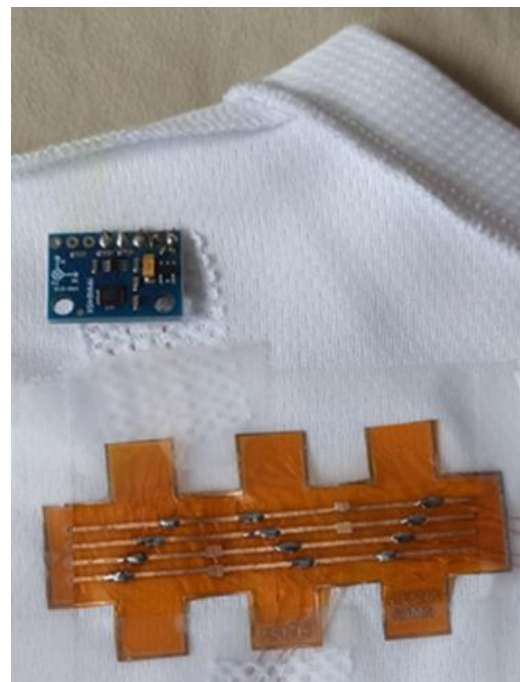
PCB-a postignuta je upotrebom tehnike ecovanja na tankom sloju bakra koji je nakon toga spojen sa fleksibilnom folijom.



Slika 117. a) Nacrt PCB_1

b) realizovana PCB_2 sa konektorima i c) konekcija između PCB_2 i PCB_3

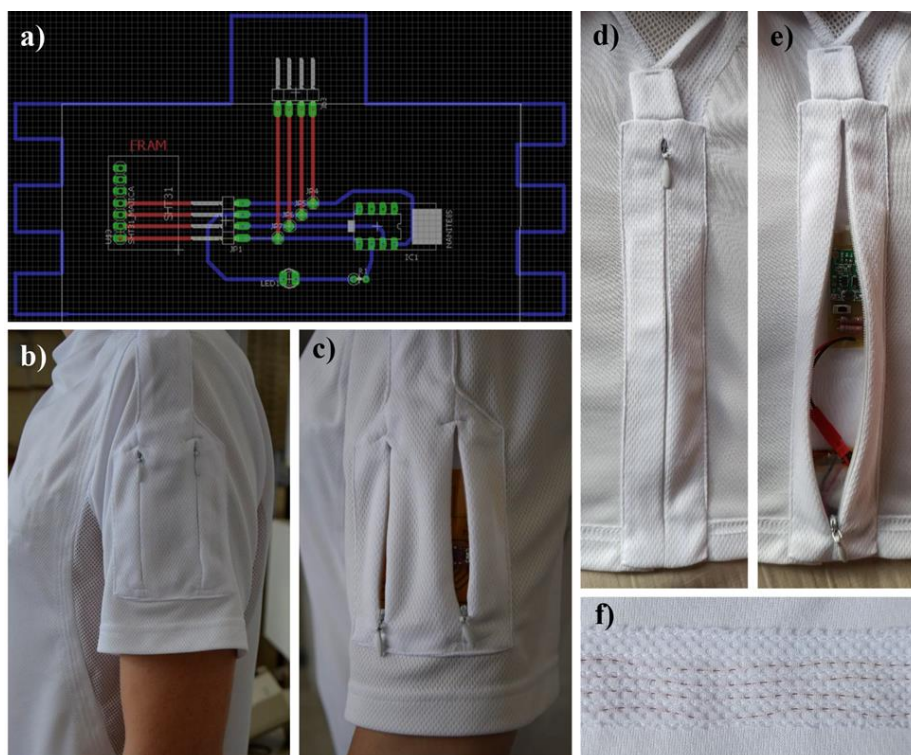
PCB_1 (97 mm × 30 mm) smeštena na levom ramenu ima funkciju povezivanja senzora SHT31 pozicioniranog na grudima, baterije pozicionirane na levom boku (preko GND i +5V linije) kao i povezivanje sa PCB_2 (80 mm × 30 mm) smeštene na desnoj lopatici na leđima. Pored toga, PCB_1 ima ugrađen konektor (blizu šava koji spaja prednji i zadnji deo majice sa rukavom) koji omogućava povezivanje sa PCB_2 (115 mm × 20 mm) na koju su postavljena dva konektora. Kao što je već pomenuto, prvi konektor omogućava povezivanje PCB_2 sa PCB_1, dok drugi omogućava povezivanje sa PCB_3 (75 mm × 73 mm). PCB_4 ima funkciju povezivanja drugog SHT31 (na leđima) i akcelerometra MMA8451Q (slika 118).



Slika 118. PCB_4 i akcelerometar MMA8451Q

Kod drugog prototipa, linije +5V i GND idu od baterije na boku putem šava koji spaja mrežicu i prednji deo majice i nakon toga putem šava spajanja prednjeg dela sa rukavom do odgovarajućih priključaka na PCB_1.

Kako bi I²C FRAM i mikrokontroler bili skriveni, a pritom dostupni tokom testiranja i prenosa podataka, pozicionirani su na levom rukavu. Za potrebe lakšeg pristupa ovim komponentama i radi poboljšanja dizajna urađen je poseban džep (slika 119b i 119c) sa dva patent zatvarača u koji je smeštena PCB_4 (slika 119a). Na ovu fleksibilnu ploču je montiran mikrokontroler, LED dioda i postavljen je priključak za I²C FRAM, koji se po potrebi može uključiti ili isključiti sa pametnog sistema. Led dioda svetli ritmično i na taj način obaveštava o vremenskom periodu trajanja eksperimenta, odnosno vremenu kada majica prikuplja podatke. Pametna majica može biti programirana tako da LED dioda svetli samo u trenutku kada telesna temperatura sportiste dostigne kritičnu vrednost i na taj način upozori na zdravstvenu opasnost.



Slika 119. a) Nacrt PCB_4 smeštene u levom rukavu:

- b) džep u koji je smeštena PCB_4,
- c) otvoreni džep u koji je smeštena PCB_4,
- d) džep za smeštaj baterije i pretvarača 3,7 V u 5 V,
- e) otvoren džep za smeštaj baterije i pretvarača 3,7 V u 5 V i
- f) način integrisanja žica u majicu

Otvaranjem odgovarajućeg patent zatvarača na džepu može se pristupiti mikrokontroleru (na taj način naložiti novi program tj. menja se brzina smplovanja podataka), ili I²C FRAM-u (koji se može isključiti s pametnog sistema i povezati na personalni računar odnosno na taj način se prebacuju prikupljeni podaci). Takođe, omogućeno je odstranjivanje i zamena PCB_4 ukoliko je to potrebno. Ploče sa sensorima su ugrađene u majicu i zaštićene na isti način kao kod prvog prototipa.

Poseban džep, prikazan na slici 120d i 120e, smešten je u unutrašnjosti majice na levom boku. U unutrašnjost džepa smešteni su baterija, prekidač, pretvarač 3,7 V u 5 V i JST-PH2 pin.

Za razliku od prvog prototipa, poboljšan je proces prebacivanja podataka, jer sada je omogućeno da se I²C FRAM izvuče iz džepa i da se prikupljeni podaci lakše prebace na računar.

Na slici 120 prikazan je izgled drugog prototipa pametne majice.



Slika 120. Izgled drugog prototipa pametne majice:

a) napred i b) sa strane

4.15.1 Udobnost pri nošenju pametne majice

Veoma važan faktor pri izboru sportske odeće je udobnost nošenja. Pored toplotno-fiziološke udobnosti, pri dizajniranju i izradi sportske odeće moraju se uzeti u obzir kožno-senzorna i ergonomska udobnost. Pametna majica ne sme da ometa kretanje sportista tokom fizičkih aktivnosti.

Osnovni zahtevi pri odabiru tekstilnih materijala za sportsku odeću namenjenu za nošenje u toplim uslovima su da budu lagani, elastični, da imaju dobru prozračnost što omogućava i brzo sušenje. Za realizaciju prototipa pametne majice izabrana je lagana i elastična poliestarska pletenina oznake 05.

Problem sa integracijom elektronskih komponenti u izuzetno elastičnu i laganu pleteninu je u tome što su te komponente određene mase, pa majicu rastežu u pravcu nizova pletenine. Dakle, mora da se koriste lake elektronske komponente malih dimenzija kako se ne bi promenio oblik majice i deformisao tekstilni materijal.

Eksperimentalni rezultati pokazuju da ugrađena mrežica (ispod pazuha) značajno povećava ventilaciju između tela i majice a samim tim ubrzava sušenje kože, što za rezultat ima manje vrednosti upijanja znoja [259].

Masa majice pre integracije elektronskih komponenti bila je 190 g, a posle integracije 220 g. To znači da je ukupna masa korišćene elektronike uključujući bateriju bila 30 g. Na osnovu ovih podataka može se zaključiti da je ova razlika beznačajna i da ne utiče negativno na udobnost majice.

Još jedna važna karakteristika pametne majice je mogućnost pranja, što je od velikog značaja za sportsku odeću. Pametna majica se može pažljivo oprati i osušiti nakon uklanjanja baterije.

Baterija se puni svaka četiri sata, što omogućava dug period bez punjenja.

Tokom fizičke aktivnosti i u stacionarnom stanju izvršena je subjektivna procena udobnosti majice u kojoj je učestvovalo 6 testnih osoba. U tu svrhu formiran je modifikovani upitnik koji je korišćen za definisanje odgovarajućih subjektivnih skala u proceni i ocenjivanju fizičkog okruženja prema ISO 10551:2019 standardu [260].

Rezultati subjektivnih procena udobnosti nošenja prototipova pametnih majica prikazani su u tabelama P-13 i P-14 (Prilog).

Svi ispitanici su izjavili da su oba prototipa pametne majice bila udobna, i da ugrađena elektronika nije ometala kretanje. Pored toga, svi ispitanici su otkrili da nisu osetili prisustvo ugrađene elektronike u majicama.

4.15.2 Rezultati testiranja izvodljivosti i brzine odziva senzora SHT-31 integrisanih u pametnu majicu

Cilj ovog eksperimenta je bio da se ispita izvodljivost i brzina odziva senzora SHT-31 integrisanih u pametnu majicu. U tu svrhu je korišćen *KES-F7 Thermo Labo* instrument, koji sadrži dve grejne ploče podešene na T_1 i T_2 . Majica je prethodno bila klimatizovana u skladu sa zahtevima ISO 139 standarda [234].

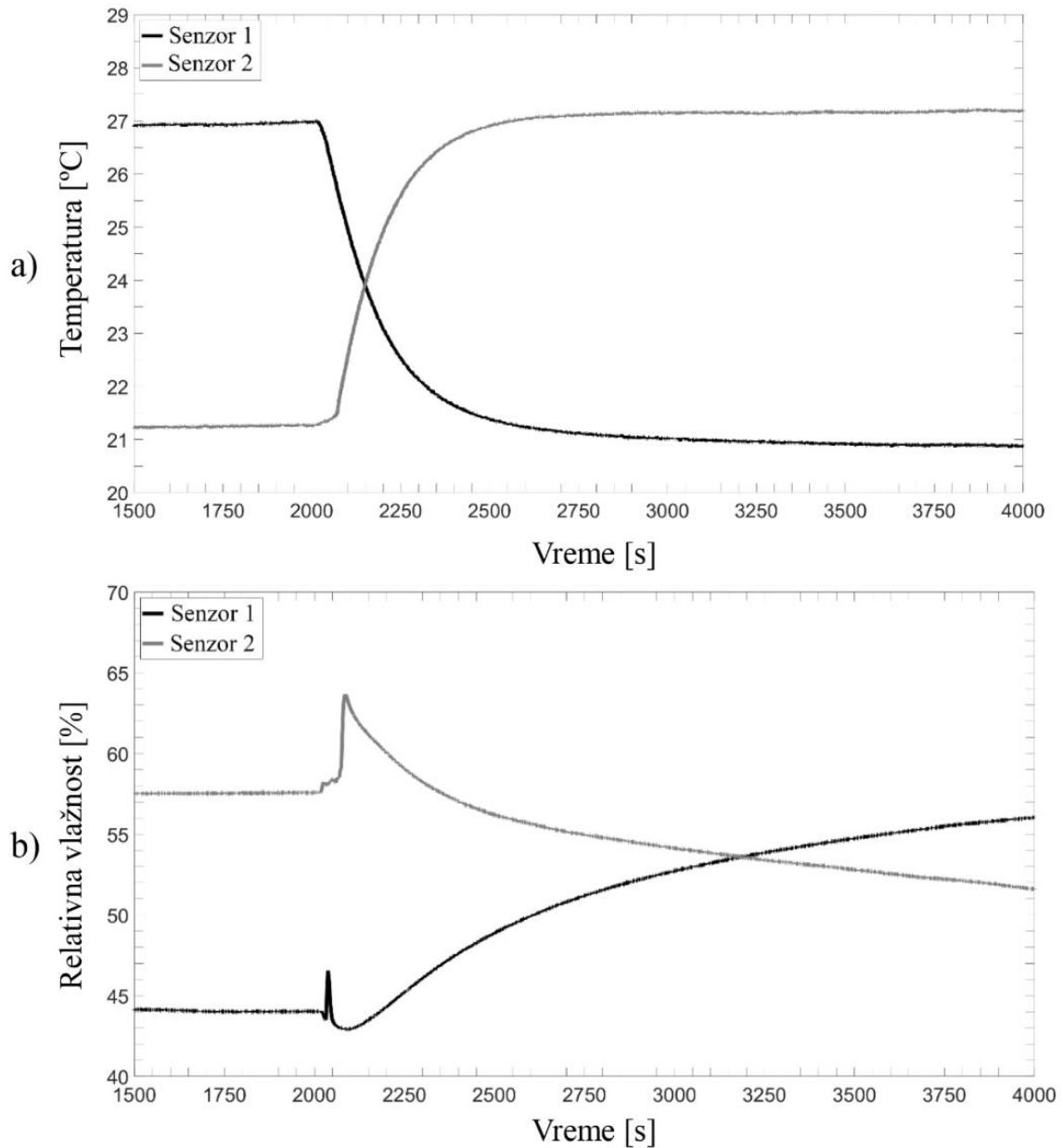
Ukupno trajanje eksperimenta je 1 sat; podaci temperature i relativne vlažnosti su prikupljeni jednom u sekundi. Eksperiment je sproveden u standardnoj atmosferi u klima komori, temperature okoline 20 ± 2 °C i relativna vlažnost vazduha 65 ± 2 %.

Senzor 1, integrisan na prednjoj strani majice, postavljen je na ploču temperature T_1 dok je senzor 2, integrisan na zadnjoj strani majice, postavljen je na ploču temperature T_2 . Nakon 30 minuta, pozicije senzora na pločama su zamenjene.

Na slici 121a prikazani su rezultati merenja temperature senzora SHT31, dok je na slici 122b prikazana promena relativne vlažnosti senzora SHT31 pri testiranju na *KES-F7 Thermo Labo* uređaju.

Slika 121a pokazuje da je senzor 1 reagovao i vrednosti temperature počinju da opadaju sa 27 °C na 21 °C. Slična promena je primećena i kod senzora 2, gde je izmerena temperatura porasla sa 21 °C na 27 °C.

Kada se posmatraju zabeležene vrednosti relativne vlažnosti merene senzorom 1, evidentno je da je početna vrednost relativne vlažnosti bila 44,00 %. Tokom eksperimenta RH je imala relativno stabilnu vrednost. Nakon 30 minuta kada je senzor 1 premešten na drugu ploču, došlo je do blagog povećanja vrednosti RH, koje je trajalo samo nekoliko sekundi a zatim stalno povećanje. Posle 1 časa, na kraju eksperimenta, senzor 1 zabeležio je relativnu vlažnost od 56,30 %. Senzor 2 zabeležio je sličnu promenu. Na početku eksperimenta zabeležena je RH vrednost od 57,51 %. Tokom prvih 30 minuta eksperimenta, vrednosti RH su bile stabilne. Prilikom promene položaja senzora na drugu ploču, došlo je do povećanja RH vrednosti, koje je trajalo svega nekoliko sekundi i tada je najveća zabeležena vrednost iznosila 63,68 %. Nakon postavljanja senzora na ploču postavljenu na T_2 , vrednosti RH su se smanjivale, dostižući 51,58 % na kraju eksperimenta.



Slika 121. Rezultati merenja senzora temperature i relativne vlažnosti SHT31

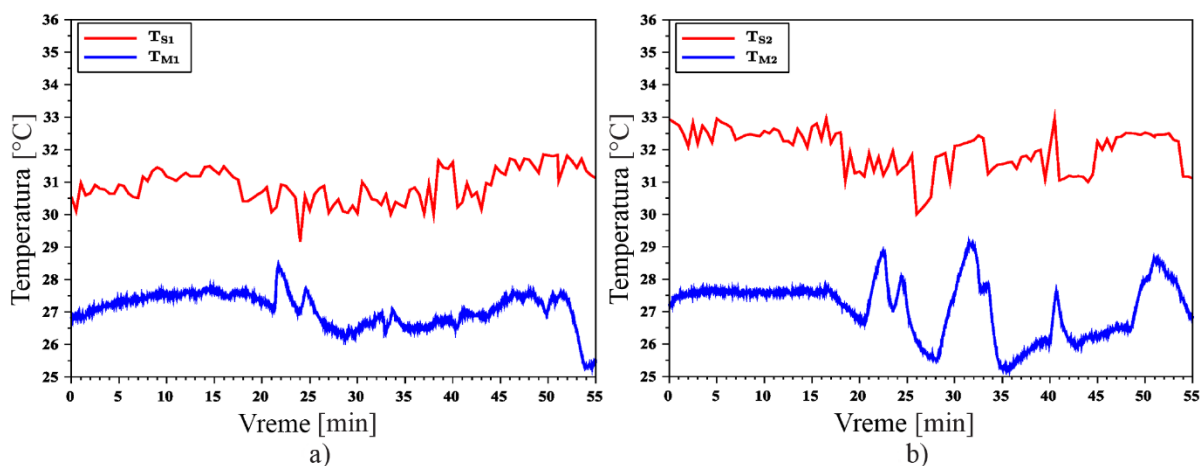
ugrađenog u majicu, testiranih na instrumentu *KES-F7 Thermo Labo*:

a) temperaturni podaci i b) podaci relativne vlažnosti

4.15.3 Praćenje toplotnog opterećenja sportista korišćenjem prvog prototipa pametne majice

Rezultati merenja temperature i relativne vlažnosti kože i mikroklime tokom fizičkih aktivnosti definisanih u protokolu C (Prilog), sprovedenih u dva različita uslova okoline (20 °C i 25 °C) prikazani su na slikama 122 do 125.

Na slici 122 prikazani su rezultati temperature kože (određene pomoću *MSR 12*) i mikroklime (određene pomoću SHT-31) dobijene na temperaturi okoline od 20 °C.



Slika 122. Rezultati promene temperature kože dobijeni pomoću *MSR 12* i temperature mikroklime određene pametnom majicom pri temperaturi okoline od 20 °C:

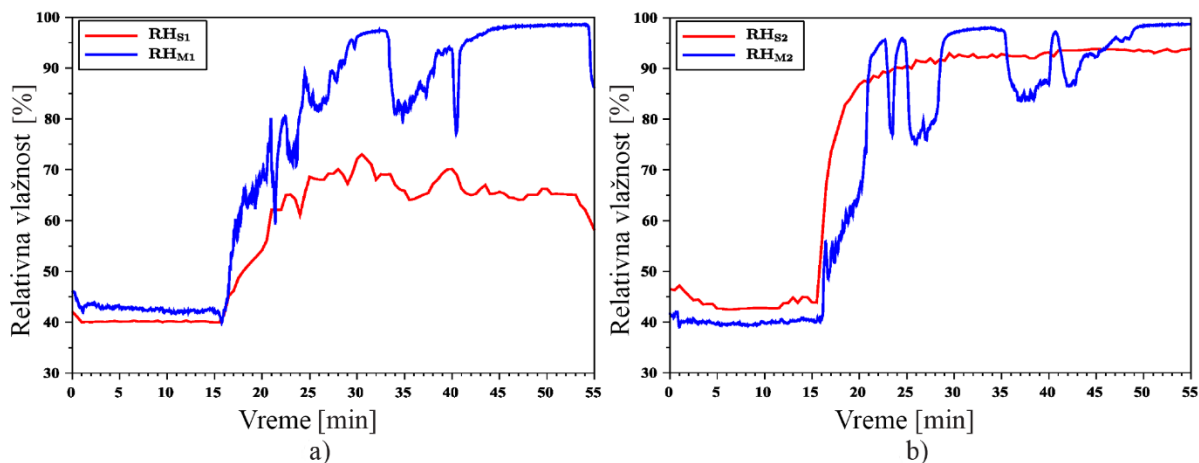
a) napred i b) pozadi

Tokom izvođenja fizičkih aktivnosti testne osobe pri temperaturi okoline od 20 °C, dobijene su veće vrednosti temperature na leđima testne osobe, koje je zabeležio *MSR 12* i pametna majica. Značajno su veće vrednosti temperature kože u poređenju sa temperaturom mikroklime u proseku od 3,75 °C na grudima testne osobe i 4,89 °C na leđima. Ovi rezultati odgovaraju eksperimentalnim podacima toplotno-fizioloških studija gde su veće vrednosti T_S zabeležene na gornjem delu leđa u odnosu na T_S zabeležene na grudima [261, 262]. Sa slike 122 se vidi da temperature na početku eksperimenta polako rastu do dvadesetog minuta (što se smatra periodom zagrevanja), a zatim vrednosti osciluju sa opterećenjem, odnosno promenom brzine kretanja. Ova oscilacija u temperaturi je mnogo izraženija za vrednosti izmerene na leđima testne osobe (T_{S2} i T_{M2}) u poređenju sa vrednostima izmerenim na grudima (T_{S1} i T_{M1}) testne osobe.

Temperatura mikroklime dobijena na grudima testne osobe na temperaturi okoline od 20 °C kreće se od 25,30 °C do 28,51 °C, dok na leđima od 25,23 °C do 29,01 °C. Štaviše,

vrednosti T_S na grudima testne osobe 1 kreću se od 29,02 °C do 31,03 °C, dok se na leđima kreću od 30,03 °C do 33,09 °C.

Na slici 123 prikazani su rezultati RH kože i RH mikroklime na temperaturi okoline od 20 °C.

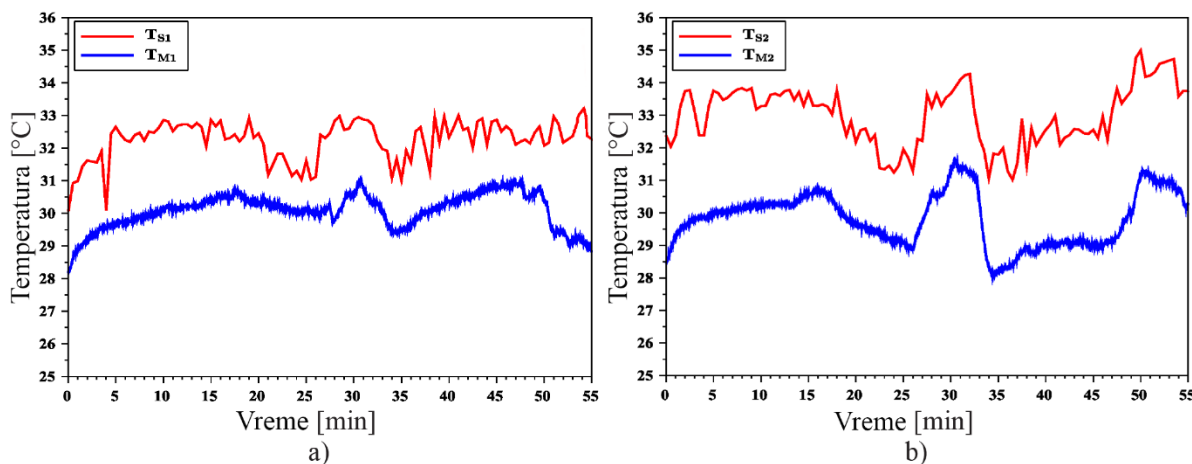


Slika 123. Rezultati promene vlažnosti kože dobijeni pomoću *MSR 12* i vlažnosti mikroklime određene pametnom majicom pri temperaturi okoline od 20 °C:

a) napred i b) pozadi

Posle petnaestog minuta testa, telo počinje da se znoji kao odgovor na fizički napor, što se odražava naglim povećanjem svih RH vrednosti. Kada se porede RH_{S1} i RH_{M1} na grudima, vidi se da je pametna majica zabeležila veće vrednosti relativne vlažnosti u odnosu na *MSR 12* uređaj, odnosno 18,75% u proseku. Na leđima testne osobe, razlika između ovih vrednosti bila je u proseku 1,66 %. Ovo se može objasniti kretanjem testne osobe i ventilacijom koja se javlja tokom pomeranja odeće što je omogućilo sušenje majice.

Na slici 124 prikazana je temperatura kože i mikroklime dobijena na temperaturi okoline od 25 °C.



Slika 124. Rezultati promene temperature kože dobijeni pomoću *MSR 12* i temperature mikroklimе određene pametnom majicom pri temperaturi okoline od 25 °C:

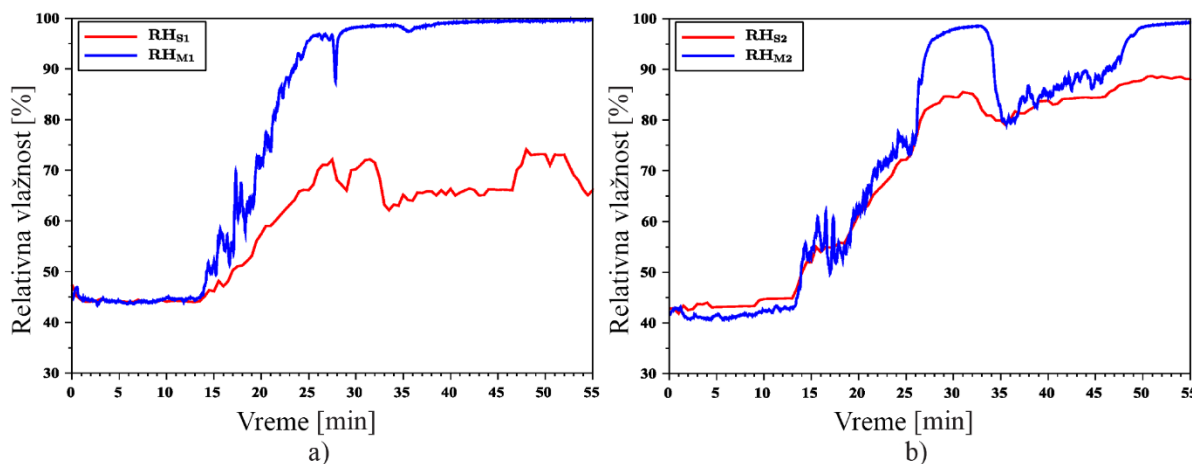
a) napred i b) pozadi

Uočena je dobra usaglašenost između rezultata temperature kože i mikroklimе izmerene na grudima (slika 124a) i leđima (slika 124b) testne osobe.

Upoređujući dobijene rezultate za temperaturu kože, kao i temperaturu mikroklimе na temperaturi okoline od 20 °C (slika 123) i temperaturi okoline od 25 °C (slika 124), jasno je da pri višoj temperaturi okoline dolazi do većeg zagrevanja tela. Vrednosti temperature kože i mikroklimе se povećavaju i smanjuju sa promenom fizičkog opterećenja.

Prosečna razlika u vrednostima temperature kože i mikroklimе izmerena na grudima je 2,18 °C, dok je razlika u vrednostima na leđima 0,98 °C. Temperatura mikroklimе dobijena pri temperaturi okoline od 25 °C izmerena na grudima testne osobe kreće se od 28,18 °C do 31,05 °C, dok se ove vrednosti izmerene na leđima kreću od 28,07 °C do 31,51 °C. Štaviše, vrednosti temperature kože izmerene na grudima osobe kreću se od 30,07 °C do 33,28 °C, dok se ove vrednosti na leđima testne osobe kreću od 31,02 °C do 35,03 °C.

Na slici 125 prikazani su rezultati RH kože i RH mikroklimе dobijeni na temperaturi okoline od 25 °C.



Slika 125. Rezultati promene vlažnosti kože dobijeni pomoću *MSR 12* i vlažnosti mikroklime određene pametnom majicom pri temperaturi okoline od 25 °C:

a) napred i b) pozadi

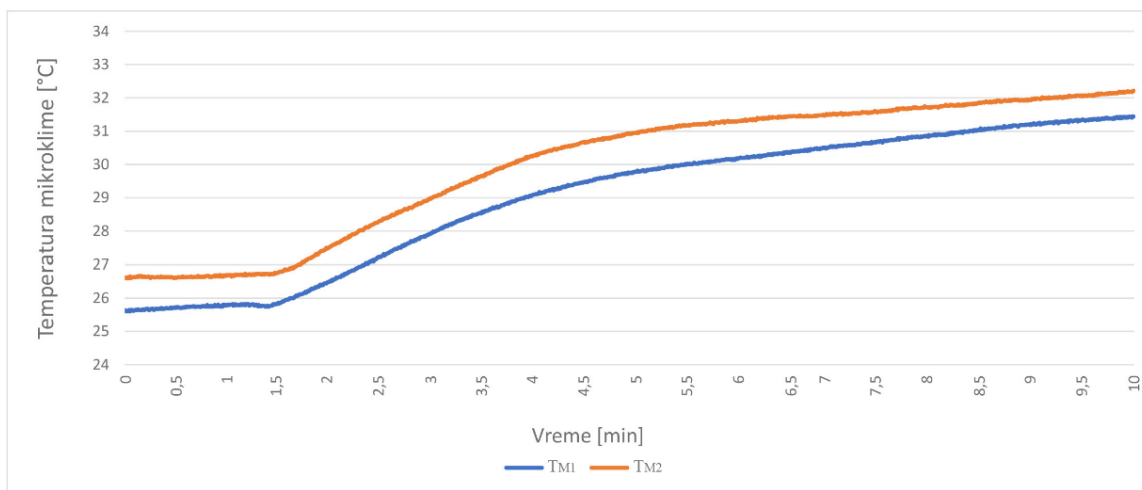
Tokom ispitivanja, na obe temperature okoline (20 °C i 25 °C), dolazi do naglog povećanja RH vrednosti nakon petnaestog minuta ispitivanja. Na temperaturi okoline od 20 °C, nakon ovog perioda dolazi do oscilacije RH vrednosti na grudima i leđima testne osobe sa promenom fizičkog opterećenja, odnosno brzine kretanja. Verovatni razlog je sušenje majice izazvano ventilacijom koja nastaje tokom pomeranja odevnog predmeta. Pri temperaturi okoline od 25 °C veća količina znoja se izlučuje na grudima testne osobe (RH_{M1} od 43,49 % do 99,63 % i RH_{S1} u rasponu od 43,03 % do 73,01 %) i na leđima testne osobe (RH_{M2} od 40,79 % do 97,95 % i RH_{S2} od 41,87 % do 88,55 %) tokom iste fizičke aktivnosti, što sprečava sušenje majice. Povećane vrednosti vlage (količina znoja) su odgovor tela na povećan fizički napor i visoku temperaturu okoline.

4.15.4 Promena mikroklime praćena korišćenjem pametne majice pri različitim temperaturama okoline

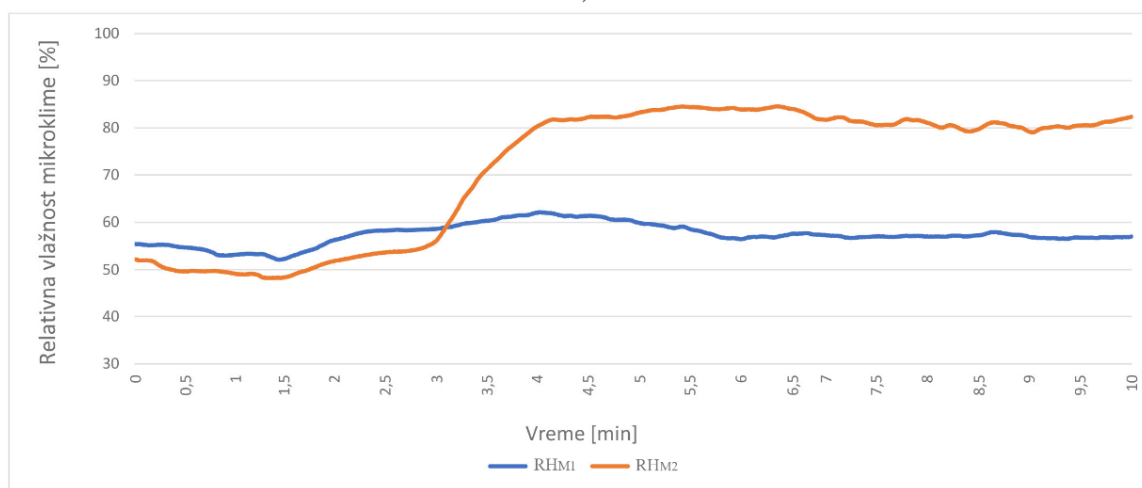
Kako je ustanovljeno da pametna majica radi pouzdano, u sledećem eksperimentu određivaće se rezultati pomoću nje.

U eksperimentu su učestvovalе dve testne osobe (testne osobe 3 i 4) koje su nosile pametnu majicu pri dva različita uslova okoline: prvi, temperatura 25 °C i relativna vlažnost 43 %, drugi, temperatura 30 °C i relativna vlažnost 43 %. Brzina strujanja vazduha u oba slučaja bila je $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Prikupljanje podataka pomoću pametne majice vršeno je dva puta za jednu sekundu. Testne osobe su izvodile fizičke aktivnosti opisane u protokolu D (Prilog).

Na slici 126 prikazani su rezultati temperature i relativne vlažnosti mikrokline dobijeni za testnu osobu 3 nošenjem pametne majice pri temperaturi okoline od 25 °C i relativnoj vlažnosti vazduha od 43 %.



a)



b)

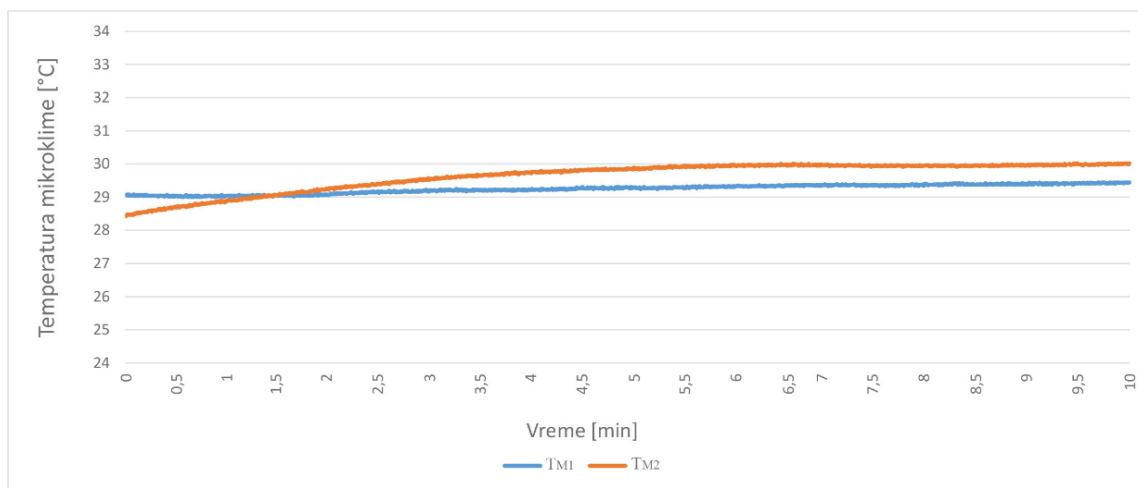
Slika 126. Rezultati temperature i relativne vlažnosti mikrokline dobijeni nošenjem pametne majice od strane testne osobe 3 pri temperaturi okoline od 25 °C:

a) temperaturni podaci i b) podaci relativne vlažnosti

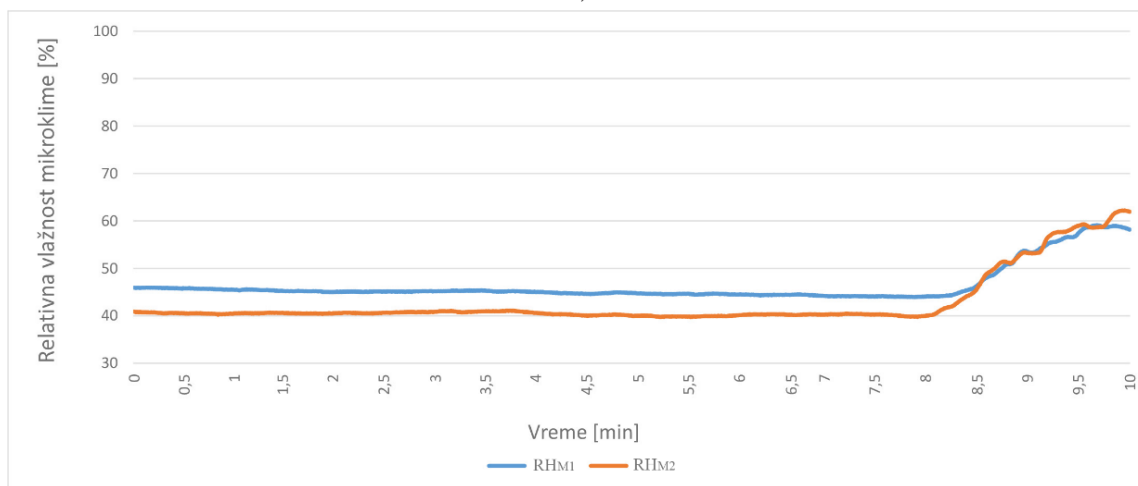
Na osnovu rezultata prikazanih na slici 126 vidljivo je da su više vrednosti temperature mikrokline zabeležene na leđima testne osobe. Nakon 1,5 minuta testa dolazi do porasta T_{M1} i T_{M2} koje rastu do kraja eksperimenta. Na početku eksperimenta (prva tri minuta) veće vrednosti RH mikrokline zabeležene su na grudima, dok nakon trećeg minuta testa dolazi do pojačanog

znojenja na leđima, gde je izmerena maksimalna vrednost od 86,62 %. Blage promene relativne vlažnosti mikrokline od trećeg do desetog minuta su zabeležene na grudima testne osobe.

Na slici 127 prikazani su rezultati temperature i relativne vlažnosti mikrokline za testnu osobu 4 određeni nošenjem pametne majice pri temperaturi okoline od 25 °C.



a)



b)

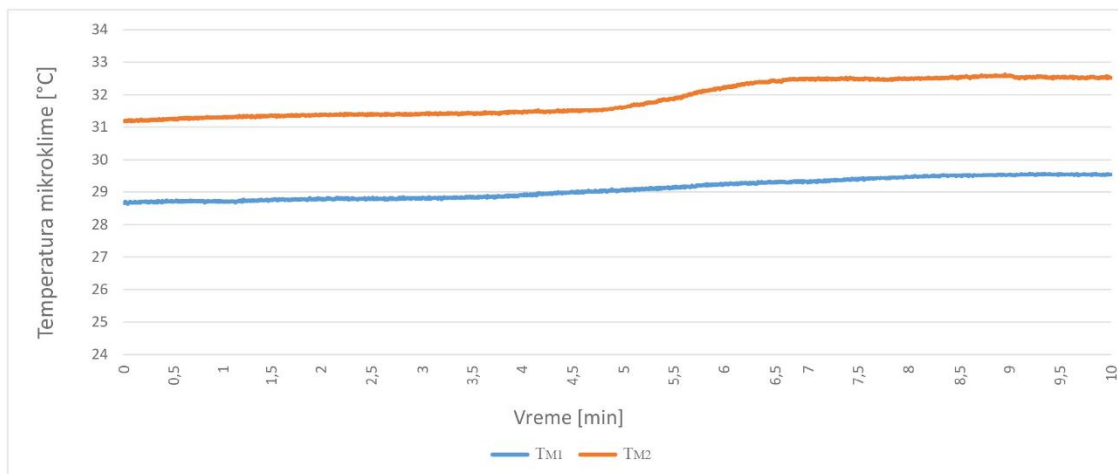
Slika 127. Rezultati temperature i relativne vlažnosti mikrokline dobijeni nošenjem pametne majice od strane testne osobe 4 pri temperaturi okoline od 25 °C:

a) temperaturni podaci i b) podaci relativne vlažnosti

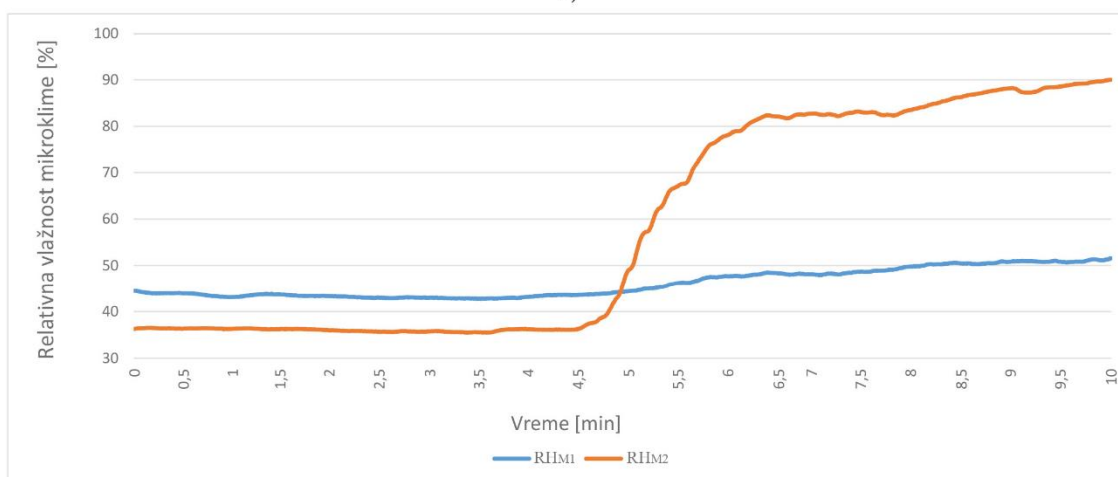
Na početku eksperimenta, do 1,5 minuta, kod testne osobe 4 izmerene su više vrednosti temperature mikrokline na leđima, dok nakon ovog perioda više temperature su dobijene na grudima.

Porast relativne vlažnosti mikrokline je izmerena tek nakon osmog minuta kada RH_{M1} i RH_{M2} ujednačeno rastu do kaja eksperimenta. Vrednost RH_{M1} je 58,2 % dok RH_{M2} dostiže vrednost od 61,95 % na kraju eksperimenta.

Na slici 128 prikazani su rezultati temperature i RH mikroklime za testnu osobu 3 određeni pametnom majicom pri temperaturi okoline od 30 °C.



a)



b)

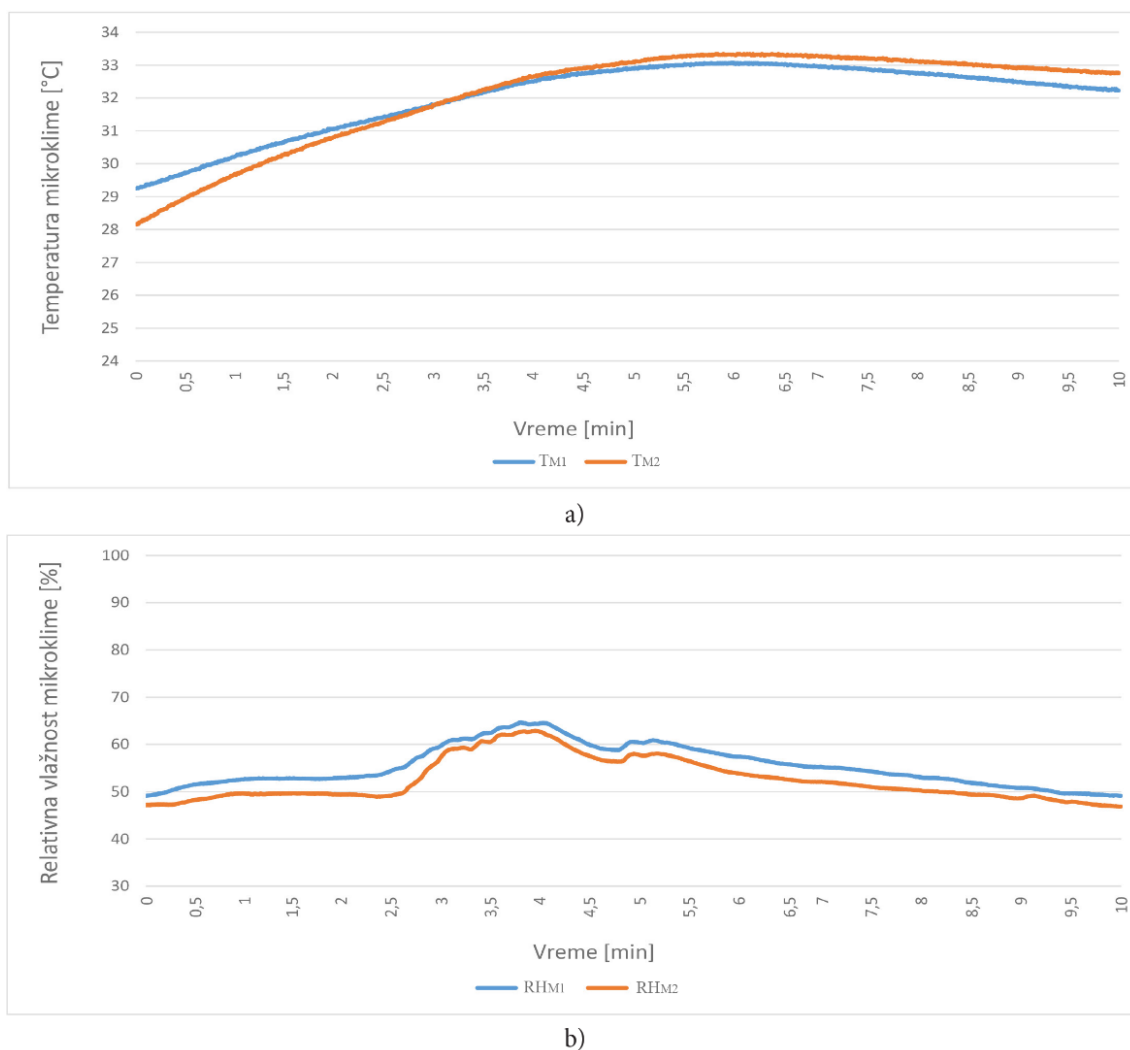
Slika 128. Rezultati temperature i relativne vlažnosti mikroklime dobijeni nošenjem pametne majice od strane testne osobe 3 pri temperaturi okoline od 30 °C:

a) temperaturni podaci i b) podaci relativne vlažnosti

Više vrednosti temperature mikroklime su izmerene kod testne osobe 3 pri temperaturi okoline od 30 °C u odnosu na one izmerene pri 25 °C. T_{M1} i T_{M2} blago rastu u toku testa sa uvećanjem brzine kretanja testne osobe.

Za razliku od eksperimenta pri temperaturi okoline od 25 °C, gde RH vrednosti mikroklime testne osobe 3 rastu nakon trećeg minuta, do porasta ovih vrednosti dolazi nakon 4,5 minuta eksperimenta.

Rezultati temperature i relativne vlažnosti mikroklimе za testnu osobu 4 određeni pametnom majicom pri temperaturi okoline od 30 °C prikazani su na slici 129.



Slika 129. Rezultati temperature i relativne vlažnosti mikroklimе dobijeni nošenjem pametne majice od strane testne osobe 4 pri temperaturi okoline od 30 °C:

a) temperaturni podaci i b) podaci relativne vlažnosti

Pri temperaturi okoline od 30 °C, zabeležen je porast temperatura mikroklimе u toku eksperimenta. Vrednosti temperature mikroklimе izmerene na leđima i grudima testne osobe su ujednačene.

Vrednosti relativne vlažnosti mikroklimе izmerne pri temperaturi okoline od 30 °C rastu dva puta u toku eksperimenta. Prvi porast je zabeležen nakon 2,5 minuta a drugi nakon 4,8 minuta eksperimenta. Nakon ovog vremenskog perioda vrednosti ravnomerno opadaju do kraja eksperimenta.

U tabeli 23 prikazane su srednje vrednosti temperature i mikroklimе izmerene pomoću pametne majice.

Tabela 23. Rezultati srednjih vrednosti temperature i mikroklimе dobijeni nošenjem pametne majice za testne osobe 3 i 4

Uslovi okoline	Testna osoba 3				Testna osoba 4			
	T_{M1} [°C]	T_{M2} [°C]	RH_{M1} [%]	RH_{M2} [%]	T_{M1} [°C]	T_{M2} [°C]	RH_{M1} [%]	RH_{M2} [%]
25 °C	29,01	30,00	57,40	71,40	29,25	29,63	46,42	42,85
30 °C	29,09	31,87	46,09	58,48	32,05	32,11	55,39	52,55

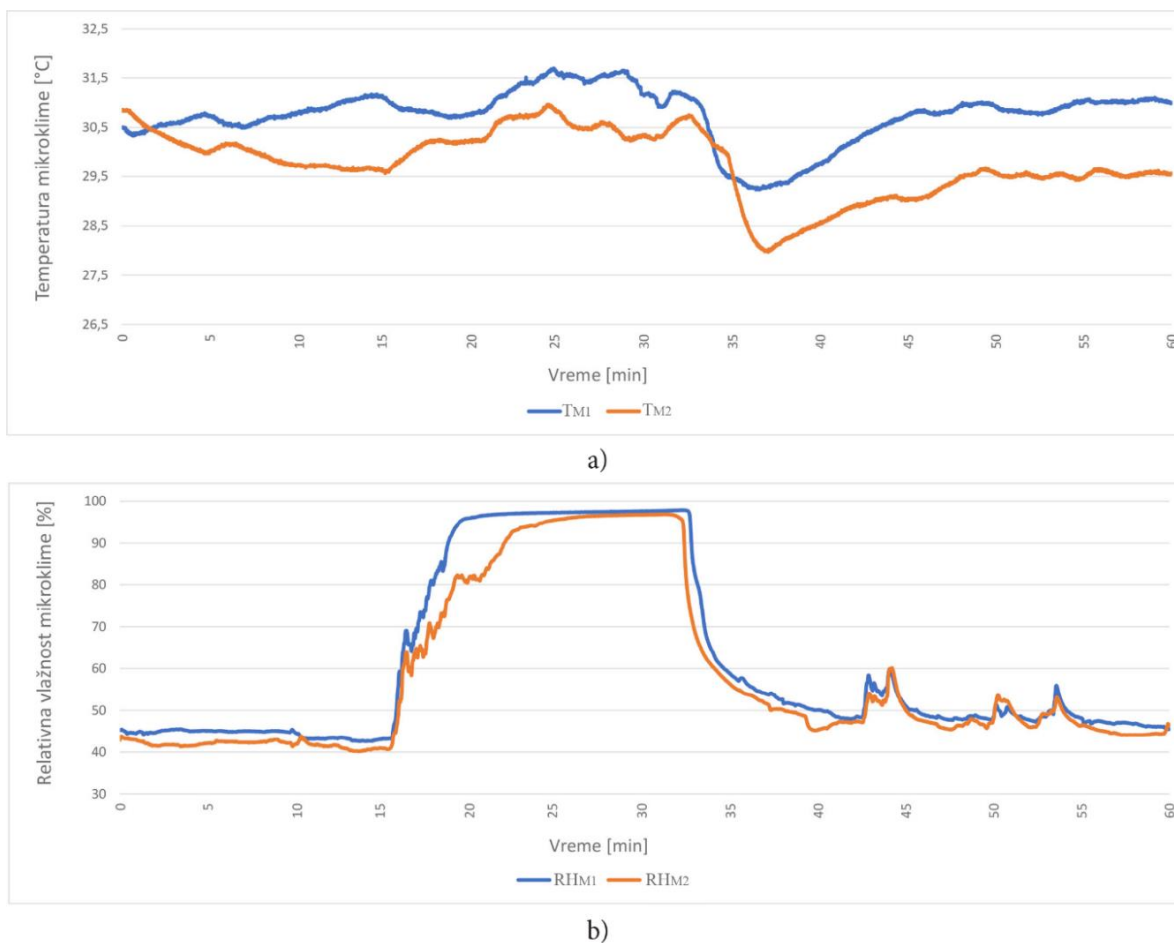
Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 23 vidi se da su više srednje vrednosti temperature mikroklimе izračunate za testnu osobu 4 (sa izuzetkom T_{M2} pri temperaturi okoline od 25 °C) pri oba uslova okoline, dok su više vrednosti relativne vlažnosti mikroklimе zabeležene za testnu osobu 3 (sa izuzetkom RH_{M1} pri temperaturi okoline od 30 °C).

Ovi rezultati ukazuju da različite testne osobe drugačije reaguju na fizičku aktivnost. Kod testne osobe 3 vidljiv je sličan odaziv tela na fizičku aktivnost što se vidi na osnovu rezultata temperature i relativne vlažnosti mikroklimе pri oba uslova temperature okoline, dok je ovo odstupanje veće kod testne osobe 4 (kod testne osobe 3 RH mikroklimе se smanjuje a kod testne osobe 4 se povećava kada se poveća temperatura okoline).

4.15.5 Promena mikroklimе praćena korišćenjem pametne majice pri različitim intenzitetima fizičke aktivnosti

Uslovi okoline pri testiranju bili su: temperatura okoline 25 °C i relativna vlažnost vazduha 50 % dok je brzina strujanja vazduha bila 0,5 m·s⁻¹. Vreme trajanja eksperimenta bilo je 60 minuta. Podaci temperature i relativne vlažnosti mikroklimе prikupljeni su jednom u sekundi korišćenjem pametne majice. U eksperimentu je učestvovala testna osoba 1 prema protokolu E (Prilog).

Rezultati testiranja prikazani su na slikama 130 do 132.



Slika 130. Rezultati testiranja pametne majice pri brzini kretanja od $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ testne osobe 1:
a) temperatura mikroklimе i b) relativna vlažnost mikroklimе

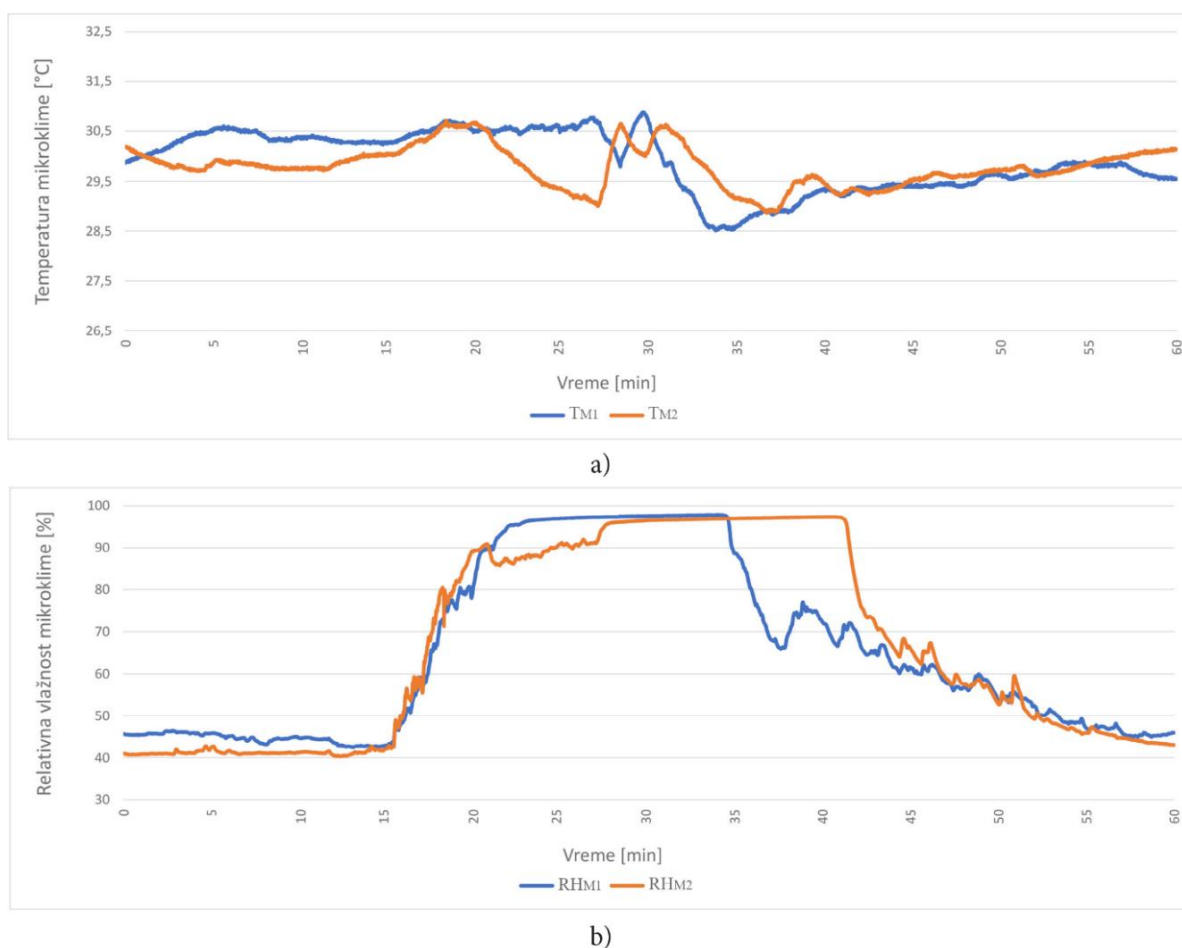
Na osnovu rezultata prikazanih na slici 130, vidljivo je da u toku faze mirovanja (prvih petnaest minuta eksperimenta) dolazi do blagih promena u temperaturama mikroklimе izmerenih na grudima i leđima, s tom razlikom da je viša temperatura izmerena na grudima testne osobe. Drugih petnaest minuta testna osoba se kreće brzinom od $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i tada dolazi do promena u vrednostima temperatura mikroklimе. Ove vrednosti na grudima prvo opadaju a zatim rastu do kraja ove faze eksperimenta dok na leđima prvo rastu sa oscilacijama. Najviša vrednost mikroklimе izmerena na grudima bila je $31,55 \text{ }^\circ\text{C}$ dok je na leđima ova vrednost bila $30,85 \text{ }^\circ\text{C}$. Nakon drugih petnaest minuta testna osoba miruje do kraja eksperimenta, u ovom periodu mirovanja T_{M1} i T_{M2} polako rastu još nekoliko minuta i zatim naglo opadaju. Od trideset šestog do pedesetog minuta ove temperature blago rastu do kraja eksperimenta.

Na osnovu rezultata relativne vlažnosti mikroklimе, može se videti da su zabeležene neznačajne promene u RH_{M1} i RH_{M2} vrednostima od prvog do petnaestog minuta testa (kada testna osoba miruje). Sa početkom fizičke aktivnosti dolazi do izlučivanja znoja što je vidljivo

na osnovu naglog porasta ovih vrednosti (RH_{M1} dostiže 97,99 %, dok RH_{M2} dostiže 96,87 %). Iako faza mirovanja traje od petnaestog do tridesetog minuta, vrednosti relativne vlažnosti mikroklimе opadaju tek posle trideset trećeg minuta što je odgovor tela na fizičku aktivnost, odnosno, telo je vlažno od velike količine izlučenog znoja i potreban je određeni vremenski period kako bi se zaustavio proces znojenja i telo se osušilo. U drugom periodu mirovanja od trideset petog do šezdesetog minuta RH_{M1} i RH_{M2} blago osciluju.

U ovom eksperimentu, pri brzini kretanja testne osobe od $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, veće vrednosti temperature i relativne vlažnosti mikroklimе zabeležene su na grudima testne osobe.

Rezultati testiranja pametne majice pri brzini kretanja testne osobe 1 od $6,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ prikazani su na slici 131.

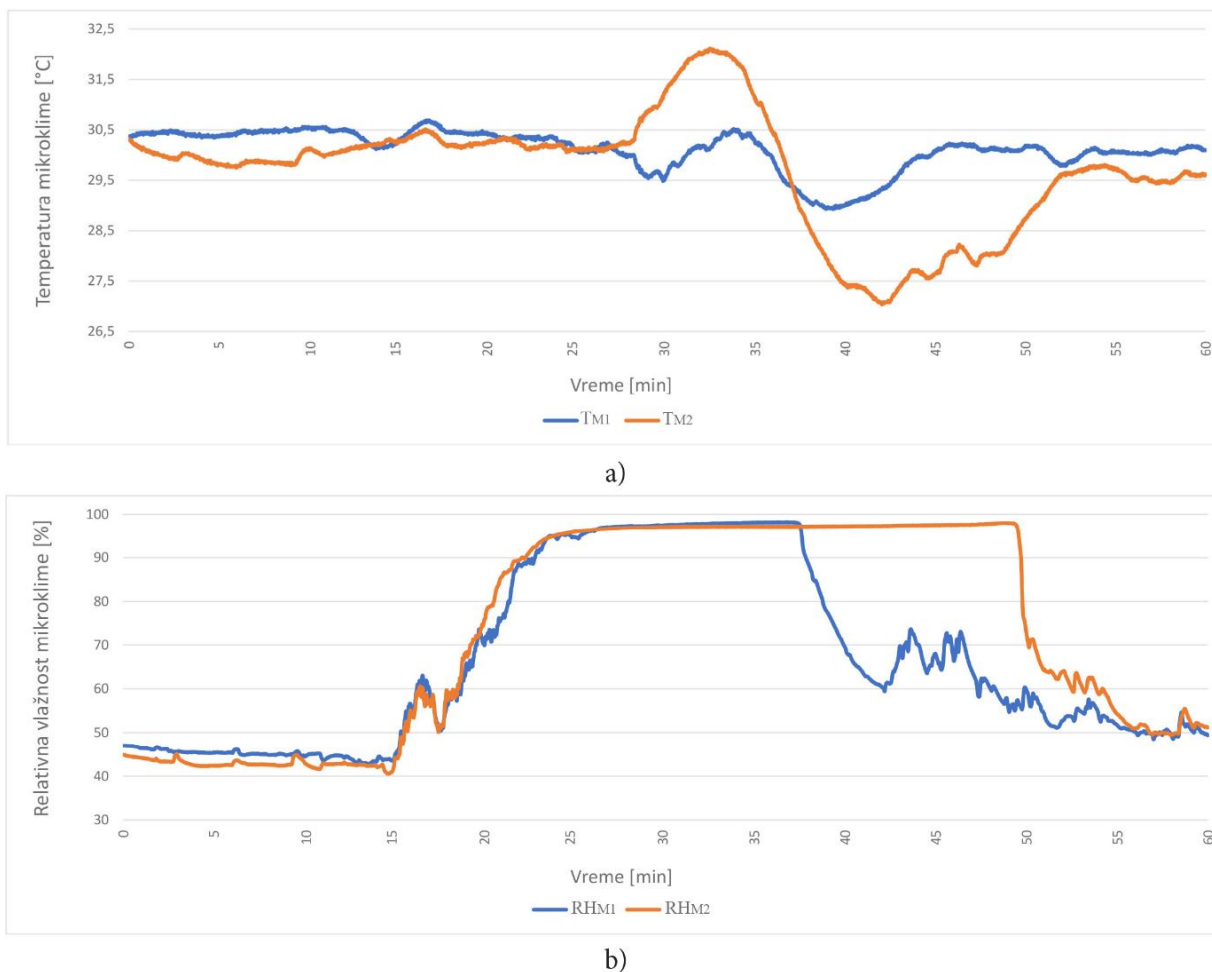


Slika 131. Rezultati testiranja pametne majice pri brzini kretanja od $6,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ testne osobe 1:
a) temperatura mikroklimе i b) relativna vlažnost mikroklimе

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 131, u prvoj fazi testa (mirovanje) više vrednosti temperature mikroklimе su zabeležene na grudima testne osobe u odnosu na one zabeležene na leđima. Nakon petnaestog minuta, kada se testna osoba kreće brzinom od $6,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ dolazi u proseku do veoma blagog porasta temperature mikroklimе do tridesetog minuta. Nakon tridesetog minuta (kada testna osoba miruje) T_{M1} i T_{M2} vrednosti opadaju a zatim dolazi do postepenog rasta ovih vrednosti i nakon četrdesetog minuta vrednosti temperatura mikroklimе izmerenih na leđima i grudima su ujednačene. Maksimalne T_{M1} i T_{M2} zabeležene u toku ovog eksperimenta iznose $30,86 \text{ }^\circ\text{C}$ i $30,6 \text{ }^\circ\text{C}$, po redosledu navođenja. Do tridesetog minuta veće vrednosti temperature mikroklimе su zabeležene na grudima, dok su nakon toga (u periodu mirovanja) veće vrednosti zabeležene na leđima testne osobe.

Od početka eksperimenta do petnaestog minuta (u periodu mirovanja) vrednosti RH mikroklimе su ujednačene, dok su malo više vrednosti zabeležene na grudima testne osobe. Nakon toga, kada se testna osoba kreće, ove vrednosti naglo rastu i dostižu maksimalne vrednosti (RH_{M1} dostiže $97,87 \%$, dok RH_{M2} dostiže $96,94 \%$). Nakon toga, kada testna osoba ponovo miruje, znojenje je i dalje pojačano kao posledica povećane fizičke aktivnosti. Izmerene vrednosti relativne vlažnosti mikroklimе na grudima opadaju nakon trideset šestog minuta dok na leđima dolazi do opadanja ovih vrednosti nakon četrdeset prvog minuta. Posle ovog perioda vrednosti RH_{M1} i RH_{M2} su izjednačene i opadaju do kraja eksperimenta i dostižu vrednosti od $47,05 \%$ (RH_{M1}) i $45,91 \%$ (RH_{M2}).

Na slici 132 prikazani su rezultati testiranja pametne majice pri brzini kretanja od $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ testne osobe 1.



Slika 132. Rezultati testiranja pametne majice pri brzini kretanja od $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ testne osobe 1:

a) temperatura mikroklime i b) relativna vlažnost mikroklime

Temperature mikroklime izmerene na grudima i leđima blago variraju do dvadeset sedmog minuta. U ovom periodu su neznatno više vrednosti zabeležene na grudima. Nakon ovog perioda, T_{M2} raste i dostiže pik na trideset trećem minutu od $32,1 \text{ }^\circ\text{C}$, dok su vrednosti T_{M2} dosta niže ($30,45 \text{ }^\circ\text{C}$). Kako u ovom periodu RH_{M2} dostiže maksimum, dolazi do hlađenja tela pa temperatura mikroklime na leđima drastično opada i dostiže vrednost od $27,03 \text{ }^\circ\text{C}$. Temperatura mikroklime na grudima blago raste nakon tridesetog minuta i nakon toga opada. U drugom periodu mirovanja (nakon trideset sedmog minuta) više vrednosti temperature mikroklime su zabeležene na grudima u odnosu na vrednosti zabeležene na leđima.

Rezultati relativne vlažnosti mikroklime su u prvih petnaest minuta eksperimenta ujednačene. Nakon toga, ove vrednosti naglo rastu sa oscilacijama sve do 23,5 minuta eksperimenta kada je zabeležena maksimalna vrednost od $97,2 \%$. U ovom periodu je detektovano povećano znojenje usled pojačanog opterećenja sportiste pri brzini kretanja od 8

$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, što se odrazilo na rezultate RH mikroklimе, odnosno produžen je period sušenja kože. Iz tog razloga RH_{M2} naglo opada tek posle četrdeset devetog minuta dok, za RH_{M1} ove vrednosti opadaju nakon trideset šestog minuta.

4.16 Praćenje mikroklimе i kretanja sportiste korišćenjem drugog prototipa pametne majice

Za prikupljanje podataka ubrzanja i promene položaja testne osobe korišćen je akcelerometar MMA8451Q koji se nalazi na levom ramenu, dok su za prikupljanje podataka mikroklimе korišćeni senzori SHT-31 pozicionirani na grudima i leđima.

4.16.1 Testiranje akcelerometra integrisanog u pametnu majicu

Ovaj eksperiment je urađen sa ciljem merenja ubrzanja i određivanja položaja pametne majice korišćenjem troosnog akcelerometra koji je u nju ugrađen. Vremenski period eksperimenta je jedan minut, podaci se prikupljaju svake 0,5 sekunde.

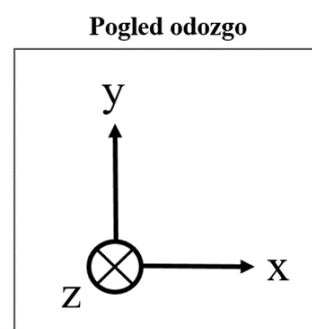
U slučaju kada je ubrzanje bilo usmereno u x, y ili z osu, u istom smeru kao i smeru u koji je akcelerometar (senzor) usmeren očitace se pozitivne vrednosti. Međutim, ukoliko je usmereno suprotno, očitane vrednosti biće negativne.

Na slici 133 prikazan je pravac merenih ubrzanja akcelerometrom MM8451Q integrisanog u pametnu majicu.

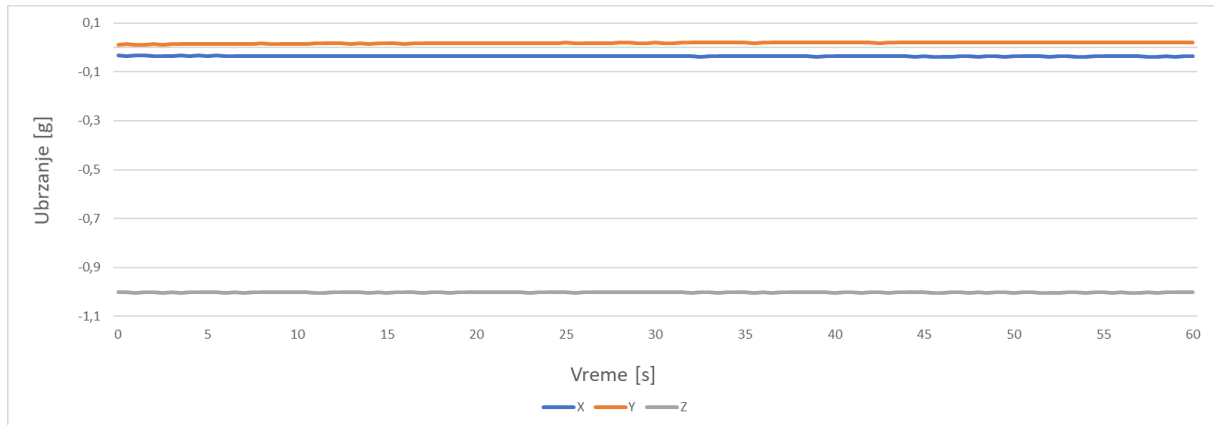
Troosni akcelerometar ugrađen u pametnu majicu je postavljen na takav način da je senzor u x osi usmeren udesno, senzor u y osi je usmeren na gore, a senzor u z osi orijentisan napred i na njega ne utiču nikakve sile, pa će akcelerometar očitati vrednosti: $x = 0 \text{ g}$, $y = -1 \text{ g}$ i $z = 0 \text{ g}$.

Kada na akcelerometar ne utiče spoljašnje ubrzanje, što je slučaj kada je majica položena na horizontalnu površinu senzor će detektovati samo gravitaciono ubrzanje tj. silu gravitacije.

Rezultat merenja ubrzanja pomoću pametne majice koja je položena na ravnu površinu u stanju mirovanja prikazan je na slici 134.



Slika 133. Pravac merenih ubrzanja akcelerometrom MM841Q integrisanog u pametnu majicu



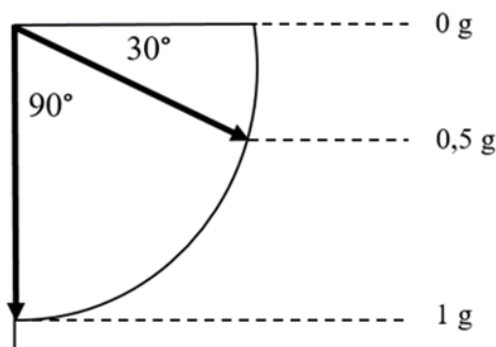
Slika 134. Rezultati merenja ubrzanja pomoću pametne majice

U zavisnosti kako je akcelerometar pozicioniran u pametnoj majici on će davati odgovarajuće numeričke vrednosti za x, z i y osu. Na ovaj način je izvršena provera rada akcelerometra.

Sa slike 134 može se uočiti da je ubrzanje po z osi oko -1 , što je očekivano jer je z osa usmerena suprotno od sile gravitacije. Vrednosti ubrzanja po x su negativne i približne nuli, a po y osi su pozitivne i nešto veće od 0, što se može objasniti položajem integracije akcelerometra u pametnu majicu.

Akcelerometar je u majicu ugrađen pod određenim uglom zbog poboljšanja ergonomske udobnosti majice kao i olakšanog ožičenja i napajanja.

Na osnovu ubrzanja gravitacije može se detektovati ugao pomeraja tj. položaj nosica odeće i smer njegovog kretanja. Ubrzanje gravitacije u odnosu na ugao pomeraja je prikazan na slici 135.



Slika 135. Vrednosti ubrzanja (g) izvedene iz ugla pomeraja

4.16.2 Praćenje mikrokline i kretanja sportiste korišćenjem pametne majice

Na slici 136 prikazani su rezultati ubrzanja, temperature i relativne vlažnosti mikrokline testne osobe 1 pri nošenju drugog prototipa pametne majice. Testna osoba 1 je prvi minut mirovala a nakon toga se do kraja eksperimenta kretala brzinom od $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ narednih 1,5 minuta vremena.

Kao što se vidi sa slike, na početku eksperimenta dolazi do blagog porasta temperature i relativne vlažnosti mikrokline, što je posledica aklimatizacije tela testne osobe na uslove u klima komori. Testna osoba je u klima komoru ušla iz spoljašnje sredine sa znatno višom temperaturom. Vidljivo je da se u periodu mirovanja ne menja ubrzanje. U trenutku oko prvog minuta dolazi do smanjenja T_{M2} , RH_{M1} i RH_{M2} verovatno zbog toga što se testna osoba prilagodila klimatskim uslovima. U ovom periodu temperatura mikrokline izmerena na leđima i grudima testne osobe blago raste i taj porast je skoro linearan.

Posle prvog minuta, kad počne kretanje, uočava se promena ubrzanja u sve tri ose, najviše u pravcu kretanja testne osobe tj. u smeru z ose, takođe i u smeru x i y ose jer se u toku trčanja ramena pomeraju kako napred-nazad tako i gore-dole.

Na slici 137 prikazani su rezultati temperature i relativne vlažnosti mikrokline pri nošenju pametne majice od strane testne osobe 1 prema protokolu F (Prilog).

U toku perioda mirovanja dolazi do neznatnih promena temperatura mikrokline T_{M1} dok je T_{M2} konstantna. Rezultati RH mikrokline su izjednačeni bez značajnih promena u ovom periodu. To je posledica aklimatizacije tela testne osobe na uslove koji vladaju u klima komori. U ovom periodu ne dolazi do promene ubrzanja. U periodu od 0 do 1 minuta testna osoba kruži glavom što dovodi do pomeranja ramena. Na tačno 1 minut testa T_{M2} se malo smanjila dok T_{M1} naglo opada. Nakon toga ove vrednosti rastu sve do kraja eksperimenta. U trenutku završetka perioda mirovanja se RH vrednosti izmerene na leđima naglo rastu dok su kod RH vrednosti na grudima zabeležene blage promene.

Na slici 138 prikazani su rezultati testiranja drugog prototipa pametne majice u kojem je učestvovala testna osoba 3, koja se tokom celog eksperimenta kretala brzinom od $3,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

U toku eksperimenta, rezultati temperature mikrokline izmereni na leđima i grudima testne osobe paralelno rastu. Dolazi do neznatnog i ravnomernog uvećanja RH_{M1} vrednosti u toku eksperimenta dok, za RH_{M2} vrednosti u početku eksperimenta dolazi do manjeg a kasnije do većeg i neravnomernijeg uvećanja.

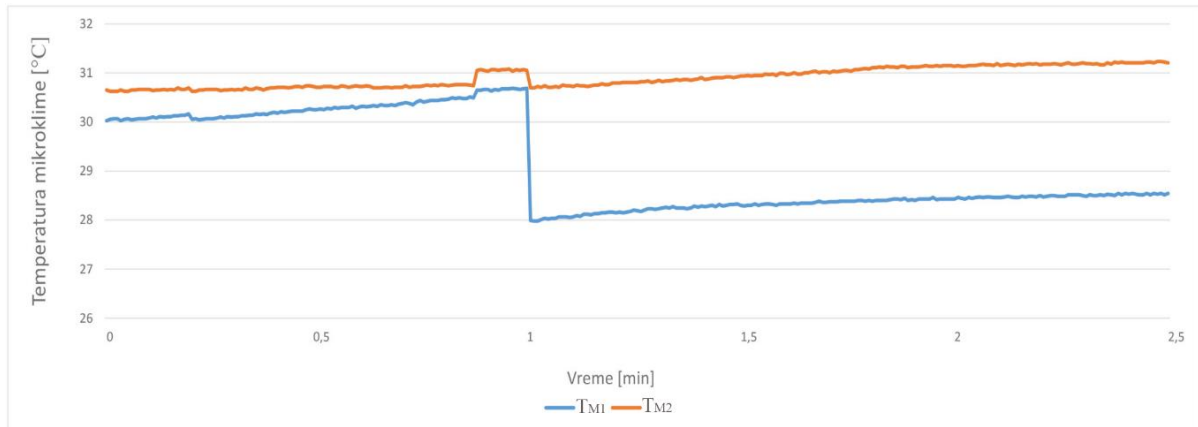
Testna osoba je skočila u toku kretanja, što se može primetiti i iz rezultata ubrzanja (119,5 sekunda) kada dolazi do pojave pika na x i na y osi. Tokom celog eksperimenta testna osoba 3 se kretala konstantnom brzinom od $3,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ pa je vidljiv jasan obrazac kretanja.

Na slici 139 prikazni su rezultati testiranja drugog prototipa pametne majice u kojem je učestvovala testna osoba 3, koja se tokom celog eksperimenta kretala brzinom od $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

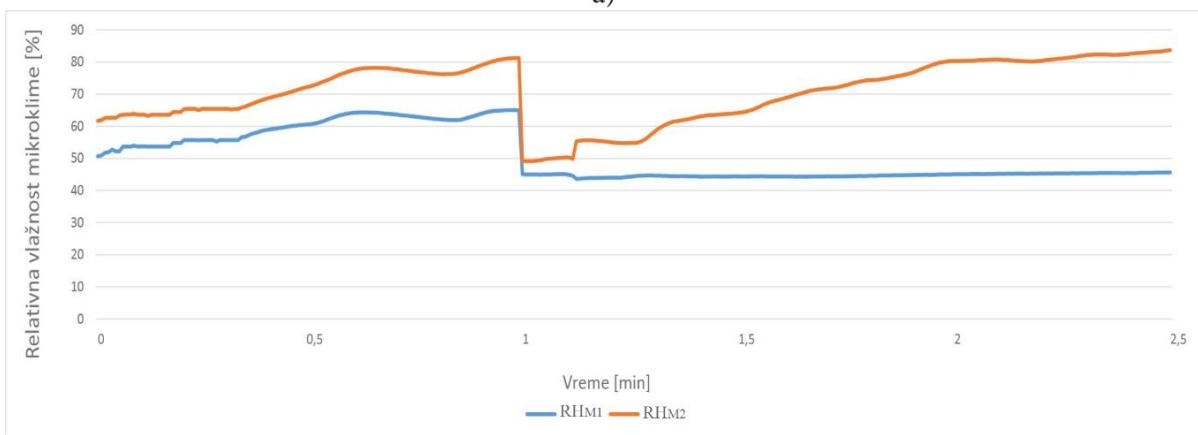
Kao što je vidljivo sa slike, vrednosti temperature mikroklike izmereni na leđima i grudima testne osobe paralelno rastu u toku eksperimenta. RH_{M1} i RH_{M2} sve do 51 sekunde su izjednačeni, nakon toga dolazi do blagog nepravilnog uvećanja RH na grudima do završetka eksperimenta.

Nakon razmatranja prikupljenih podataka ubrzanja, temperature i relativne vlažnosti mikroklike može se zaključiti da postoji jasna povezanost između ovih rezultata što ukazuje da se upotrebom pametene majice može pratiti toplotno opterećenje kao i kretanje sportiste u toku fizičkih aktivnosti koje se odvijaju u letnjem periodu i na taj način zaštititi zdravlje i poboljšati sportske performanse.

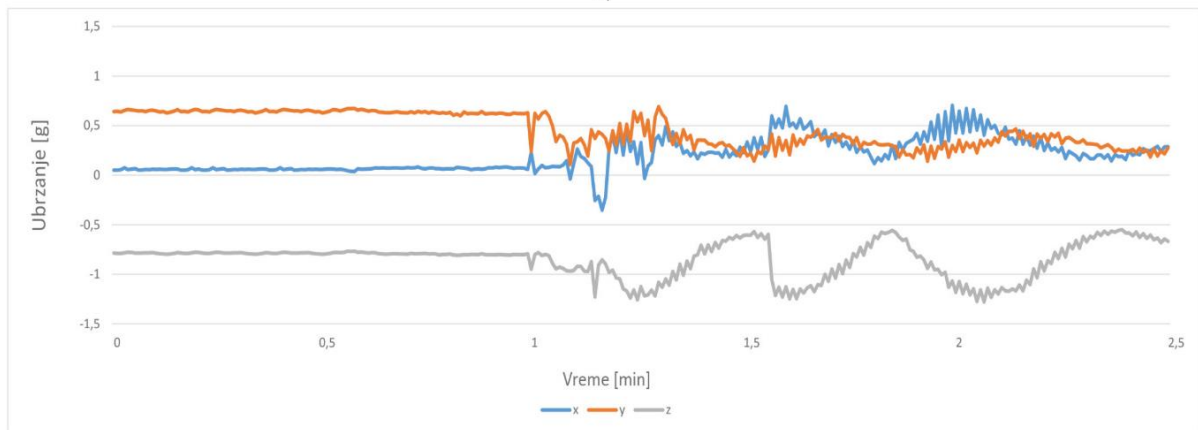
Ipak, za detaljnije i sveobuhvatnije proučavanje kretanja sportista je potreban veći broj podataka prema literaturi [263, 264] gde se predlaže prikupljanje podataka ubrzanja 10 do 20 puta u sekundi.



a)

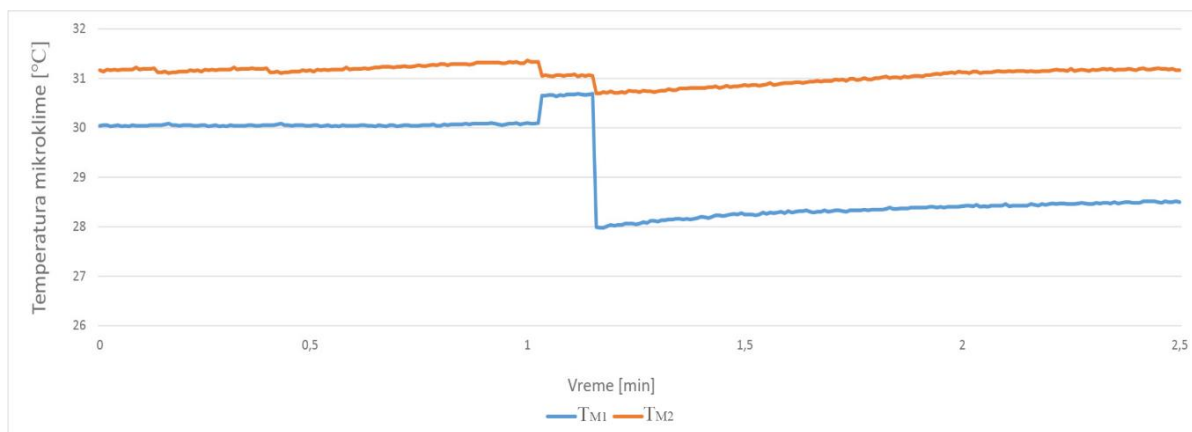


b)

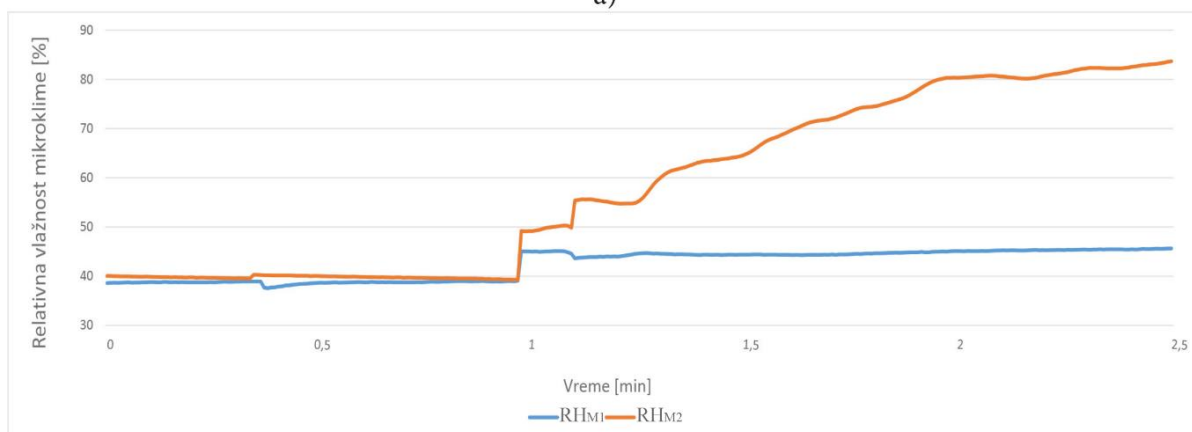


c)

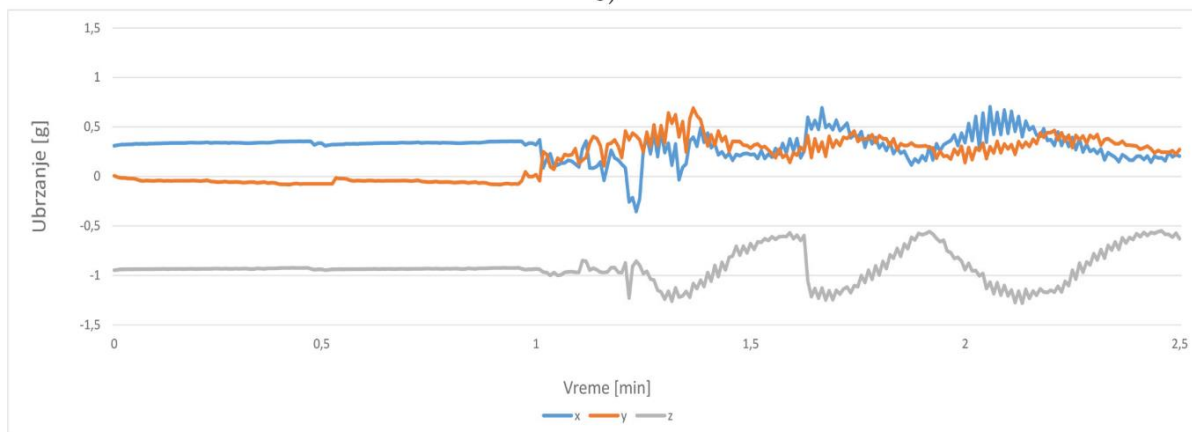
Slika 136. Rezultati temperature mikroklime, relativne vlažnosti mikroklime i ubrzanja pri nošenju drugog prototipa pametne majice pri brzini kretanja od $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$



a)

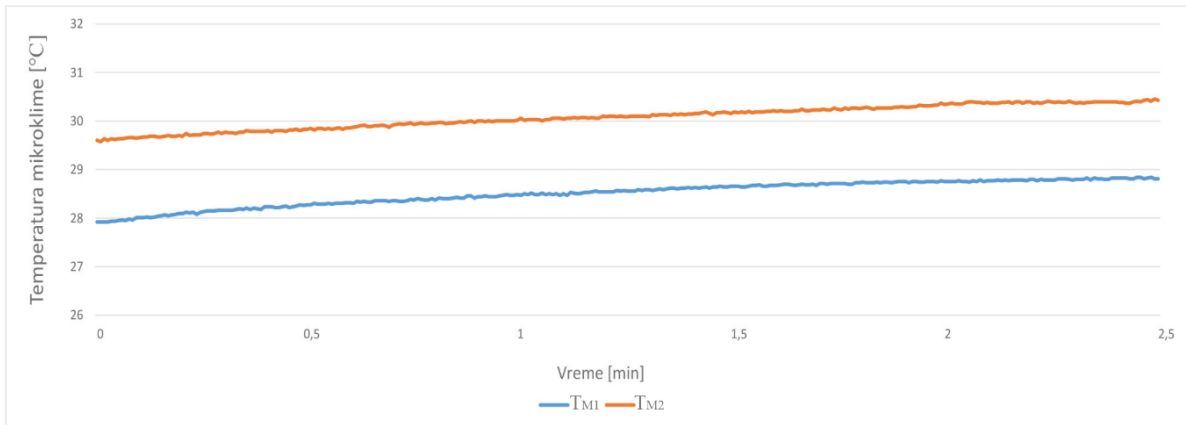


b)

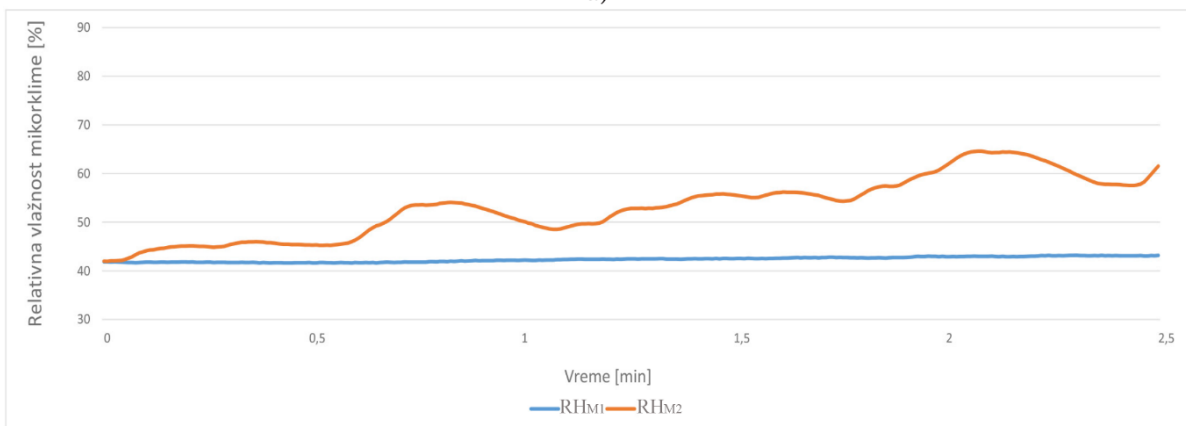


c)

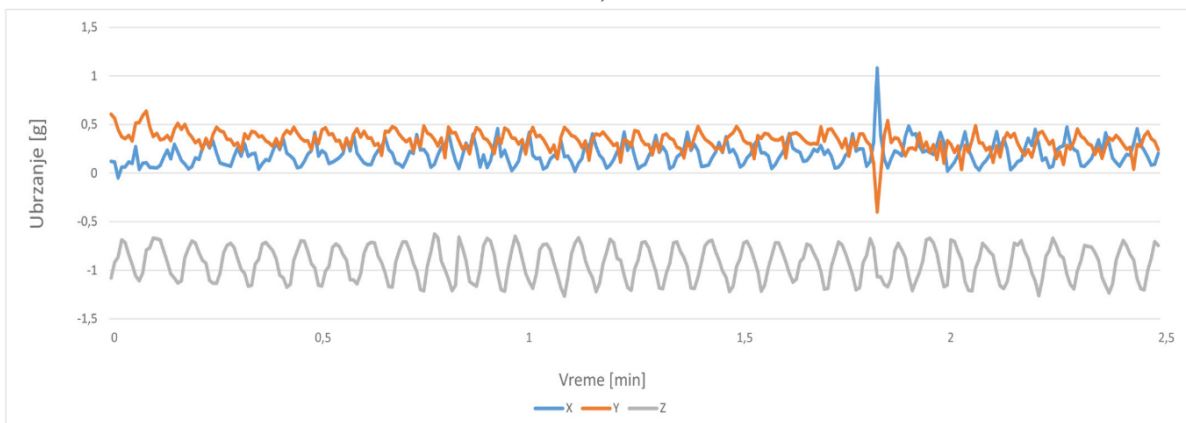
Slika 137. Rezultati temperature mikroklimе, relativne vlažnosti mikroklimе i ubrzanja pri nošenju drugog prototipa pametne majice prema protokolu F



a)

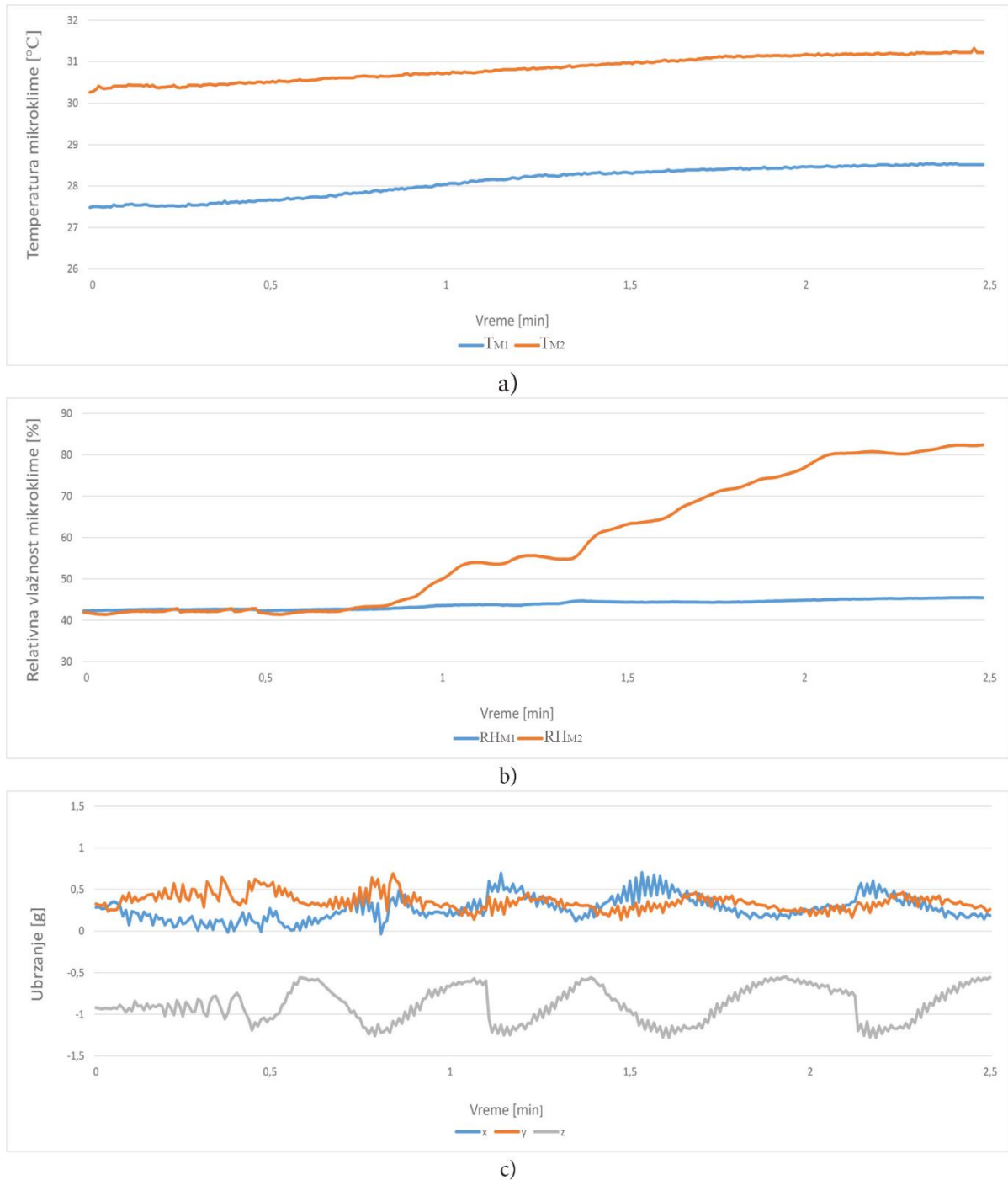


b)



c)

Slika 138. Rezultati temperature mikroklimе, relativne vlaŹnosti mikroklimе i ubrzanja testne osobe 3 pri noŹenju drugog prototipa pametne majice pri brzini kretanja od $3,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$



Slika 139. Rezultati temperature mikroklime i relativne vlažnosti mikroklime i ubrzanja testne osobe 3 pri nošenju drugog prototipa pametne majice pri brzini kretanja od $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

5 ZAKLJUČCI

S obzirom na opšti cilj ove disertacije – razvoj i realizaciju pametne majice za praćenje toplotnog opterećenja sportista u letnjem periodu bilo je potrebno ispitati strukturalna, fizička, mehanička i toplotna svojstva odabranih konvencionalnih i savremenih funkcionalnih pletenina kao i uticaj ovih svojstava na toplotno-fiziološku, ergonomsku, mehaničku i kožno-senzornu udobnost pri nošenju majica izrađenih od ovih pletenina. Na osnovu rezultata ispitivanja odabrana je najpogodnija pletenina za izradu dva prototipa pametne majice.

Ispitano je trinaest pletenina, od toga sedam konvencionalnih i šest savremenih funkcionalnih pletenina (*Outlast* i *Coolmax*) sa ugrađenim PMC materijalima. Pletenine su izrađene u četiri grupe prepletaja (interlok, pike, desno-levi i desno-desni) u različitim sirovinskim sastavima (PES, Co, PA i EL). Konvencionalne pletenine su štampane tehnikom sublimacione transfer štampe. PES pletenine su štampane na klasičan način, dok je za pletenine koje sadrže pamučna vlakna korišćen proces modifikacije papira upotrebom sublimacionog polimernog praha sa ciljem vezivanja disperzne boje za hidrofilna vlakna.

Analizom rezultata fizičkih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenina zaključeno je sledeće:

- Faktor koji je imao najveći uticaj na rezultate sadržaja vlage pletenina je sirovinski sastav, pa su najviše vrednosti zabeležene za pletenine izrađene od Co vlakana i mešavine Co/PES. Uzrok tome su hidrofilna svojstva pamučnih vlakana koja bubre, što otežava prenos vlage zadržavajući tečnost u svojoj strukturi. Najniže vrednosti relativne vlažnosti su zabeležene za pletenine izrađene od PES vlakana koja su hidrofobna te se teško kvase.
- Više vrednosti propustljivosti vazduha zabeležene su za PES u odnosu na Co i Co/PES pletenine, što je uzrok strukture Co pređa koje su voluminoznije, sa nepravilnijom strukturom i time otežavaju prolaz vazduha kroz pletenine. Najviše vrednosti propustljivosti vazduha kod konvencionalnih pletenina zabeležene su za pleteninu 03 u interlok prepletaju i pleteninu 05 u desno-desnom saće prepletaju, a kod funkcionalnih zabeležene za pleteninu 10 u pike prepletaju i pleteninu 11 u desno-desnom prepletaju. Najniže vrednosti propustljivosti vazduha su kod funkcionalnih pletenina iz desno-leve grupe prepletaja.

- Analizom rezultata istezanja u vlažnom stanju i relaksacionog skupljanja, najstabilnije pletenine (najmanje promene u dimenzijama nakon toplotne i mokre obrade) bile su PES pletenine, dok su značajne promene zabeležene kod Co kao i funkcionalnih pletenina 11 i 13.

Analizom mehaničkih svojstava pletenina zaključeno je sledeće:

- Kod konvencionalnih pletenina najviše vrednosti izduženja su dobijene za uzorke 01 i 06 a najmanja vrednost za uzorak 03. Pletenina u interlok prepletaju 03 je izrađena od dve PES pređe što je učvrstilo njenu strukturu i smanjilo elastičnost. Pletenine 01 i 05 izrađene su od iste pređe u različitom prepletaju, što ukazuje da je interlok prepletaj doprineo višim vrednostima izduženja.
- Za konvencionalne pletenine izrađene od iste pređe (01, 02 i 05) sa povećanjem debljine dolazi do uvećanja vrednosti krutosti savijanja B . Takođe, kod funkcionalnih pletenina u pike prepletaju sa uvećanjem debljine dolazi do porasta krutosti savijanja B .
- Na vrednosti geometrijske hrapavosti SMD pletenina najveći uticaj imali su prepletaj i gustina pletenina, pa su tako niski rezultati zabeleženi za pletenine glatke strukture (u interlok i desno-levom prepletaju) dok su za pletenine koje se odlikuju složenom strukturom (pletenine u desno-desnom saće prepletaju, pike i u desno-levom perlfang prepletaju) zabeležene dosta veće vrednosti geometrijske hrapavosti SMD .

Analizom toplotnih svojstava konvencionalnih i funkcionalnih pletenina zaključeno je sledeće:

- Parametar koji je imao najveći uticaj na vrednost toplo-hladnog osećaja q_{max} pletenina je debljina. Veće vrednosti toplo-hladnog osećaja q_{max} (što upućuje na hladniji osećaj pri nošenju odeće) zabeležene su za tanje pletenine. Upotreba PMC materijala doprinela je većim q_{max} vrednostima kod pletenina u desno-desnom 1:1 prepletaju u odnosu na konvencionalne pletenine u istom prepletaju.
- Sirovinski sastav imao je najveći uticaj na vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti λ . Niže vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti λ zabeležene su za PES pletenine, dok su više vrednosti zabeležene za PA/EL i Co/EL pletenine.
- Najviše vrednosti toplotne otpornosti materijala R_{ct} su zabeležene za pletenine u pike prepletaju 04 i 10. Sa uvećanjem debljine kod pletenina u interlok (konvencionalne), desno-desnom 1:1 prepletaju (konvencionalne i funkcionalne) i pike prepletaju (funkcionalne) dolazi do porasta R_{ct} vrednosti.

Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da su pletenine izrađene od PES vlakana pogodnije za izradu sportske odeće u odnosu na pletenine za čiju upotrebu su korišćena Co vlakana.

Primena sublimacione transfer štampe doprinela je promeni strukturnih i fizičkih svojstava pletenina, odnosno:

- smanjenju debljine kod svih štampanih pletenina u odnosu na uzorke bez štampe, što je bila posledica toplote i pritiska prilikom fiksiranja boje;
- promeni površinske mase pletenina. Manje povećanje je nastalo kod PES pletenina zbog primene klasične tehnike štampe dok je kod pletenina, koje imaju u svom sastavu pamučna vlakna, došlo do značajnog uvećanja površinske mase što je posledica korišćenja sublimacionog polimernog praha u formiranju novog površinskog sloja;
- kod svih PES pletenina smanjenju ukupne gustine. Proces toplotnog fiksiranja boje u sinergiji sa pritiskom i istezanjem materijala rezultovao je povećanju vertikalne i smanjenju horizontalne gustine pletenina;
- poroznost štampanih pletenina je značajno smanjena u poređenju sa uzorcima bez štampe, što se odrazilo na rezultate propustljivosti vazduha i relativne vlažnosti. Vrednosti propustljivosti vazduha su manje za štampane pletenine u poređenju sa uzorcima bez štampe. Smanjenje je značajno veće za Co/PES i Co pletenine 04 i 07, zbog zasićenja strukture ovih pletenina sublimacionim prahom i štamarskom bojom. Proces štampe je uticao i na smanjenje vrednosti relativne vlažnosti pletenina.
- Dobijeni rezultati ukazuju da je došlo do relativno malih promena u strukturnim i fizičkim svojstvima PES pletenina nakon primene sublimacione transfer štampe. Ovo znači da proces štampe ima uticaj na kvalitet pletenina. Dalje, dobijeni rezultati ukazuju da primena sublimacione transfer štampe kod pamučnih pletenina i pletenina iz mešavine pamučnih i poliestarskih vlakana se nije pokazala kao pogodna za upotrebu u odevnoj industriji. Promene u strukturnim i fizičkim svojstvima imaju negativni efekat na opip tekstilnih materijala i mogućnost oblikovanja u odevni predmet.

Na osnovu analize ΔE^* vrednosti štampanih pletenina, utvrđeno je da su najniže vrednosti zabeležene za PES (od 0,4 do 3,4) u poređenju sa Co/PES (od 8,5 do 14,4) i Co pleteninama (od 7,9 do 14,2).

Parametri koji su najviše uticali na ΔE^* vrednosti PES pletenina su:

- Korišćena pređa, odnosno pletenine izrađene od iste pređe kao referentni uzorak, pokazale su ΔE^* vrednosti manje od 1 (sa izuzetkom 05-C).

- Prepletaj, odnosno pletenine izrađene u istom prepletaju kao i standardni uzorak, imale su ΔE^* vrednosti manje od 1.
- Gustina pletenina, odnosno pletenine izrađene od iste pređe i istom prepletaju kao referentni uzorak imale su ΔE^* vrednosti manje od 1.

Proces štampe, tj. primena toplote i ugradnja boje u vlakna i pore konvencionalnih pletenina doprineo je promeni u mehaničkim svojstvima:

- Zabeleženo je neznatno uvećanje izduženja u pravcu nizova i značano smanjenje u pravcu redova za sve PES pletenine. Za PES pletenine (01, 02 i 05) iz iste pređe u dva različita prepletaja, veće vrednosti izduženja su zabeležene kod uzoraka 01 i 02.
- Zabeleženo je smanjenje vrednosti deformacijskog rada WT u smeru redova kod pletenina 01, 05 i 06, dok je kod pletenine 03 zanemarljiva promena.
- Smanjenje krutosti pri smicanju G i histereze sile smicanja pri uglu smicanja $0,5^\circ 2HG$ zabeleženo je za pletenine 05 u desno-desnom saće prepletaju nakon procesa štampanja. Ovi rezultati ukazuju da je došlo do promene strukture pletenine što je doprinelo smanjenju krutosti.
- Povećanje krutosti pri smicanju G je kod pletenina 01, 03 i 06 i smanjenje vrednosti kod pletenina 02 i 05.
- Najveće promene u svojstvima savijanja zabeležene su za pletenine 05 kod kojih je zapaženo smanjenje vrednosti krutosti pri savijanju B i histereze sile smicanja pri uglu smicanja od $0,5^\circ 2HB$.
- Najviše vrednosti krutosti pri smicanju G i krutosti pri savijanju B zabeležene su za pleteninu 03 u odnosu na ostale pletenine u interlok prepletaju. Pored toga, kod ove pletenine je zabeleženo značajno povećanje ovih vrednosti nakon procesa štampanja. Ova pletenina je izrađena iz dve pređe, što je doprinelo manjoj elastičnosti i povećanoj krutosti.
- Smanjenja debljina (h_0 i h_m) i deformacija strukture je dodatno uticalo na kompresijska svojstva pletenina (smanjenje vrednosti kompresibilnosti) dobijena je dobra zavisnost između kompresibilnosti i površinske mase za PES pletenine u interlok prepletaju.
- Upotreba sublimacionog praha, osim što je doprinela promeni strukture Co i Co/PES pletenina, stvaranju sloja na površini, smanjenu pokretljivosti pređe u strukturi, dovela je do povećanja krutosti i neelastičnosti pletenina.
- Značajna promena u svojstvima kompresije Co/PES i Co pletenina dovodi do smanjenja vrednosti deformacijskog rada i kompresibilnosti.

Analizom rezultata toplotnih svojstava štampanih konvencionalnih pletenina zaključeno je sledeće:

- Proces štampe doprineo je nešto manjem uvećanju vrednosti toplo-hladnog osećaja q_{max} PES pletenina dok je ovo uvećanje dosta izraženije kod Co i Co/PES pletenina što znači da bi proces štampe doprineo blagom povećanju hladnijeg osećaja pri nošenju odevnih predmeta izrađenih od PES pletenina, dok bi kod odeće izrađene od Co i Co/PES pletenina ovo uvećanje hladnijeg osećaja bilo veće.
- Primena sublimacione štampe je doprinelo uvećanju vrednosti stacionarnog toplotnog toka ϕ . Manje uvećanje je zabeleženo za PES dok je izraženije uvećanje zabeleženo za Co i Co/PES pletenine.
- Na vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti λ najviše je uticao sirovinski sastav, pa su više vrednosti zabeležene za pletenine izrađene od Co i PA vlakana u odnosu na pletenine izrađene od PES vlakana.
- Proces štampanja Co i Co/PES pletenina je doprineo stvaranju površinskog sloja kod ovih pleteninama što je za posledicu imalo povećanje vrednosti toplo-hladnog osećaja q_{max} , stacionarnog toplotnog toka ϕ , otpornosti protoku vodene pare R_{et} i smanjenju toplotne izolacije R_{et} .

Na osnovu rezultata testiranja toplotno-fiziološke, ergonomske, mehaničke i kožno-senzorne udobnosti pri nošenju realizovanih majica, zaključeno je sledeće:

- Upoređivanjem rezultata srednje ponderisane temperature kože pri nošenju analiziranih majica najmanje vrednosti su izračunate za majice 13, 05 i 08, po redosledu navođenja.
- Najviša T_{pon} je izračunata pri nošenju majica izrađenih od pletenina 04 (Co/PES) i 07 (Co).
- Najniža srednja vrednost RH kože izračunata pri nošenju majice 04, izrađene od konvencionalne dvoslojne Co/PES pletenine, što se objašnjava dobrim svojstvima upravljanja vlagom.
- Pri nošenju majice 07 izrađene od Co pletenine zabeležene su najveće vrednosti količine izlučenog i upijenog znoja.
- Za majice izrađene od pletenina sa poroznom strukturom zabeleženi su niži rezultati srčane frekvencije. Ove majice omogućavaju povećani protok vazduha i propustljivost vlage, što uslovljava hlađenje tela tokom fizičke aktivnosti a samim tim i opterećenje sportiste.

Na osnovu rezultata subjektivne ocene toplotnog stanja testne osobe 1 pri fizičkoj aktivnosti prema protokolu A, može se zaključiti:

- Testna osoba iz ugla toplotnog osećaja najbolje se osećala pri nošenju majice izrađene od konvencionalne PES pletenine 05. Za majice izrađene od funkcionalnih pletenina testna osoba je odgovorila da se oseća „toplo“ i „vruće“ u fazi mirovanja dok je odgovor „vruće“ bio zabeležen za kraj eksperimenta na osnovu čega se može konstatovati da pri dužem nošenju majica izrađenih od funkcionalnih pletenina ne dolazi do poboljšanja toplotnog stanja. Testna osoba je kao nejneudobnije ocenila majice oznaka 08 i 12.
- Testna osoba je na pitanje željenog toplotnog stanja kao najpogodnije ocenila majice 05 i 04 (izrađene od konvencionalnih pletenina) u toku celokupnog eksperimenta dok je kao nepogodne (faza mirovanja i na kraju eksperimenta) ocenila majice 03, 09 i 12.

Ergonomska, mehanička, kožno-senzorna i celokupna udobnost u kojem je učestvovala testna osoba 2 (protokol B):

- Testna osoba se najneugodnije osećala pri nošenju majica 08 i 03, za koje je rekla da daju neprijatan osećaj na koži i ocenila ih kao krute i neprilagodljive prilikom pokretanja ruku. Ostale majice je ocenila kao udobne.
- Testna osoba je najveću ocenu celokupne udobnosti dala majicama 05, 10, 13 i referentnoj majici, dok je najniže ocene dala majicama 11 i 08.

Korišćeni softver za 3D simulaciju nije imao mogućnost da koristi podatke tankih i elastičnih pletenina tako da su izostale simulacije pojedinih majica. Na osnovu analize simuliranih i realizovanih modela majica zaključeno je da zadovoljavajuća podudarnost postignuta kod majica 05 i 12, dok je kod ostalih majica bilo odstupanja.

Opcija *Tension Map* u softveru *OptiTex* je korišćena za ocenjivanje udobnosti simuliranih odevnih predmeta putem mape u boji koja prikazuje vrednosti istezanja, napetosti i udaljenosti između tekstilnog materijala tj. odevnog predmeta i tela virtuelnog manekena. Više vrednosti ($\text{gf}\cdot\text{cm}^{-1}$) zabeležene su za majice za čiju su simulaciju korišćeni parametri funkcionalnih pletenina u odnosu na majice za čiju su simulaciju korišćeni parametri konvencionalnih pletenina. Prema rezultatima, simulirane majice izrađene od funkcionalnih pletenina više „naležu“ na telo virtuelnog manekena kao i da različita mehanička svojstva pletenina dovode do različitog „prianjnjaja“ simuliranih majica.

U cilju praćenja opterećenja sportista u toku pojačane fizičke aktivnosti u toplom vremenu izrađena su dva prototipa pametne majice sa ugrađenim sensorima temperature i

vlage, akcelerometrom kao i ostalim elektronskim komponentama. I²C komunikacijski protokol je korišćen za prenos podataka.

Pametne majice su izrađene s ciljem poboljšanja toplotno-fiziološke i ergonomske udobnosti nošenja. Majica je normalnog kroja i sa mrežicama ispod pazuha zbog poboljšanja ventilacije i hlađenja tela. Na osnovu subjektivnih ocena testnih osoba, ergonomske, mehaničke i kožno-senzorne udobnosti oba protipa majice su ocenjena kao udobna.

Za testiranje performansi prvog prototipa majice prikupljeni su podaci temperature i relativne vlažnosti mikrokline koji su upoređeni sa podacima medicinskog uređaja *MSR 12* (temperatura kože i relativna vlažnost kože). Pametna majica je testirana u više različitih uslova okoline i tokom različitih fizičkih aktivnosti. Nađena je dobra usaglašenost rezultata između prototipa pametne majice i MSR-a, s tom razlikom što su vrednosti temperature kože bile nešto veće u odnosu na temperaturu mikrokline. Pored toga, izmerene su više vrednosti temperature na leđima testne osobe i više vrednosti relativne vlažnosti mikrokline. Osim toga, na temperaturi okoline od 20 °C, majica se tokom eksperimenta suši, dok na temperaturi okoline od 25 °C zbog pojačanog znojenja to nije slučaj.

U eksperimentu praćenja mikrokline pomoću pametne majice pri različitim temperaturama okoline dobijeni su različiti rezultati za dve testne osobe (Protokol D). Za testnu osobu 3 temperature mikrokline paralelno rastu u toku eksperimenta pri oba uslova okoline. Veća vrednost je izmerena na leđima, a razlika između T_{M1} i T_{M2} raste pri većoj temperaturi okoline. Zabeležen je manji intenzitet znojenja na grudima pri oba uslova okoline. Znojenje se pri višoj temperaturi okoline kasnije javlja. Rezultati ovog eksperimenta su drugačiji kod testne osobe 4. Pri manjoj temperaturi okoline T_{M1} i T_{M2} su konstantne a pri višoj je zabeležen porast obe temperature mikrokline a zatim se vrednosti temperature više ne menjaju. Kod manje temperature okoline nema promena u vrednostima RH_{M1} i RH_{M2} dok, pri većoj temperaturi okoline dolazi do pojačanog znojenja, odnosno javlja se blagi pik vrednosti RH mikrokline.

U eksperimentu praćenja mikrokline pomoću pametne majice pri različitim intenzitetima fizičke aktivnosti testne osobe 1 (Protokol E) primećeno je da sa povećanjem opterećenja dolazi do smanjenja razlike između temperatura mikrokline. Pri brzinama kretanja od 5 km·h⁻¹ i 6,5 km·h⁻¹ izmerene su veće temperature na grudima tokom celog eksperimenta. Pri brzini od 8 km·h⁻¹ u periodu mirovanja javlja se nagli skok – maksimum T_{M1} , pri čemu je temperatura na grudima veća u odnosu na temperaturu mikrokline leđa.

U slučaju najvećeg opterećenja a nakon prestanka aktivnosti dolazi do velikog porasta temperature mikrokline na leđima.

Sa povećanjem opterećenja dolazi do pojačanog znojenja, pa je tako zabeleženo slično ponašanje pri svim brzinama kretanja sa tom razlikom da je znojenje na leđima dugotrajnije sa povećanjem brzine kretanja.

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja, karakteristike ovih pametnih majica mogu biti u sledećem:

- Pouzdana procena toplotnog stanja sportista;
- Prekomerno znojenje tokom naporne fizičke aktivnosti ne uzrokuje da se senzori odvoje (kao što je slučaj kod senzora *MSR 12* uređaja);
- Mogućnost uzorkovanja više podataka i podešavanje brzine uzorkovanja podataka;
- Mogućnost praćenja ubrzanja sportista u toku fizičke aktivnosti na osnovu kojih se kasnije mogu analizirati pokreti i kretanja tela u toku sportskih aktivnosti.

S obzirom da je pri visokim temperaturama okoline moguća pojava toplotnih opterećenja, pametna majica obaveštava o toplotnom stanju sportiste i ukoliko je to potrebno signalizira pomoćnom osoblju da je zdravlje sportiste ugroženo. Pomoćno osoblje prati toplotno stanje sportiste preko personalnog računara i program javlja kada je telesna temperatura dostigla kritičnu vrednost.

Buduća istraživanja biće usmerena na izradu pametne majice gde će ožičenje i pojedine komponente biti izvedene tehnikom štampe, što bi dodatno povećalo udobnost pri nošenju. Spoljašnji deo majice biće štampan tehnikom sublimacione štampe (logo kluba i sponzora, broj igrača, itd.) što će dodatno pomoći pri sakrivanju elektronskih komponenti. S obzirom da se želi postići prikupljanje većeg broja podataka biće ugrađeno više čipova koji bi to omogućili. Radiće se na ugradnji dodatnog akcelerometra koji će biti lociran na levom ramenu, prikupljanju i obradi većeg broja podataka ubrzanja, povezivanje pedometra kao i postavljanje algoritma kako bi se predvideli precizni obrasci kretanja sportista i na taj način poboljšale sportske performanse.

LITERATURA

- [1] Grujić,D. & Geršak,J. (2017). Examination of the relationships between subjective clothing comfort assessment and physiological parameters with wear trials. *Textile Research Journal*, 87(12) 1522-1537.
- [2] Kwon,J. & Choi,J. (2013). Clothing insulation and temperature, layer and mass of clothing under comfortable environmental conditions. *Journal of Physiological Anthropology*, 32(11) 1-8.
- [3] Cena,K. & Clark,J. (1978). Thermal insulation of animal coats and human clothing. *Physics in Medicine and Biology*, 23(4) 565-591.
- [4] Havenith,G. Heus,R. & Lotens,W. (1990). Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: changes due to posture, movement and wind. *Ergonomics*, 33(8)989-1005.
- [5] Bouskill,L., Havenith,G., Kuklane,K., Parsons,K. & Withey,R. (2002). Relationship between clothing ventilation and thermal insulation. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 63(3)262-268.
- [6] Gleeson.M. (1998). Temperature regulation during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 19 Suppl, S96-S99.
- [7] Kenefick,R., Cheuvront,S. N. & Sawka, M. N.(2007). Thermoregulatory function during the marathon. *Sports Medicine*, 37, 312–315,.
- [8] Maughan,R. (1999). Exercise in the heat: limitations to performance and the impact of fluid replacement strategies. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24(2) 149-151.
- [9] Howe,A.S. & Boden,B.P. (2007). Heat-related illness in athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(8) 1384-1395.
- [10] Nichols,A.W. (2014). Heat-related illness in sports and exercise. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 7, 355–365.
- [11] Tanda,G. (2016). Skin temperature measurements by infrared thermography during running exercise. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 71, 103-113.
- [12] Pasindu,L., Hughes-Riley,T., Oliveira,C., Morris,R. & Dias,T. (2018). Developing Novel Temperature Sensing Garments for Health Monitoring Applications. *Fibers*, 6(46).
- [13] Hughes-Riley,T., Jobling,P., Dias,T. & Faulkner,H.S. (2021). An investigation of temperature-sensing textiles for temperature monitoring during sub-maximal cycling trials. *Textile Research Journal*, 91(5-6) 624-645.

-
- [14] Sibinski,M., Jakubowska,M. & Sloma,M. (2010). Flexible Temperature Sensors on Fibers. *Sensors*, 10(9) 7934-7946.
- [15] Paiva,A., Ferreira,F., Catarino,A., Carvalho,M. & Carvalho,H. (2018). Design of smart garments for sports and rehabilitation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (AITAE 2018)*, Lesvos, Greece.
- [16] Jose,M., Oudebrouckx,G., Bormans,S., Veske,P., Thoelen,R. & Deferme,W. (2021). Monitoring Body Fluids in Textiles: Combining Impedance and Thermal Principles in a Printed, Wearable, and Washable Sensor. *ACS Sensors*, 6(3) 896-907.
- [17] Laudato,G., Giovanni,R., Scalabrino,S., Simeone,J., Picariello,F., Tudosa,L., De Vito,L., Boldi,F., Torchitti,P., Ceccarelli,R., Picariello,F., Torricelli,L., Lazich,A. & Oliveto, R. (2020). MIPHAS: Military Performances and Health Analysis System. *HEALTHINF*, 198-207.
- [18] Chowdhury,H., Alam,F., Mainwaring,D., Beneyto-Ferre,J. & Tate,M. (2012). Rapid prototyping of high performance sportswear. *Procedia Engineering*, 34, 38-43.
- [19] Chowdhury,P., Kartick,S.K. & Basak,S. (2014). Recent development in textile for sportswear application. *International Journal of engineering Research & Technology*, 3(5) 1905-1910.
- [20] Manshahia,M. & Das,A. (2014). High active sportswear – A critical review. *Indian Journal of Fibre & Textile*, 39(4) 441-449.
- [21] Power,E. (2018). 5 - Advanced knitting technologies for high-performance apparel. *High-Performance Apparel*, Woodhead Publishing, pp. 113-127.
- [22] Bartels,V.T. (2011). 15 - Improving comfort in sports and leisure wear. *Improving Comfort in Clothing*, Woodhead Publishing, pp. 385–411.
- [23] Uttam,U. (2013). Active Sportswear Fabrics. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR)*, 2(1) 34-40.
- [24] Development of performance fibres and fabrics (1998). *World Sports Activewear*, pp. 14-17.
- [25] Nelson Raj,A. & Yamunadevi,S. (2016). Application of textile fibres for technical and performance enhancements in sports. *International Journal of multidisciplinary Research and Developmen*, 3(12) 40-45.
- [26] Grishanov,S. (2011). Structure and properties of textile materials. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*, 28–63.
- [27] Karaca,E., Kahraman,N., Omeroglu,S. & Becerir,B. (2012). Effects of fiber cross sectional shape and weave pattern on thermal comfort properties of polyester woven fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 3(92) 67-72.

- [28] Društvo inženjera i tehničara tekstilaca DITT (1987). Tekstilni priručnik. Maribor, Slovenia: TEKSTILNI INSTITUT.
- [29] Vinčić, A. (2016). Vuna cijenjeni materijal – radionica održana na Tekstilno-tehnološkom fakultetu u Zagrebu. *Tekstil*, 65(11-12) 420-421.
- [30] ULTRA RUNNIG MAGAZINE. Mrino Wool: Running Apparel. Dostupno online <https://ultrarunning.com/featured/merino-wool-running-apparel-review/>. [Poslednji pristup 25.11.2022].
- [31] ISO 2076:2013. Textiles — Man-made fibres — Generic names.
- [32] Šajn Gorjanc, D., Geršak, J., Bukošek, V. & Nikolić, M. (2005). Utjecaj konstrukcije pređe s elastanom na relaksacijska svojstva tkanina. *Tekstil*, 54(10) 489-496.
- [33] Stojanović, S. & Geršak, J. (2019). Tekstilne strukture namijenjene za sportsku odjeću. *Tekstil*, 68 (4-6) 72-88.
- [34] Cheung, T.W. & Li, L. (2017). A review of hollow fibers in application-based learning: from textiles to medical. *Textile Research Journal*, 89(3) 237–253.
- [35] Kajiwara, K., Nori, R. & Okomoto, M. (2000). New fibers from Japan. *The Journal of the Textile Institute*, 91(3) 32-78.
- [36] Wada, O. (1992). Control of fiber form and yarn and fabric structure. *The Journal of the Textile Institute*, 83(3) 322–347.
- [37] Alay, S. & Yilmaz, D. (2010). An investigation of knitted fabric performances obtained from different natural and regenerated fibres. *Journal of Engineering Science and Design*, 2(1) 91-95.
- [38] Today's, ALL ABOUT SPORTS. Dostupno online: http://sportstextiles.toray/en/fieldsensor/fie_002.html. [Poslednji pristup 25.11.2022].
- [39] TORAY. GLOBAL. FIELDSENSOR. Dostupno online: https://www.toray.com/products/textiles/tex_0060.html. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [40] HEROCKS. TECHNOLOGY/FABRICS & TREATMENTS, Dostupno online: herockworkwear.com/en/technology/fabrics-treatments. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [41] Triactor. Dostupno online: <http://www.technica.net/NF/NF1/etriactor.htm>. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [42] iTextiles, Tactel. Dostupno online: <https://itextiles.com.pk/tactel-fiber/>. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [43] Tactel by Invista. Dostupno online: https://prezi.com/i0pddh_swncl/tactel-by-invista. [Poslednji pristup 24.11.2022].

- [44] Textile Today. Recent Advances in Textile Materials and Products. Dostupno online: <https://www.textiletoday.com.bd/recent-advances-in-textile-materials-andproducts-for-activewear-and-sportswear-2/>. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [45] MERYL® SATINÉ. Dostupno online: <http://www.nylstar.com/shops/yarns/256-merylsatine>. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [46] Tencel. Dostupno online: <https://www.tencel.com/active>. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [47] Peran, J. & Ercegović Ražić, S. (2014). Mikrovlakna - proizvodi visoke tehnologije. *Tekstil*, 63(3-4) 126-133.
- [48] Pal, S. (1993). Microfibre – Production, Properties & Application. *Textile ASI*, 24, 53-58.
- [49] Mukhopadhyay, M. (2002). Microfibers: An overview. *Indian journal of fibre & textile research*, 27, 307-314.
- [50] Zhang, X., Wang, X., Zhang, H., Niu, J.J. & Yin, R. (2003). Effect of phase change material content on properties of heat-storage and thermo-regulated fibres nonwoven. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 28, 265-269.
- [51] Iqbal, K., Khan, A., Sun, D., Ashraf, M., Rehman, A., Safdar, F., Basit, A. & Shahzad, H. (2019). Phase change materials, their synthesis and application in textiles—a review. *The Journal of the Textile Institute*, 110(4) 625-638.
- [52] Pause, B. (2002). Driving more comfortably with phase change materials. *Technical Textiles International*, 11(2) 24–27.
- [53] Cheng, W.-I., Liu, N. & Wu, W.-F. (2012). Studies on thermal properties and thermal control effectiveness of a new shape-stabilized phase change material with high thermal conductivity. *Applied Thermal Engineering*, 36, 345–352.
- [54] Mondal, S. (2008). Phase change materials for smart textiles – An overview. *Applied Thermal Engineering*, 28(11–12) 1536-1550.
- [55] Zhang, X., Wang, X., Tao, X. & Yick, K. (2005). Energy storage polymer/Micro PCMs blended chips and thermo-regulated fibers. *Journal of Materials Science*, 40, 3729–3734.
- [56] Choi, K., Cho, G., Kim, P. & Cho, C. (2004). Thermal Storage/Release and Mechanical Properties of Phase Change Materials on Polyester Fabrics. *Textile Research Journal*, 74(4) 292-296.
- [57] Colvin, D. (1990). Advances in heat and mass transfer in biotechnology. *ASME HTD*, p. 44:199.
- [58] Geršak, J. (2014). Physiological responses of human body as criterion for estimating the thermal characteristics of a clothing system. *Textile bioengineering and informatics symposium proceedings: TBIS, The 7th Textile bioengineering and*

Informatics Symposium in conjunction with the 5th Asian Protective Clothing Conference, Hong Kong.

- [59] Geršak, J. & Marčič, M. (2017). The Effect of Clothing on Thermoregulatory Responses of Human Body in a Hot Environment. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 10(1) 1-12.
- [60] Demiryürek, O. & Uysaltürk, D. (2013). Thermal comfort properties of Viloft/cotton and Viloft/polyester blended knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 83(16) 1740–1753.
- [61] CISION, 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-products300493298.html>. [Poslednji pristup 16.1.2022].
- [62] Celliant, Technology. *Dostupno online*: <https://celliant.com/>. [Poslednji pristup 16.1.2022].
- [63] Abd El-Hady, R. & Abd El-Baky, R. (2011). Enhancing the Functional Properties of Sportswear Fabric based Carbon Fiber. *Asian Journal of Textile*, 14-26.
- [64] Kanakraj, P. & Ramachabdran, R. (2015). Active Knit Fabrics – Functional Needs of Sportswear Applications. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 9(2).
- [65] Prahsarn, C., Barker, R. & Gupta, B. (2005). Moisture Vapor Transport Behavior of Polyester Knit Fabrics. *Textile Research Journal*, 75(4) 346-351.
- [66] Patil, U., Kane, C. & Ramesh, P. (2009). Walkability behavior of single knit structures, *The journal of Textile Institute*, 100(5).
- [67] McQuerry, M. & Hogans, K. (2018). Assessment of Ventilated Athletic Uniforms for Improved Thermal Comfort. *AATCC Journal of research*, 5, 1-8.
- [68] Denton, M.J. & Daniels, P.N. (2002). Textile Terms and Definitions. Manchester: Institute Textile and Definition Committee. pp. 270.
- [69] Kašiković, N., Vladić, G. & Novaković, D. (2016). Textile printing – past, present, future. *Glasnik hemičara, tehnologa i ekologa Republike Srpske*, 35-46.
- [70] Schlaeppli, F. (1977). Present and Future Developments in Transfer Printing. *Textile Research Journal*, 47(3) 203-209.
- [71] Chavan, R. & Langer, H. (1988). Sublimation Transfer Printing of Polyester/Cotton Blends. *Textile Research Journal*, 58(1) 51-56.

- [72] Guan,Y., Mao,Y.H., Zheng,Q.K., Zheng,G.H. & Tian.T.(2009). Transfer printing with disperse dyes on cotton fabric modified with an aqueous tolylene diisocyanate derivative. *Fibers and Polymers*, 10, 488–495.
- [73] Bemska,J. & Szkudlarek,J. (2013). Surface modification of cotton fabrics for sublimation printing. *Autex Research Journal*, 13(3) 67-70.
- [74] Chavan,R. & Langer,M. (1988). Use of Foam for Paper Printing and Pretreatment of Cotton and Polyester/Cotton Blends with Modified Crosslinking Agent for Sublimation Transfer Printing. *Indian journal of textile research*, 13,121-127.
- [75] EI-Kashouti,M., EI-Halwagy,A. & EI-Molla,M. (2000). Sublimation transfer printing of linen and polyester/linen fabrics. *Indian journal of Fibre & Textile Research*, 25, 147-151.
- [76] Chavan,R. & Nalankilli,G. (2008). Sublimation transfer printing of silk. *Journal of The Society of Dyers and Colourists*, 107, 370-372.
- [77] Chen,L., Zhang,G.-F., Wang,C.-X., Tian,A.-l. & Wang,C.-X. (2012). Surface modification of PET with MCT- β -CD and investigation on digital heat transfer printing. *Jornal of Functional Materials*, 43(12) 1610-1612.
- [78] Chavan.R., & Jain.A. (1989). Effect of thickener film structure on dye release during sublimation transfer printing of polyester. *Indian Journal of textile research*, 14, 39-44.
- [79] Abd-El Thalouth,J.I., Rekaby,M. & El-Halwagy,A.A. (2012). Discharge Printing on Heat Transfer Printed Cationised Linen Fabrics. *Research Journal of Textile and Apparel*, 16(1) 58-67.
- [80] Li,Q., Xing,T. & Chen,G. (2014). Novel transfer printing paper for silk printing with reactive dye. *Materials Research Innovations*, 18(sup2) 879-885.
- [81] Elsayad,H. & El-sherbiny,S. (2008). A Study into the Influence of paper coatings on paper properties and print quality of dye sublimation thermal prints. *Polymer-plastics Technology and Engineering*, 47(2) 122-136.
- [82] Gorondy,E.J. (1977). Analysis of the Dye Transfer Mechanism in Heat Transfer Printing. *Textile Research Journal*, 47(9) 604-615.
- [83] Ibrahim,N.A., El-Zairy,E.M., El-Zairy, M.R. & Khalil, H. M. (2010). Improving transfer printing and ultraviolet-blocking properties of polyester-based textiles using MCT- β -CD, chitosan and ethylenediamine. *Coloration Technology*, 126(6)330-336.
- [84] Li,Q., Chen,G., Xing,T. & Miao,S. (2018). Dry transfer printing of silk and cotton with reactive dyes and mixed polysaccharide thickeners. *Coloration Technology*, 134(3) 222–229.
- [85] Glombikova,V. & Komarkova,P. (2014). Study on the impact of dye – sublimation printing on the effectiveness of underwear. *Tekstilec*, 57(2) 133-138.

- [86] Legerská,J., Lizák,P., Drobný,M. & Uričová,S. (2012). Influence of various tones of colors on measuring porosity of knitted fabrics printed by sublimation. *University Review*, 6, 47-51.
- [87] Stojanović,S., Geršak,J., Trajkovic,D., & Cirkovic,N. (2021). Influence of sublimation transfer printing on alterations in the structural and physical properties of knitted fabrics. *Coloration Technology*, 137(2) 108-122.
- [88] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, „Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje,“. Dostupno online: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/40451>. [Poslednji prístup 28.10.2023.]
- [89] Mokrzycki,W. & Tatol,M. (2011). Color difference Delta E - A survey, *Machine Graphics and Vision*, 20(4) 383-411.
- [90] Kuehni Rolf,G. (2003). Color space and its divisions: color order from antiquity to the present, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- [91] Becerir,B. (2017). Color concept in textiles: a review. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 1(6) 240–244.
- [92] Becerir,B. & Iskender,M. (2003). Dyeing Properties of Some Disperse Dyes on Polyester Microfibre Fabrics. *Indian Journal Fibre & Textile Research*, 28(1) 100-107.
- [93] C.P. No.116. Industrial colour difference ewaluation. Commision Internationale de l'Éclairage.
- [94] COLOR TECHNOLOGY in the textile industry Second Edition (1999). American Association of Textile Chemists and Colorists.
- [95] Karlović,I., Doktorska disertacija: „Karakterizacija kolorimetrijskih i geometrijskih osobina oplemenjenih površina u štampi“, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2010.
- [96] Hassan,M., Qashqary,K., Hassan,A., Shady,E. & Alansary,M. (2012). Influence of sportswear fabric properties on the health and performance of athletes. *Fibers &Textiles in Eastern Europe*, 4(93) 82–88, 2012.
- [97] Park,S., Takura,K., & Sobajima,M. (2006). Effects of moisture absorption of clothing on pitching speed of amateur baseball players in hot environmental conditions. *Textile Research Journal*, 76(383) 383–387.
- [98] Spurkland,L., Bardal,L.M., Sætran,L. & Oggiano,L. (2015). Low aerodynamic drag suit for cycling. Design and testing. *Conference: International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support*.
- [99] Morita,H., Chowdhury,H., Alam,F., Subic,A., Samit,A.J., Jassim,J. & Bajaba,N.S. (2010). Contribution of swimsuits to swimmer's performance. *Procedia Engineering*, 2(2) 2505-2510.

- [100] NASA Spinoff - Space Age Swimsuit Reduces Drag, Breaks Records. Dostupno online: https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2008/ch_4.html. [Poslednji pristup 8.10.2018].
- [101] Speedo. Dostupno online: <https://www.speedo.com/on/demandware.store/Sites-spdeueur-Site/>. [Poslednji pristup 1.10.2020].
- [102] Li, Y., Keighley, J.H., Hampton, I.F.G. (1988). Physiological responses and psychological sensations in wearer trials with knitted sportswear. *Ergonomics*.
- [103] SCIENCE for SPORT. Compression garments, Dostupno online: <https://www.scienceforsport.com/compression-garments/#toggleid-1>. [Poslednji pristup 12.1.2020].
- [104] Engel, F., Stockinger, C., Wall, A. & Sperlich, B. (2016). Effects of Compression Garments on Performance and Recovery in Endurance Athletes. 33-61.
- [105] Nussera, N. & Sennera, V. (2010). High - Tech - Textiles in Competition Sports. *Procedia Engineering* 2, 2845–2850.
- [106] Pérez-Soriano, P., García-Roig, Á., Sanchis-Sanchis, R. & Aparicio, I. (2019). Influence of compression sportswear on recovery and performance: A systematic review. *Journal of industrial textiles*, 48(9)1505-1524.
- [107] ADIDAS NEWS STREAM. Dostupno online: <https://news.adidas.com/>. [Poslednji pristup 10.10.2018].
- [108] 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/> [Poslednji pristup 10.10.2018].
- [109] Van Parys, V. Development and Research of Smart Functional Clothing Textiles. Dostupno online: <http://www.golf.com/equipment/fashion-3-d-how-climacool-works>. [Poslednji pristup 10.8.2019].
- [110] GearJunkie. Magic Material? Magic Material? Clothing said to 'Cool Wearer with Sweat. Dostupno online: <https://gearjunkie.com/columbiasportswear-cooling-clothing>. [Poslednji pristup 24.11.2022].
- [111] NikePlus. WHAT IS NIKE DRIFIT?. Dostupno online: https://help-en-us.nike.com/app/answer/a_id/204. [Poslednji pristup 15.11.2018].
- [112] Vagott, J. & Parachuru, R. (2018). An overview of recent developments in the field of wearable smart textiles. *Journal of textile science & engineering*, 8(4).
- [113] Aydoğdu, G., Yeşilpınar, S. & Erdem, D. (2007). Evaluation of three-dimensional virtual perception of garments. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

- [114] Song,H.K. & Ashdown,S.P. (2015). Investigation of the validity of 3-D virtual fitting for pants. *Clothing and Textiles Research Journal*, 33, 314-330.
- [115] Bartol,K., Bojanić,D., Petković,T. & Pribanić,T. (2021). A Review of Body Measurement Using 3D Scanning. *IEEE access*, 9, 67281-67301.
- [116] Koepke,N., Zwahlen,M., Wells,J.C., Bender,N., Henneberg,M., Rühli,F.J., & Staub,K. (2017). Comparison of 3D laser-based photonic scans and manual anthropometric measurements of body size and shape in a validation study of 123 young Swiss men. *PeerJ*, 5, e2980.
- [117] Zhang,C., Pujades,S., Black,M.J. & Pons-Moll,G. (2017). Detailed, accurate, human shape estimation from clothed 3D scan sequences. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 5484-5493.
- [118] Pérez-Soriano.P., García-Roig.Á., Sanchis-Sanchis.R., Aparicio.I. (2019). Influence of compression sportswear on recovery and performance: A systematic review. *Journal of Industrial Textiles*, 48(9)1505-1524.
- [119] Mahnić,M., Petrak,S., Geršak,J. & Baheti,S. (2017). Analysis of dynamics and fit of diving suits. *17th World Textile Conference AUTEX 2017- Textiles - Shaping the Future*.
- [120] Chowdharhy,H., Alman,F., Mainwaring,D., Subic,A., Tate,M., Foster,D. & Beneneyto-Ferrw,J. (2009). Design and methodology for evaluating aerodynamic characteristics of sports textiles. *Sports Technology*, 2(3) 81-86.
- [121] Chowdharhy,A., Alman,A. & Subic.A, (2010). Aerodynamic performance evaluation of sports textile. *Procedia engineering*, 2(2) 2517-2522.
- [122] Jariyapunya,N., Musilova,B., Geršak,J. & Baheti,S. (2017). The influence of stretch fabric mechanical properties on clothing pressure. *Vlákna a Textile*, 22(2) 43-48.
- [123] Geršak,J. & Grujić,D. (2003). Vpliv oblačila na toplotno fiziološko udobje človeka pri različnih obremenitvah in klimatskih pogojih. *Tekstilec*, 46(7-8) 183-190.
- [124] Mecheels,J. (1992). Anforderungsprofile für Funktionsgerechte Bekleidung. *DWI Schriftenreihe des Deutschen Wollforschungsinstitutes an der TH Aachen*, Aachen, Germany.
- [125] Teyeme,Y., Malengier,B., Tesfaye,T., Ciesielska.I., Atiyah,M. & Van Langenhove,L. (2020). A review of contemporary techniques for measuring ergonomic wear comfort of protective and sport clothing. *Autex Research Journal*, 21, 1-13.
- [126] Holmér,I. (2004). Thermal manikin history and applications. *European Journal of Applied Physiology*, 92(6).
- [127] Shirreffs,S., Aragón-Vargas,L., Chamorro,M., Maughan,R., Serratosa,L. & Zachwieja,J. (2005). The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *International Journal of Sports Medicine*, 26(5) 90-95.

- [128] Senthilkumar,M., Sampath,B. & Ramachandran,T. (2013). Moisture management in an active sportswear: Techniques and Evaluation—A Review Article. *Journal of the Institution of Engineers (India)*, 93(2) 61-68.
- [129] Musaddaq,A., Boughattas,A., Wiener,J. & Havelka,A. (2017). Mechanism of liquid water transport in fabrics: A review. *Fibres and Textiles*, 4, 58-65.
- [130] Kissa,E. (1996). Wetting and wicking. *Textile Research Journal*, 66(10) 660-668.
- [131] Cazabat,A.M. & Cohen Stuart,M. (1986). Dynamics of wetting: Effects of surface roughness. *The Journal of Physical Chemistry*, 90(22) 5845-5849.
- [132] Sanders,E. & Zeronian,S. (1982). An analysis of the moisture-related properties of hydrolyzed polyester. *Journal of Applied Polymer Science*, 27(11) 4477-4491.
- [133] Gorji,M. & Bagherzadeh,R. (2016). Moisture management behaviors of high wicking fabrics composed of profiled fibres. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 41, 318-324.
- [134] Salopek Čubrić,I. & Skenderi,Z. (2013). Evaluating thermophysiological comfort using the principles of sensory analysis. *Collegium Antropologicum*, 37(1) 57–64.
- [135] Pahole,I., Valentan,B., Zavec Pavlinić,D., Ficko,M. & Balić,J. (2015). Initial study of immersion thermal manikin development and its manufacture from solid blocks. *Tehnički vjesnik*, 22(6) 1623-1631.
- [136] Qui,C. & Hu,Y. (2015). Design of outdoor sports monitoring function cycling jerseys. *European journal of Business and Social Sciences*, 4(2) 180-189.
- [137] Hassan,M., Qashqar,K., Hassan,H.A., Shady,E. & Alansary,M. (2012). Influence of sportswear fabric properties on the health and performance of athletes. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 4(93) 82-88.
- [138] Bringard,A., Perrey,S. & Belluye,N. (2006). Aerobic energy cost and sensation responses during submaximal running exercise - Positive effects of wearing compression tights. *International Journal of Sports Medicine*, 27(5) 373-378.
- [139] Wang,P., McLaren,J., Leong,K.F. & Ouches,P. (2013). A pilot study: Evaluations of compression garment performance via muscle activation tests. *Procedia Engineering*, 60(65) 361-366.
- [140] Holschuh,B.T., Obropta,E.W., Buechley,L. & Newman,D.J. (2012). Materials and Textile architecture analyses for mechanical counter-pressure space suits using active materials. *AIAA Space 2012 Conference & Exposition*.
- [141] Konarska,M., Sołtyński,K., Sudoł-Szopińska,I. & Chojnacka,A. (2007). Comparative evaluation of clothing thermal insulation measured in a thermal manikin and on volunteers. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 15(2) 73-79.

- [142] Lovell,D.I., Mason,D., Delphinus,E.M. & Mclellan,C.P. (2011). Do compression garments enhance the active recovery process after high-intensity running?. *The journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12) 3264- 3268.
- [143] Dorman,L.E. & Havenith,G. (2007). The effects of protective clothing and its properties on energy consumption during different activities: literature review. *European Journal of Applied Physiology*, 105, 63-470.
- [144] Liu,R. & Little,T.J. (2009). The 5Ps model to optimize compression athletic wear comfort in sports. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2(1) 41-52.
- [145] Wang,Y., Wu,D., Zhao,M. & Li,J. (2014). Evaluation on an ergonomic design of functional clothing for wheelchair users. *Aplied Ergonomics*, 45(3) 550-555.
- [146] Bassett,R.J., Postle,R. & Pan,N. (1999). Experimental methods for measuring fabric mechanical properties: A review and analysis. *Textile Research Journal*, 69(11) 866-875.
- [147] Bye,E. & LaBat,K. (2005). An analysis of apparel industry fit sessions. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 4(3) 1-5.
- [148] Harrison,D., Fan,Y., Larionov,E. & Pai,D.K. (2018). Fitting close-to-body garments with 3D soft body avatars VitalFit. *9th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies*, pp. 184-189.
- [149] Fecht,B.A. & Bennett,D. (1992). Robotic mannequin technology for enhanced product testing. *Performance of protective clothing*, Fourth Volume, ASTM International (West Conshohocken, PA) pp. 734-741.
- [150] Fan,J. & Chan,A. (2005). Prediction of girdle's pressure on human body from the pressure measurement on a dummy. *International Journal of Clothing Science And Technology*, 17(1) 6-12.
- [151] Mattmann,C. (2008). Body posture detection using strain sensitive clothing.
- [152] Sadeghi,R., Mosallanezhad,Z., Nodehi-Moghadam,A., Nourbakhsh,M.R., Biglarian,A. & Ezati,K. (2015). The reliability of bubble inclinometer and tape measure in determining lumbar spine range of motion in healthy individuals and patients. *Physical treatments*, 3, 137-144.
- [153] Bensaid,S., Osselin,J.F., Schacher,L. & Adolphe,D. (2006). The effect of pattern construction on the tactile feeling evaluated through sensory analysis. *The Journal of the Textile Institute*, 97(2) 137-145.
- [154] Pan,N., Yen,K., Zhao,S. & Yang,S.(1988). A New Approach to the Objective Evaluation of Fabric Handle from Mechanical Properties: Part I: Objective measure for total handle. *Textile Research Journal*, 58(8) 438-444.

- [155] Kim,J. & Slaten,B. (1999). Objective evaluation of fabric hand Part I: Relationships of fabric hand by the extraction method and related physical and surface properties. *Textile Research Journal*, 69(1) 59-67.
- [156] Bakar,B.A. (2004). Subjective and objective evaluation of fabric handle characteristics.
- [157] Bishop,D.P. (1996). Fabric: sensory and mechanical properties, The textile institute, Textile Progress.
- [158] Kawabata,S. (1980). The standardization and analysis of hand evaluation, The Hand Evaluation and Standardization Committee The Textile Machinery Society.
- [159] Stanton,J.H., Speijers,J., Naylor,G.R., Pieruzzini,S., Beilby,J., Barsden,E. & Clarke,A. (2014.). Skin comfort of base layer knitted garments. Part 1: Description and evaluation of wearer test protocol. *Textile Research Journal*, 84(13) 1385-1399.
- [160] Kayseri,G.Ö., Özdil,N. & Mengüç,G.S. (2012). Sensorial Comfort of Textile Materials. *Woven Fabrics*, 235-266.
- [161] Nikolić,G. (2015). Dolazi vrijeme inteligentne odjeće. *Polytechnic & design*, 2(3) 215-226.
- [162] Das,S.C., Paul,D., Hasan,M., Chowdhury,N. & Nizam,E.H. (2013). Smart Textiles-New possibilities in textile engineering. *International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering*, Rajshahi, Bangladesh.
- [163] Haghi,M., Thurow,K. & Stoll,R. (2017). Wearable devices in medical internet of things: Scientific research and commercially available devices. *Healthcare informatics research*, 23(1) 4-15.
- [164] Van Langenhove,L. & Hertleer,C. (2004). Smart clothing: A new life. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 16(1/2) 63-72.
- [165] Abiodun,K., Zaghari,B., Torah,R., Weddell,A., Khanbareh,H., Zois Michail,T., Vousden,M., Wagih,M., Tronco Jurado,U., Shi,J., Yong,S., Arumugam,S., Li,Y., Yang K., Savelli,G., White N. & Beeby,S. (2017). E-Textile technology review—from materials to application, *IEEE Access*.
- [166] Angelucci,A., Cavicchioli,M., Cintorrino,I.A., Lauricella,G., Rossi,C., Strati,S. Aliverti,A. (2021). Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques. *Sensors*, 21(3) 814.
- [167] McCann,J., Hurford,R. & Martin,A. (2005). A design process for the development of innovative smart clothing that addresses end-user needs from technical, functional, aesthetic and cultural view points, u *Ninth IEEE International Symposium on. Year: 2005*.
- [168] Gao,W., Emaminejad,S., Nyein,H.Y.Y., Challa,S., Chen,K., Peck,A., Fahad,H.M., Ota,H., Shiraki,H., Kiriya D., Lien,D.H., Brooks,G.A., Davis,R.W. & Javey,A. (2016).

- Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis. *Nature*, 529(7587) 509–514.
- [169] Jhajharia,S., Pal,S. & Verma,S. (2014). Wearable computing and its application. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(4) 5700-5704.
- [170] Suh,M., Katherine,C. & Cassill,N.L. (2010). Critical Review on smart clothing product development. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 6(4).
- [171] Sun,M., Burke,R.L., Baranowski,T., Fernstrom,D.J., Zhang,H., Chen,H.-C., Bai,Y., Li,Y., Li,C., Yue,Y., Li,Z., Nie,J., Sclabassi,R.J., Mao,Z.-H. & Jia,W. (2015). An exploratory study on a chest-worn computer for evaluation of diet, physical activity and lifestyle. *Journal of Healthcare Engineering*, 6(1) 1-22.
- [172] Ismar,E., Bahadir,S.K., Kalaoglu,F. & Koncar,V. (2020). Futuristic clothes: Electronic textiles and wearable technologies. *Global Challenges*, 4.
- [173] Li,L., Au,W.M., Li,Y., Wan,K.M., Chung,W.Y., Wong,K,S.(2009). A Novel Design Method for an Intelligent Clothing Based on Garment Design and Knitting Technology. *Textile Research Journal*, 79(18) 1670-1679.
- [174] Firšt Rogale,S., Rogale,D., Nikolić,G. & Dragčević,Z. (2014) Inteligentna odjeća, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu & TTF.
- [175] Li,R., Kling,S., Salata,M., Cupp,S., Sheehan,J. & Voos,J. (2016). Wearable performance devices in sports medicine. *Sports Health*, 8(1)74–78.
- [176] Andreoni,G., Standoli,C.E. & Perego,P. (2016). Defining Requirements and Related Methods for Designing Sensorized Garments. *Sensors* (Basel, Switzerland), 16(6) 769.
- [177] Ibrahim,D. (2006). Microcontroller based applied digital control, West Sussex, England: John Wiley & Sons.
- [178] Pires,M. PhD Thesis: „Impact of Internet of Everything Technologies in Sports—Football“. Informational Management School, Instituto Superior de Estatística e Gestao de Informacao, Universidade Nova de Lisboa, Lisbon, Portugal, 2017.
- [179] Aroganam,G., Manivannan,N. & Harrison,D. (2019). Review on Wearable Technology Sensors Used in Consumer Sport Applications. *Sensors*, 19, 1983.
- [180] Anzaldo,D. (2015). Wearable sports technology - Market landscape and compute SoC trends. *International SoC Design Conference (ISOCC)*, Gyungju, Korea.
- [181] Wundersitz,D.W., Josman,C., Gupta,R., Netto,K., Gatin,P.B. & Robertson,S. (2015). Classification of team sport activities using a single wearable tracking device. *Journal of Biomechanics*, 48(15) 3975-3981.

- [182] Lee,L., Kim,D., Ryoo,H.-Y. & Shin,B.-S. (2016). Sustainable wearables: Wearable technology for enhancing the quality of human life. *Sustainability*, 8(5) 466.
- [183] Rahman,A. (2018). Assignment on Temperature Sensors. Dostupno online: (PDF) Assignment on Temperature Sensors. (researchgate.net)
- [184] Huynh,T. (2015). Fundamentals of Thermal Sensors. *Thermal Sensors*, New York, Springer.
- [185] Ristić,S. (2011). Elektronske komponente - Predavanja, Elektronski fakultet Niš.
- [186] Minić,S., Vorkapić,M. & Popović,B. (2010). Značenje i primena inteligentnih senzora. *Mašinstvo*, 59(2) 5-11.
- [187] Dumcius,A., Augutis,V. & Gailius,D. (2011). The Approximation Aspects of Characteristics of Semiconductor Temperature Sensors. *Electronics and Electrical Engineering*, 112(6) 47-50.
- [188] The fundamentals of RTD temperature sensors. Dostupno online: <https://www.prelectronics.com/the-fundamentals-of-rtd-temperature-sensors/>. [Poslednji pristup 23.11.2022].
- [189] Zaimović-Uzunović,N. & Lemeš,S. (2022). Mjerna tehnika 1. Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici.
- [190] Mladen,P. (2003). Senzori Tečnosti i gasova, Srpsko Sarajevo: Zavod za udžbenike i naučna sredstva.
- [191] Rittersma,Z. (2002). Recent Achievements in Miniaturized Humidity Sensors—A Review of Transducer Techniques. *Sensor and Actuators A*, 96, 196-210.
- [192] Meraj,M. & Shimi,S. (2014). Capacitive Humidity Sensor—Design and Its Application in Measurement. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering (IJRMEE)*, 2(10) 39-41.
- [193] Rao,X., Zhao,L., Xu,L., Wang,Y., Liu,K., Wang,Y., Chen,G.Y., Liu,T. & Wang,Y. (2021). Review of Optical Humidity Sensors. *Sensors*, 21, 8049.
- [194] Lee,C.-Y. & Lee,G.-B. (2005). Humidity Sensors: A Review. *Sensor Letters*, 3(1) 1-14.
- [195] Buchhold,R., Nakladal,A. Gerlach.G. & Neumann.P. (1998). Design studies on piezoresistive humidity sensors, *Sensors and Actuators B-chemical*, 53,1-7.
- [196] Lombardi,A., Ferri,M., Gabriele,R., Grassi,M. & Malcovati,P. (2009). Wearable Wireless Accelerometer with Embedded Fall-Detection Logic for Multi-Sensor Ambient Assisted Living Applications. *Proceedings of the 8th IEEE Conference of Sensors*, Christchurch, New Zeland.

- [197] Neville,J., Wixted,A., Rowlands,D. & James,D. (2010). Accelerometers: An underutilized resource in sports monitoring. *2010 Sixth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*.
- [198] Jiao,J., Wu,H., Bie,R., Umek,A. & Kos,A. (2018). Multi-sensor golf swing classification using deep CNN. *Procedia Computer Science*, 129, 56-65.
- [199] Luinge,H.J. & Veltink, P.H. (2004). Inclination measurement of human movement using a 3-D accelerometer with autocalibration. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 12(1) 112-121.
- [200] Jang,J., Ankit,A., Kim,J., Jang,Y.J., Kim,H.Y., Kim,J.H. & Xiong,S. (2018). A unified deep-learning model for classifying the cross-country skiing techniques using wearable gyroscope sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(11) 3819.
- [201] Gandy,A.E., Bondi,A., Hogg,R. & Pigott,T.M.C. (2014). A preliminary investigation of the use of inertial sensing technology for the measurement of hip rotation asymmetry in horse riders. *Sports Technology*, 7(1-2) 79–88.
- [202] Zrenner,M., Gradl,S., Jensen,U., Ullrich,M. & Eskofier,B.M. (2018). Comparison of different algorithms for calculating velocity and stride length in running using inertial measurement units. *Sensors*, 18(12).
- [203] Ferraro,V. (2015). Smart textiles and wearable technologies for sportswear: A design approach. *2nd International Electronic Conference on Sensors and Applications*.
- [204] Coutinho,D., Gonçalves,B., Figueira,E.B., Abade,E.A., Marcelino,R. & Sampaio,J. (2014). Typical weekly workload of under 15, under 17, and under 19 elite Portuguese football players, *IDESD 2014 International Congress of Exercise and Sports Performance*.
- [205] Gonçalves,B., Figueira,B., Maças,V. & Sampaio,J. (2014) „Effect of player position on movement behaviour, physical and physiological performances during an 11-a-side football game. *Journal of Sports Sciences*, 32, 191-199.
- [206] Ali,A.E., Jeoti,V. & Stojanović,G. (2021). Fabric based printed-distributed battery for wearable e-textiles: a review. *Science and Technology of Advanced Materials*, 22(1) 772–793.
- [207] Lee,K.B. (2006). Two-step activation of paper batteries for high power generation: design and fabrication of biofluid- and water-activated paper batteries. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 16(11) 2312.
- [208] Lee,K.B. (2005). Urine-activated paper batteries for biosystems. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 15(9).

- [209] He,J., Lu,C., Jiang,H., Han,F., Shi,X., Wu,J., Wang,L., Chen,T., Wang,J. Zhang,Y., Yang,H., Zhang,G., Sun,X., Wang,B., Chen,P., Wang Xia,Y., & Peng,H. (2021). Scalable production of high-performing woven lithium-ion fibre batteries. *Nature*, 597, 57–63.
- [210] NXP Semiconductors. UM10204_I2C-bus specification and user manual. Dostupno online: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf> [Poslednji pristup: 24.11.2022].
- [211] Circuit Basic. BASICS OF THE I2C COMMUNICATION PROTOCOL. Dostupno online: <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>. [Poslednji pristup: 24.11.2022].
- [212] Aoyagi,Y., Thomas,T.M. & Shephard,R.J. (1998). Effects of endurance training and heat acclimation on psychological strain in exercising men wearing protective clothing. *Ergonomics*, 41(3) 328-357.
- [213] Maron,M.B., Wagner,J.A. & Horvath,S.M. (1977). Thermoregulatory responses during competitive marathon running. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 42(6) 909-914.
- [214] Seo,Y., Dileo,T., Powell,J., Kim,J.H., Roberge,R.J. & Coca,A. (2016). Comparison of estimated core body temperature measured with the BioHarness and rectal temperature under several heat stress conditions. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13(8) 612-620.
- [215] Cleary,M.A., Toy,M.G. & Lopez,R.M. (2014). Thermoregulatory, Cardiovascular, and Perceptual responses to intermittent cooling during exercise in a hot, humid outdoor environment. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3) 792-806.
- [216] Bongers,C.C., Thijssen,D.H., Veltmeijer,M.T., Hopman,M.T. & Eijssvogels,T.M. (2015). Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 49(6), 377–384.
- [217] Zora,S., Balci,G.A., Çolakoğlu,M. & Tahsin,B. (2017). Associations between thermal and physiological responses of human body during exercise. *Sports*, 5(4).
- [218] Sim,J.K., Yoon,S. & Cho,Y.H. (2018). Wearable sweat rate sensors for human thermal comfort monitoring. *Scientific Reports*, 8(1181).
- [219] Klingenberg,T. & Schilling,M. (2012). Mobile wearable device for long term monitoring of vital signs. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 106(2) 89-96.
- [220] Chaglla,J.S., Celik,N. & Balachandran,W. (2018). Measurement of core body temperature using graphene-inked infrared thermopile sensor. *Sensor*, 18(10) 3315.
- [221] Sibiński,M., Jakubowska,M. & Sloma,M. (2010). Flexible temperature sensors on fibers. *Sensors*, 10(9)7934-7946.

- [222] Husain,M.D., Atalay,O. & Kennon,R. (2013). Effect of strain and humidity on the performance of temperature sensing fabric. *International Journal of Textile Science*, 2(4) 105-112.
- [223] Husain,M.D., Kennon,R. & Dias,T. (2014). Design and fabrication of temperature sensing fabric. *Journal of Industrial Textiles*, 44(3) 398-417.
- [224] Lage,J., Catarino,A., Carvalho,H. & Rocha,A. (2015). Smart shirt with embedded vital sign and moisture sensing, *SPWID 2015: The First International Conference on Smart Portable, Wearable, Implantable and Disability-oriented Devices and Systems*, pp. 25-30.
- [225] Francesco,F., PhD thesis: „Temperature monitoring system for the assessment of thermal comfort in sports and work clothes“, *Politecnico di Torino, Italy*, 2019/2020.
- [226] Jimenez,A.M., PhD thesis: „Physiological sensors“, *University of Louisville,Kentucky, USA*, 2012.
- [227] Buechley,L.A., PhD thesis: „An investigation of computational textiles with applications to education and design“, *Skidmore College, UK*, 2007.
- [228] Yang,C.-C., PhD thesis: „Cyber-physical system: real-time internet-based wireless structural health monitoring system“, *Southern Illinois University Carbondale, USA*, 2009.
- [229] Kang,T.-h., PhD thesis: „Textile-embedded sensors for wearable physiological monitoring systems“, *Faculty of North California State Univeresity, USA*, 2006.
- [230] Silva,A.S.M., PhD thesis: „Wearable sensors systems for human motion analysis sports and rehabilitation“, *Faculty of Engeneering of University of Porto, Portugal*, 2014.
- [231] Haj-Omar,A., PhD thesis: „Wireless flexible electronics for biomedical applications“. *Morgan State University, USA*.
- [232] Koziy, K.V., PhD thesis: „Wireless health monitor design“, *Faculty of the North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, USA*, 2012.
- [233] Liu,S., PhD thesis: „Wearable sensing and machine learning for assessing human physical activities“, *University of Connecticut, USA*, 2012.
- [234] ISO 139:2005. *Standard atmospheres for conditioning and testing*.
- [235] EN 14971:2006. *Knitted fabrics. Determination of number of stitches per unit of length and unit area*.
- [236] ISO 3801. *Woven fabrics — Determination of mass per unit length and mass per unit area*.
- [237] ISO 5084. *Determination of thickness of textiles and textile products*.

- [238] ISO 9237:1995. *Determination of the permeability of fabrics to air.*
- [239] Geršak, J. (2014). *Objektivno vrednovanje plošnih tekstilija i odeće*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet.
- [240] Republički hidrometeorološki zavod. Republika Srbija. Dostupno online: <http://www.hidmet.gov.rs/> [Poslednji pristup: 17.7.2020.]
- [241] MSR manual. Dostupno online: <https://www.msr.ch/media/pdf/MSR12-User-manual-EN.pdf>. [Poslednji pristup: 16.12.2022].
- [242] ISO 9886:2004. *Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements.*
- [243] ActiveBeat. Factors That Affect Your Pulse and Heart Rate. Dostupno online: Factors That Affect Your Pulse and Heart Rate - ActiveBeat - Your Daily Dose of Health Headlines [Poslednji pristup: 12.5.2023.]
- [244] Heart Attack and Stroke Symptoms. Dostupno online: <https://www.heart.org/en/healthy-living/fitness/fitness-basics/target-heart-rates>. [Poslednji pristup: 16.12.2022].
- [245] Optitex. Optitex help centar. Tension map., Dostupno online: https://help.optitex.com/Optitex_3D/Using_the_Tension_Map.htm. [Poslednji pristup: 16.12.2020].
- [246] Sutherland, D. (2001). The evolution of clinical gait analysis part I: kinesiological EMG, *Gait Posture*, 14(1)61-70.
- [247] Hachaj, T., Piekarczyk, M., & Ogiela, M.R. (2017). Human Actions Analysis: Templates Generation, Matching and Visualization Applied to Motion Capture of Highly-Skilled Karate Athletes. *Sensors*, 17(11).
- [248] Lowe, B.D. (2004). Accuracy and validity of observational estimates of shoulder and elbow posture. *Applied Ergonomic*, 35(2) 159-171.
- [249] Bregler, C. (2007). Motion Capture Technology for Entertainment [In the Spotlight]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 24(6)160-158.
- [250] Zong, Y. & Lee, Y.A. (2011). An exploratory study of integrative approach between 3D body scanning technology and motion capture systems in the apparel industry. *International Journal of Fashion Design*. 4(2) 91-101.
- [251] Nagymate, G. & Kiss, R.M. (2008). Application of OptiTrack motion capture systems in human movement analysis. *Recent Innovations in Mechatronics*, 5(1) 1-9.
- [252] Tutorial: Plug-In Gait Full-Body. Dostupno online: motion.com/v3dwiki/index.php/Tutorial:_Plug-In_Gait_Full-Body. [Poslednji pristup 10.11.2022].
- [253] Gleicher, M. & Ferrier, N. (2002). Evaluating video-based motion capture. *Proceedings of Computer Animation*, CA.

- [254] Boldt,R. & Carvalho,M. (2018). Virtual prototyping as an evaluation method for functional clothing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Istanbul, Turkey.
- [255] Sensirion. The sensor company. Datasheet SHT3x-ARP. Dostupno online: https://www.mouser.com/pdfdocs/SHT3x-ARP_Datasheet.pdf.
[Poslednji pristup 1.5.2023].
- [256] Watterott electronic. ATthin85. Dostupno online: <https://shop.watterott.com/Wattuino-Nanite-85-ATtiny85-with-USB-Bootloader.Bootloader>. [Poslednji pristup 1.5.2023].
- [257] FUJITSU. Data sheet: FRAM. Dostupno online: <https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/043/904/original/MB85RC256V-DS501-00017-3v0-E.pdf?1500009796>. [Poslednji pristup 1.5.2023].
- [258] NXP Semiconductors. Data sheet: MMA8451Q, 3-axis, 12-bit/8-bit digital accelerometer Dostupno online: MMA8452Q 3-axis, 12-bit/8-bit digital accelerometer (nxp.com) [Poslednji pristup:1.5.2023].
- [259] Grujić,D., Janjč,S., Celcar,D., Jokanović,D. & Jevšnik,S. (2004). Impact of fibre composition and sport t-shirt ventilation on thermal comfort. *Tekstilec*, 57(3) 220-230.
- [260] ISO 10551: 2019. Ergonomics of the physical environment – Subjective judgment scales for assessing physical environments.
- [261] Marins,J., Fernandes,A., Cano,S.P., Gomes Moreira,D., Silva,F., Amaral Costa,C.M., Fernández Cuevas,I. & Quintana,M. (2014). Thermal body patterns for healthy Brazilian adults (male and female). *Journal of Thermal Biology*, 42, 1-8.
- [262] Podpovitny,M., Schacher,C., Geršak,J. & Adolphe,D. (2011). Development of a new protective gown for dentist. *Tekstil*, 60(9)493-497.
- [263] Shin,J., Shin,D., Shin,D., Her,S., Kim,S. & Lee,M. (2010). Human movement detection algorithm using 3-axis accelerometer sensor based on low-power management scheme for mobile health care system. In Proceedings of the 5th international conference on Advances in Grid and Pervasive Computing (GPC'10).
- [264] Javed,A.R., Sarwar,M.U., Khan,S., Iwendi,C., Mittal,M. & Kumar,N. (2020). Analyzing the effectiveness and contribution of each axis of tri-axial accelerometer sensor for accurate activity recognition. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(8) 2216.

PRILOG

Protokoli testiranja

Protokol A

Testiranja toplotno-fizioloških svojstava sportske odeće u klima komori sastoje se iz dve faze:

Prva faza

Testna osoba simulira aktivnost fudbalske utakmice tj. šutira loptu 10 puta. Zatim sledi:

- Trčanje u roku od 5 minuta pri brzini od $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- Trčanje u roku od 5 minuta pri brzini od $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- Trčanje u roku od 5 minuta pri brzini od $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Nakon prve faze, testna osoba šutira loptu 10 puta. Zatim sledi odmor u toku od 5 minuta. U ovom periodu testna osoba ispunjava upitnik. Ukupno trajanje prve faze iznosi 20 minuta.

Druga faza

Testna osoba šutira loptu 10 puta. Zatim sledi:

- Trčanje u roku od 5 minuta pri brzini od $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- Trčanje u roku od 5 minuta pri brzini od $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- Trčanje u roku od 5 minuta pri brzini od $5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Ukupno trajanje druge faze iznosi 20 minuta. Nakon druge faze, testna osoba šutira loptu 10 puta. Na kraju testiranja testna osoba ispunjava upitnik.

Ukupno trajanje celokupnog procesa testiranja je 40 minuta.

Protokol B

Testiranja ergonomske udobnosti sportskih majica se sastoje od dva testa.

Prvi test

Prvi test traje 20 minuta. Testna osoba trči 10 minuta brzinom $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a zatim trči od još 10 minuta brzinom $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Nakon prvog testa sledi odmor 20 minuta i onda testna osoba oblači suhu majicu.

Drugi test

Drugi test traje 10 minuta. Testna osoba se kreće brzinom od $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Ukupno trajanje celokupnog procesa testiranja je 50 minuta.

Protokol C

Testiranje prvog prototipa pametne majice sastoji se iz sledećih aktivnosti:

- 5 minuta testna osoba miruje;
- 5 minuta kretanje brzinom $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 5 minuta kretanje brzinom $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 5 minuta testna osoba miruje;
- 5 minuta kretanje brzinom $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 5 minuta testna osoba miruje;
- 5 minuta kretanje brzinom $6,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 5 minuta kretanje brzinom $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 5 minuta kretanje brzinom $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 10 minuta testna osoba miruje.

Ukupno trajanje celokupnog procesa testiranja je 55 minuta.

Protokol D

Praćenje odaziva tela na različite temperaturne uslove korišćenjem prvog prototipa pametne majice sastoji se iz sledećih aktivnosti:

- 3 minuta kretanje brzinom $3,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 3 minuta kretanje brzinom $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 3 minuta kretanje brzinom $5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 1 minut kretanje brzinom $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Ukupno trajanje testiranja je 10 minuta.

Protokol E

Praćenje odaziva tela na različiti intenzitet fizičke aktivnosti korišćenjem prvog prototipa pametne majice vršeno je prema sledećim aktivnostima:

- 15 minuta testna osoba miruje;
- 15 minuta testna osoba se kreće određenom brzinom (prvi test = $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; drugi test = $6,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i treći test = $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) ;
- 30 minuta testna osoba miruje.

Ukupno trajanje testiranja je 60 minuta.

Protokol F

Testni protokol testiranja drugog prototipa pametne majice. Testna osoba sporvodi sledeće aktivnosti:

- 1 minut mirovanje;
- 0,5 minuta kruženje glavom;
- 0,5 minuta kruženje rukama napred;
- 0,5 minuta kruženje rukama nazad.

Ukupno trajanje testiranja je 2,5 minuta.

Upitnici i skale pri subjektivnom testiranju udobnosti

Tabela P-1. Određivanje subjektivne ocene toplotne udobnosti je izvedeno u skladu sa standardom ISO 10551:1995

Osećaj toplote – Kako ocenjujete Vaš trenutni osećaj toplote?		
Subjektivni osećaj	Ocena	Pisna ocena
Vruće	+4	Veoma vruće
	+3	Vruće
	+2	Toplo
	+1	Blago toplo
Neodređeno	0	Neutralno
Hladno	-1	Blago hladno
	-2	Hladno
	-3	Veoma hladno
	-4	Ekstremno hladno
Toplotna udobnost – Kako ocenjujete Vašu toplotu udobnost?		
Udobnost	0	Udobno
Neudobnost	1	Blago neudobno
	2	Neudobno
	3	Veoma neudobno
	4	Izuzetno neudobno
Željeno toplotno stanje. Kako biste želeli da promenite toplotnu okolinu?		
Toplije	+3	Dosta toplije
	+2	Toplije
	+1	Samo malo toplije
Neodređeno	0	Ni toplije ni hladnije
Hladnije	-1	Samo malo hladnije
	-2	Hladnije
	-3	Dosta hladnije
Ocena prihvatljivosti trenutnih toplotnih uslova?		
Prihvatljivo	0	Više prihvatljivo nego neprihvatljivo
Neprihvatljivo	1	Više neprihvatljivo nego prihvatljivo

Nastavak tabele P-1.

Ocena vaše lične tolerancije na toplotnu okolinu – kako podnosite vašu trenutnu toplotnu okolinu?		
0	Odlično podnosim	
1	Malo teže podnosim	
2	Teško podnosim	
3	Veoma teško podnosim	
4	Ne mogu podneti	
Stepen vlažnosti kože – koliko je vaša koža vlažna na određenim delovima tela?		
Suva	0	Suva
Vlažna	1	Blago vlažna
Mokra	2	Vlažna
	3	Mokra
	4	Veoma mokra
Deo tela		
1. Čelo		
2. Grudi		
3. Pazuh		
4. Lakat		
5. Dlan		
6. Butina		
7. Koleno		
8. Leđa		

Tabela P-2. Upitnik za vrednovanje ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti vršeno metodom subjektivnog ocenjivanja

Ergonomska udobnost			
Kako biste ocenili majicu koju nosite	Lagana / Kruta / Teška		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno	Osećam se opušteno / Steže me		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku	Prihvatljivo pokretna / Neprilagodljiva		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)	Lako se oblači / Postoji problem pri oblačenju		
Mehanička udobnost			
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična	Da / Ne		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna	Da / Ne		
Da li majica dobro stoji na telu	Da / Ne		
Kožno-senzorna udobnost - Osećaj koji majica ostavlja na koži			
Daje prijatan osećaj	Da / Ne		
Deluje hladno - neprijatni osećaj	Da / Ne		
Iritira kožu	Da / Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju			
Veoma udobno	5	Osećate vrućinu	Da / Ne
Udobno	4	Osećate toplotu	Da / Ne
Blago neudobno	3	Osećate vlagu u majici	Da / Ne
Neudobno	2	Osećate umor	Da / Ne
Steže me	1	Majica vas ometa pri kretanju	Da / Ne

Rezultati subjektivne ocene toplotno-fiziološke udobnosti

Tabela P-3. Subjektivna ocena toplotnog osećaja

Oznaka majice	Toplotni osećaj			Toplotna udobnost			Željeno toplotno stanje			Ocena prihvatljivosti trenutnih toplotnih uslova			Ocena vaše lične tolerancije na toplotnu okolinu		
	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta
03	-1	+2	+3	0	1	1	+1	+3	0	0	0	0	0	1	1
04	+1	+1	+1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
05	0	+2	0	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0
07	0	+1	+1	0	0	1	+1	-1	0	0	0	0	0	0	0
08	+1	+3	+3	0	1	1	+2	0	0	0	0	0	0	0	1
09	-2	+2	+3	0	2	2	+2	-1	-1	0	0	0	0	1	1
10	-1	+1	+3	0	1	1	+1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
11	+2	+2	+3	0	1	1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
12	+1	+3	+3	0	1	1	0	-1	-1	0	0	0	0	1	1
13	0	+2	+3	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0

Tabela P-4. Subjektivna ocena stepena vlažnosti kože

Oznaka majice	Čelo			Grudi			Pazuh			Lakat			Dlan			Butina			Koleno			Leđa		
	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta	I faza eksperimenta	Faza mirovanja	II faza eksperimenta
03	0	2	3	0	2	3	0	3	4	0	1	0	0	1	2	0	1	2	0	2	3	0	2	4
04	0	2	3	0	1	2	0	3	3	0	1	1	0	1	2	0	1	2	0	2	3	0	2	3
05	0	1	2	0	1	2	0	2	3	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	3	3	0	2	3
07	0	2	3	0	1	1	0	3	3	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	2	0	3	3
08	0	3	4	0	1	3	0	3	4	0	1	1	0	2	2	0	1	2	0	2	3	0	2	4
09	0	3	2	0	2	3	0	3	4	0	0	1	0	2	2	0	2	1	0	3	3	0	3	3
10	0	3	2	0	2	3	0	3	4	0	0	1	0	2	2	0	2	1	0	3	3	0	3	3
11	0	2	2	0	1	1	0	2	3	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	2	0	2	3
12	0	1	4	0	1	3	0	2	3	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	2	3	0	2	3
13	0	2	4	0	1	2	0	3	4	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	1	0	2	3

Rezultati subjektivnog ispitivanja ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i celokupne udobnosti pri nošenju analiziranih majica

Tabela P-5. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri nošenju referentne majice (Joot)

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Lagana		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Prihvatljivo pokretna		Prihvatljivo pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Lako se oblači		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Da		Da		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Da		Da		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Ne		Ne		
Iritira kožu		Ne		Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Ocena	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	5	4	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Ne	Ne

Tabela P-6. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri nošenju majice oznake 03

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Kruta		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Prihvatljivo pokretna		Prihvatljivo pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Postoji problem pri oblačenju		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Ne		Ne		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Da		Ne		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Ne		Da		
Iritira kožu		Ne		Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Oцена	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	3	4	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Ne	Ne

Tabela P-7. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri majice oznake 05

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Lagana		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Prihvatljivo pokretna		Prihvatljivo pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Lako se oblači		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Da		Da		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Da		Da		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Ne		Ne		
Iritira kožu		Ne		Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Ocena	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	4	5	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Ne	Ne

Tabela P-8. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri nošenju majice oznake 08

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Kruta		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Neprikladna		Prikladna pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Lako se oblači		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Da		Da		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Da		Ne		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Da		Da		
Iritira kožu		Ne		Da		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Ocena	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	3	3	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Da	Ne

Tabela P-9. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri nošenju majice oznake 09

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Lagana		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Prihvatljivo pokretna		Prihvatljivo pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Lako se oblači		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Da		Da		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Da		Da		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Da		Ne		
Iritira kožu		Ne		Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Ocena	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	4	4	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Ne	Ne

Tabela P-10. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri nošenju majice oznake 10

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Lagana		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Prihvatljivo pokretna		Prihvatljivo pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Lako se oblači		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Da		Da		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Da		Da		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Ne		Ne		
Iritira kožu		Ne		Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Ocena	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	5	4	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Ne	Ne

Tabela P-11. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri nošenju majice oznake 11

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Lagana		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Prihvatljivo pokretna		Prihvatljivo pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Lako se oblači		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Da		Da		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Ne		Ne		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Da		Ne		
Iritira kožu		Ne		Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Ocena	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	2	3	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Ne	Ne

Tabela P-12. Rezultati ergonomske, mehaničke, kožno-senzorne i ukupne udobnosti pri nošenju majice oznake 13

Ergonomska udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Kako biste ocenili majicu koju nosite		Lagana		Lagana		
Da li je majica udobna iz ugla kretanja - uopšteno		Osećam se opušteno		Osećam se opušteno		
Kako biste ocenili udobnost majice iz ugla kretanja ruku		Prihvatljivo pokretna		Prihvatljivo pokretna		
Da li je majica dovoljno prilagodljiva (elastična)		Lako se oblači		Lako se oblači		
Mehanička udobnost						
Pitanje		I test		II test		
Da li smatrate da je majica dovoljno elastična		Da		Da		
Da li smatrate da je majica dovoljno fleksibilna		Da		Da		
Da li majica dobro stoji na telu		Da		Da		
Kožno-senzorna udobnost						
Pitanje - Osećaj koji majica ostavlja na koži?		I test		II test		
Daje prijatan osećaj		Da		Da		
Deluje hladno - neprijatni osećaj		Da		Ne		
Iritira kožu		Ne		Ne		
Ocenite celokupnu udobnost pri nošenju						
Pitanje	Ocena	I test	II test	Pitanje	I test	II test
Veoma udobno	5	4	5	Osećate vrućinu	Da	Da
Udobno	4			Osećate toplotu	Ne	Ne
Blago neudobno	3			Osećate vlagu u majici	Da	Da
Neudobno	2			Osećate umor	Ne	Ne
Steže me	1			Majica vas ometa pri kretanju	Ne	Ne

Rezultati subjektivnog ispitivanja ergonomske, mehaničke, toplotne i ukupne udobnosti prototipova pametne majice

Tabela P-13. Rezultati udobnosti nošenja prvog prototipa pametne majice dobijeni subjektivnom procenom

Ocenjivanje ergonomske udobnosti							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Kako biste ocenili majicu koji nosite	lagana / kruta / teška	lagana	lagana	lagana	lagana	lagana	lagana
Da li je majica udobna pri kretanju - generalno	osećam se opušteno / skućeno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno
Kako biste ocenili udobnost u uslovima kretanja ruku	prikladno fleksibilna / nefleksibilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna
Da li je majica dovoljno elastična prilikom oblačenja	lako se oblači / teško se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači
Ocenjivanje mehaničke udobnosti							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Da li je majica dovoljno fleksibilna (prilagodljiva)	da / ne	da	da	da	da	da	da
Da li je majica elastična	da / ne	da	da	da	da	da	da
Da li majica dobro stoji na vašem telu	da / ne	da	da	da	da	da	da
Ocenjivanje toplotne udobnosti							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Da li osećate vrućinu	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Da li osećate toplotu	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Da li osećate vlagu u majici	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Da li se osećate umorno	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Da li vas odeća ometa pri kretanju	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Ocenjivanje sveobuhvatne udobnosti pri nošenju							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Veoma udobna	5	5	5	5	5	5	5
Udobna	4						
Blago neudobna	3						
Neudobna	2						
Veoma neudobna	1						

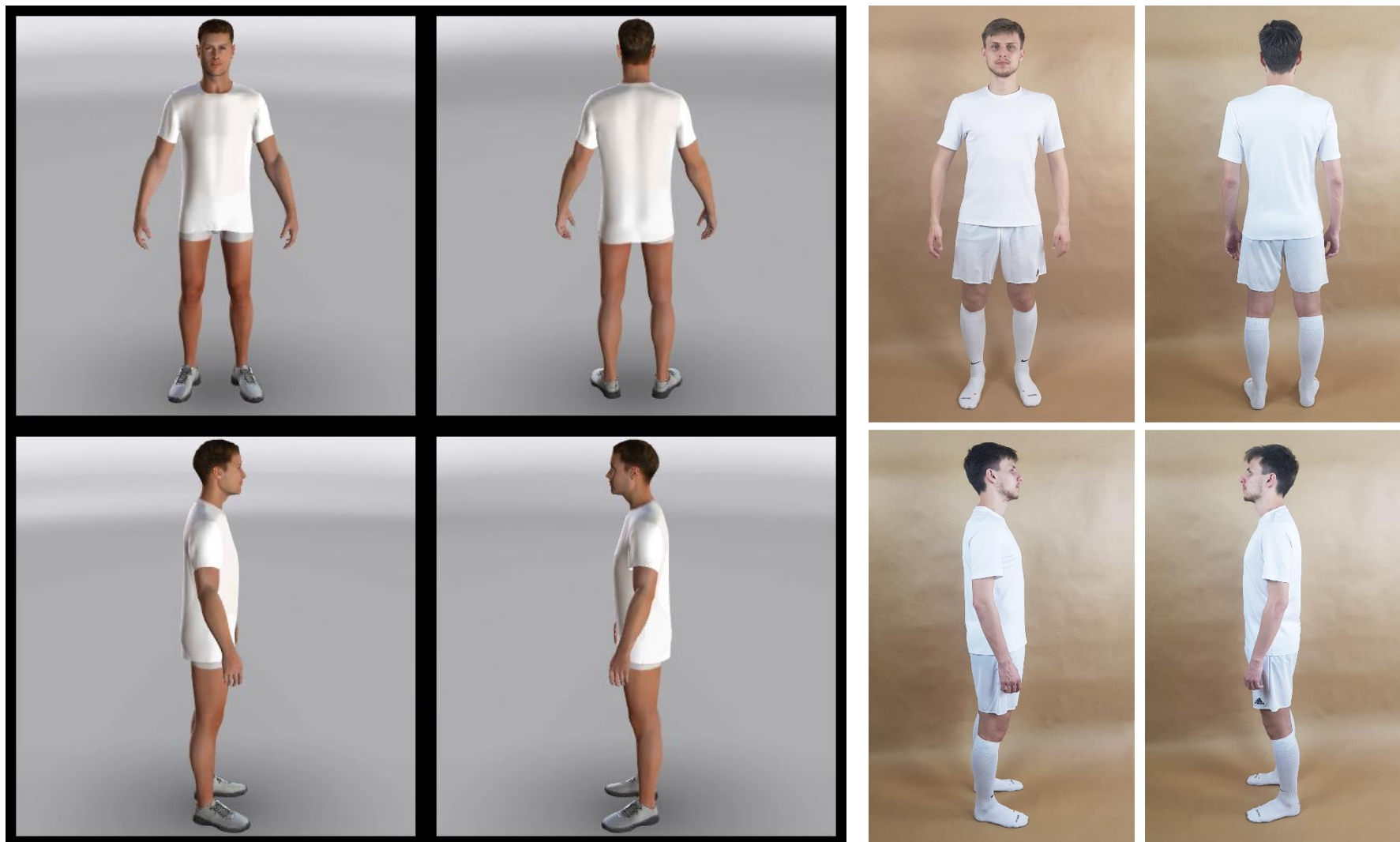
Tabela P-14. Rezultati udobnosti nošenja drugog prototipa pametne majice dobijeni subjektivnom procenom

Ocenjivanje ergonomske udobnosti							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Kako biste ocenili majicu koji nosite	lagana / kruta / teška	lagana	lagana	lagana	lagana	lagana	lagana
Da li je majica udobna pri kretanju - generalno	osećam se opušteno / skućeno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno	osećam se opušteno
Kako biste ocenili udobnost u uslovima kretanja ruku	prikladno fleksibilna / nefleksibilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna	prikladno flekisbilna
Da li je majica dovoljno elastična prilikom oblaćenja	lako se oblači / teško se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači	lako se oblači
Ocenjivanje mehaničke udobnosti							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Da li je majica dovoljno fleksibilna (prilagodljiva)	da / ne	da	da	da	da	da	da
Da li je majica elastična	da / ne	da	da	da	da	da	da
Da li majica dobro stoji na vašem telu	da / ne	da	da	da	da	da	da
Ocenjivanje toplotne udobnosti							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Da li osećate vrućinu	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Da li osećate toplotu	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Da li osećate vlagu u majici	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Da li se osećate umorno	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
a li vas odeća ometa pri kretanju	da / ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Ocenjivanje sveobuhvatne udobnosti pri nošenju							
Upitnik	Procena	Testna osoba 1	Testna osoba 2	Testna osoba 3	Testna osoba 4	Testna osoba 5	Testna osoba 6
Veoma udobna	5	5	4	5	5	5	5
Udobna	4						
Blago neudobna	3						
Neudobna	2						
Veoma neudobna	1						

Upoređivanje 3D simulacija majica sa realizovanim majicama za fudbalere



Slika P-1. Majica oznake 05: 3D animacija (levo) i realizovani model (desno)



Slika P-2. Majica oznake 07: 3D animacija (levo) i realizovani model (desno)



Slika P-3. Majica oznake 08: 3D animacija (levo) i realizovani model (desno)



Slika P-4. Majica oznake 09: 3D animacija (levo) i realizovani model (desno)

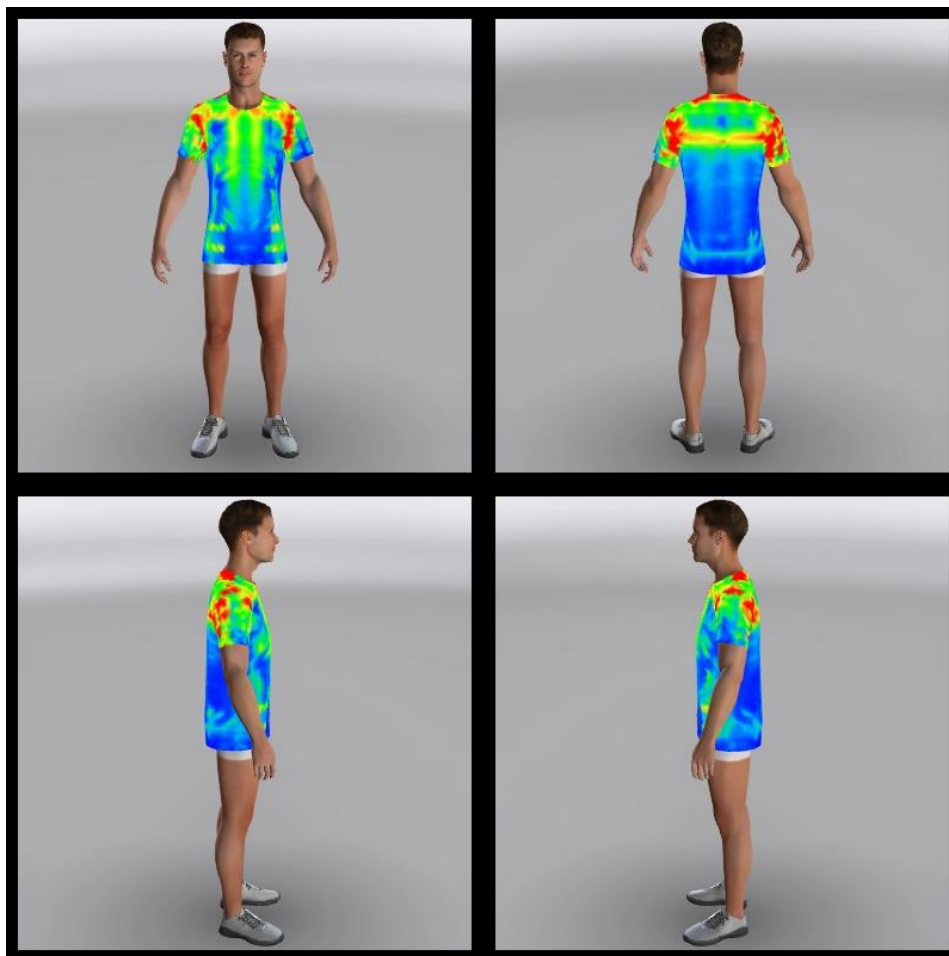


Slika P-5. Majica oznake 12: 3D animacija (levo) i realizovani model (desno)

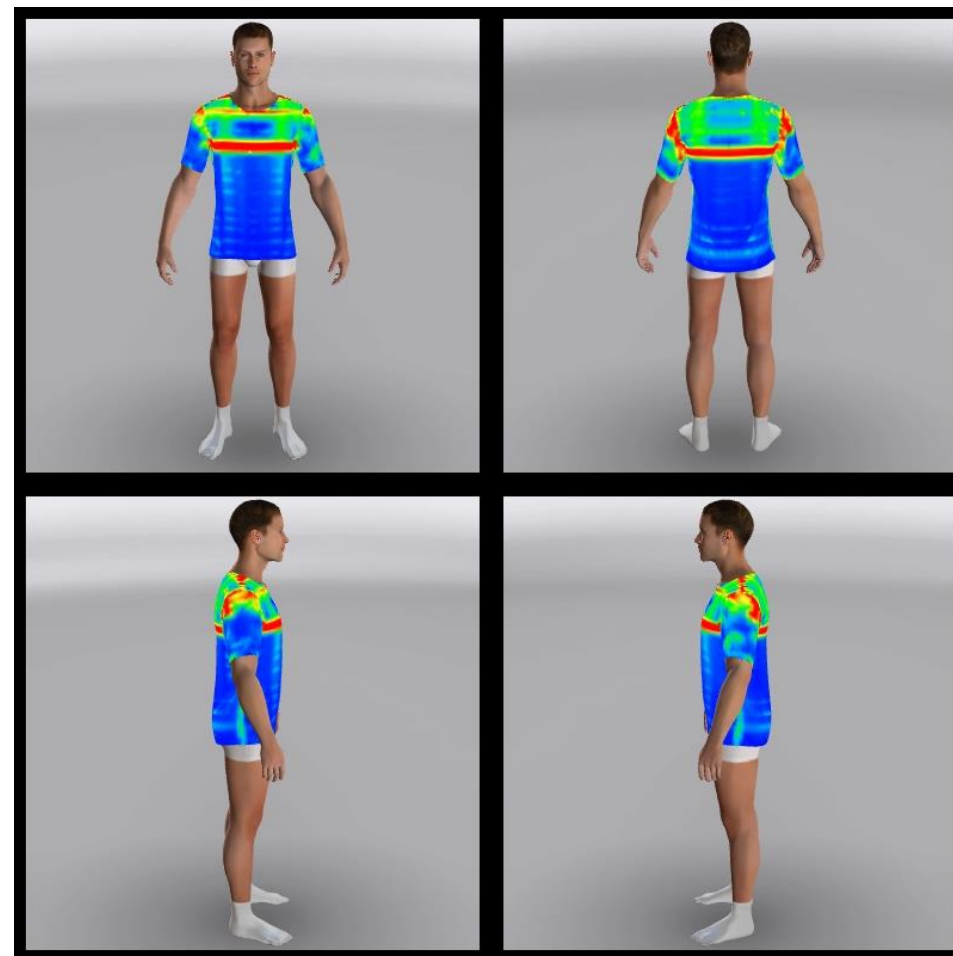


Slika P-6. Majica oznake 13: 3D animacija (levo) i realizovani model (desno)

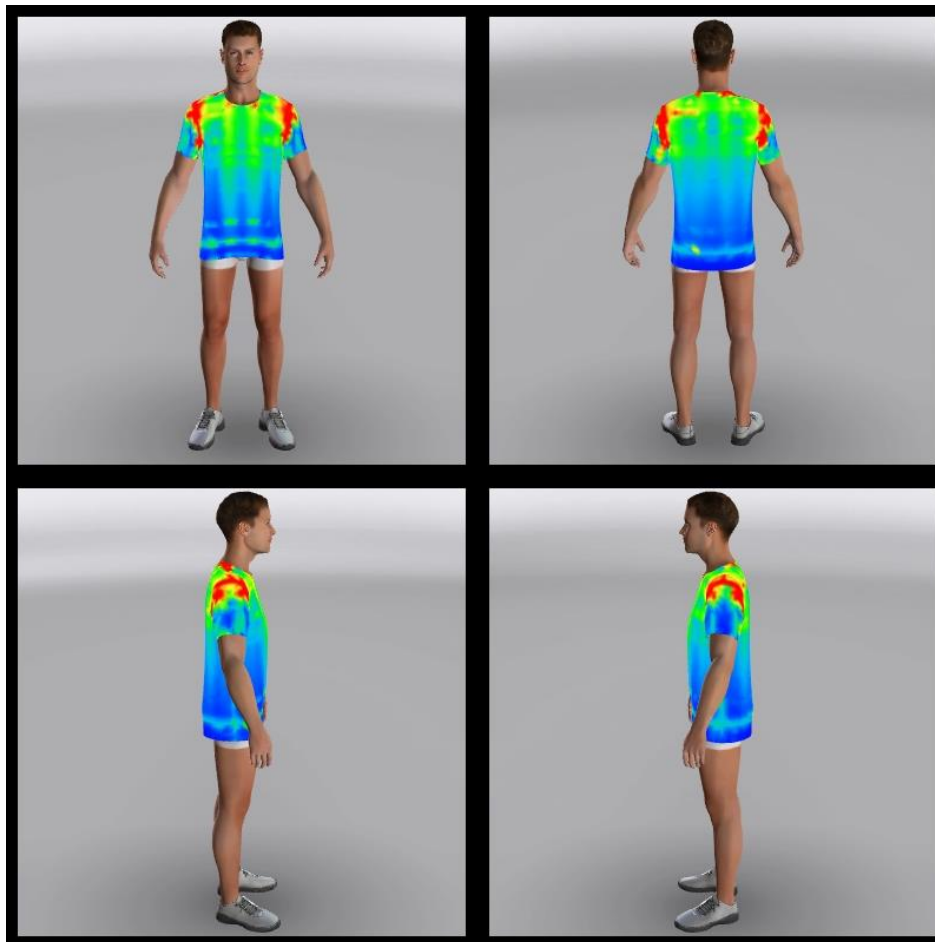
Tension map simuliranih fudbalerskih majica



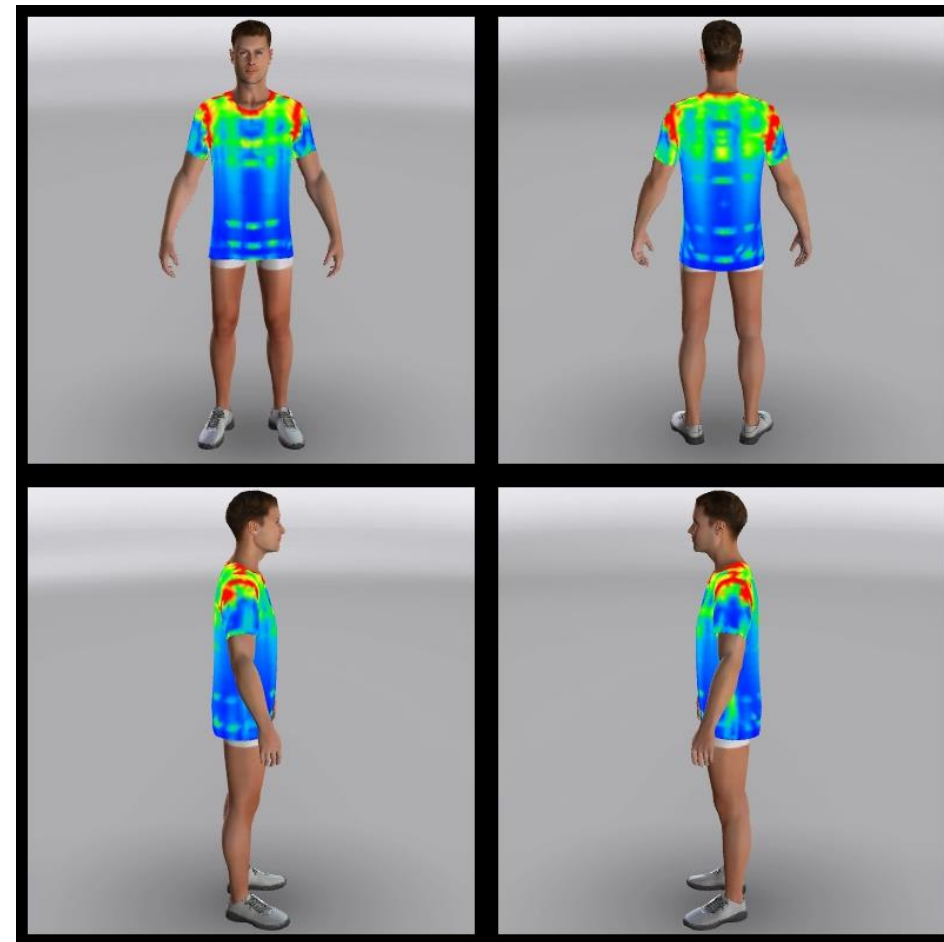
Slika P-7. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 02



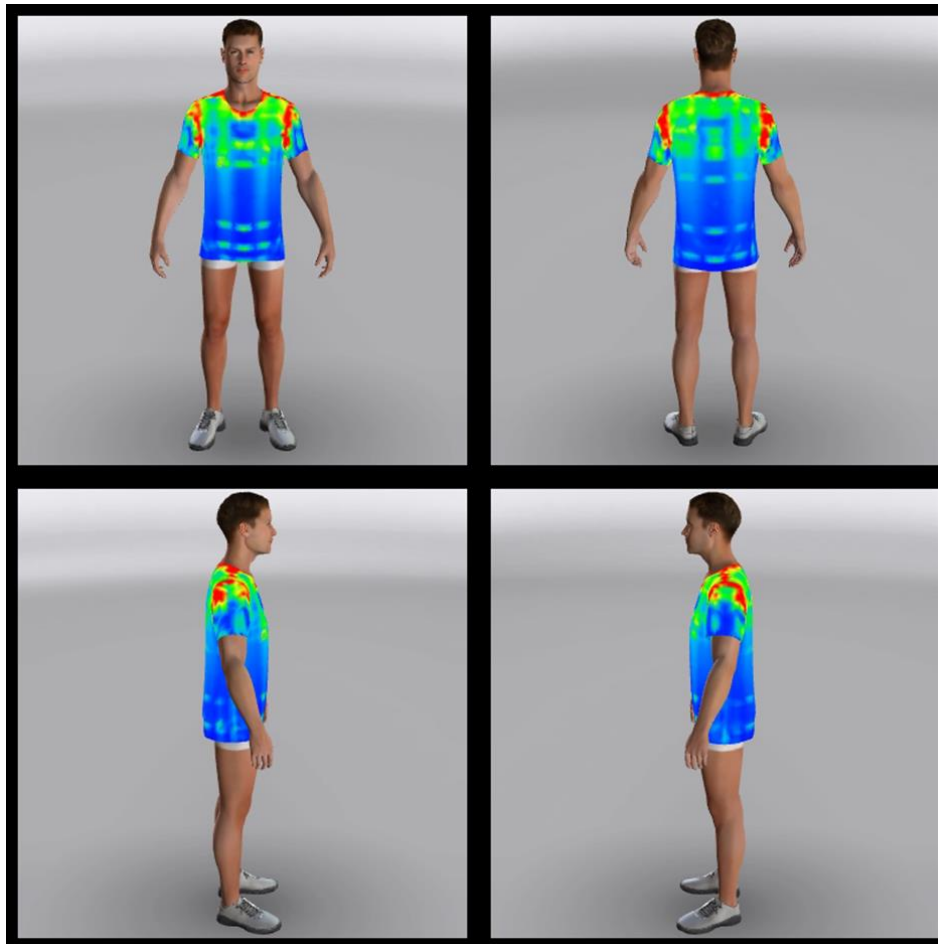
Slika P-8. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 03



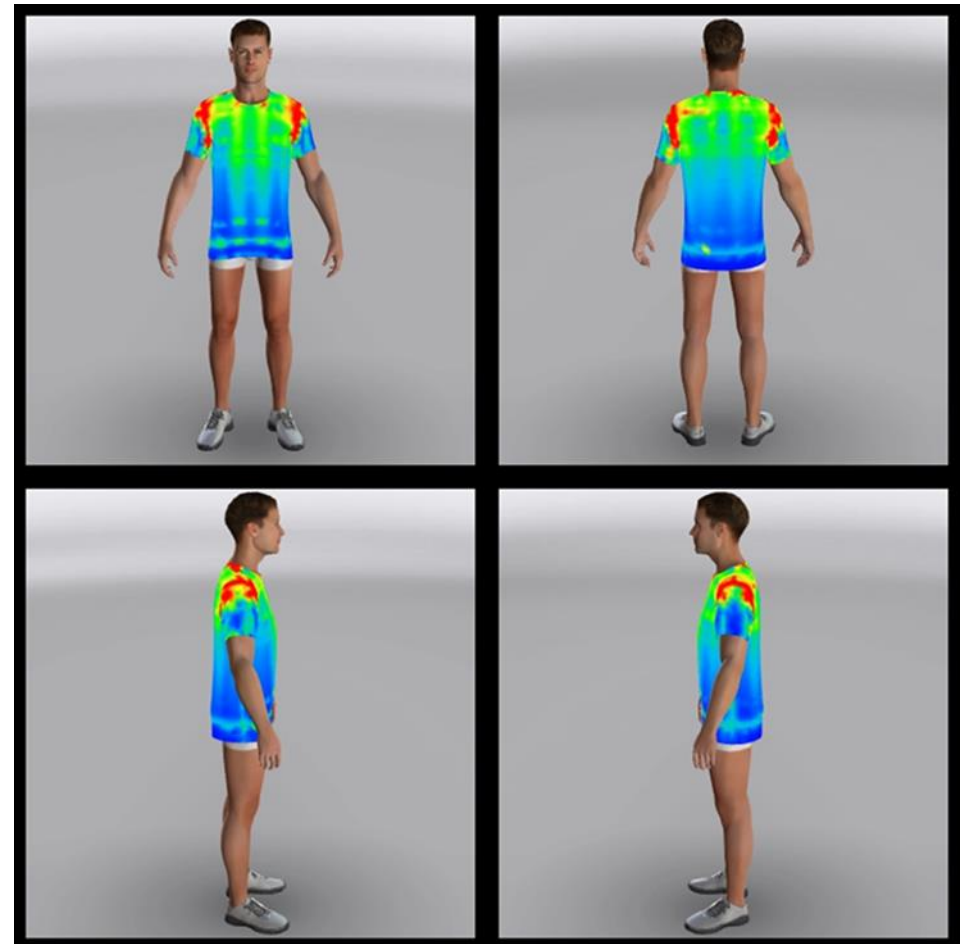
Slika P-9. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 04



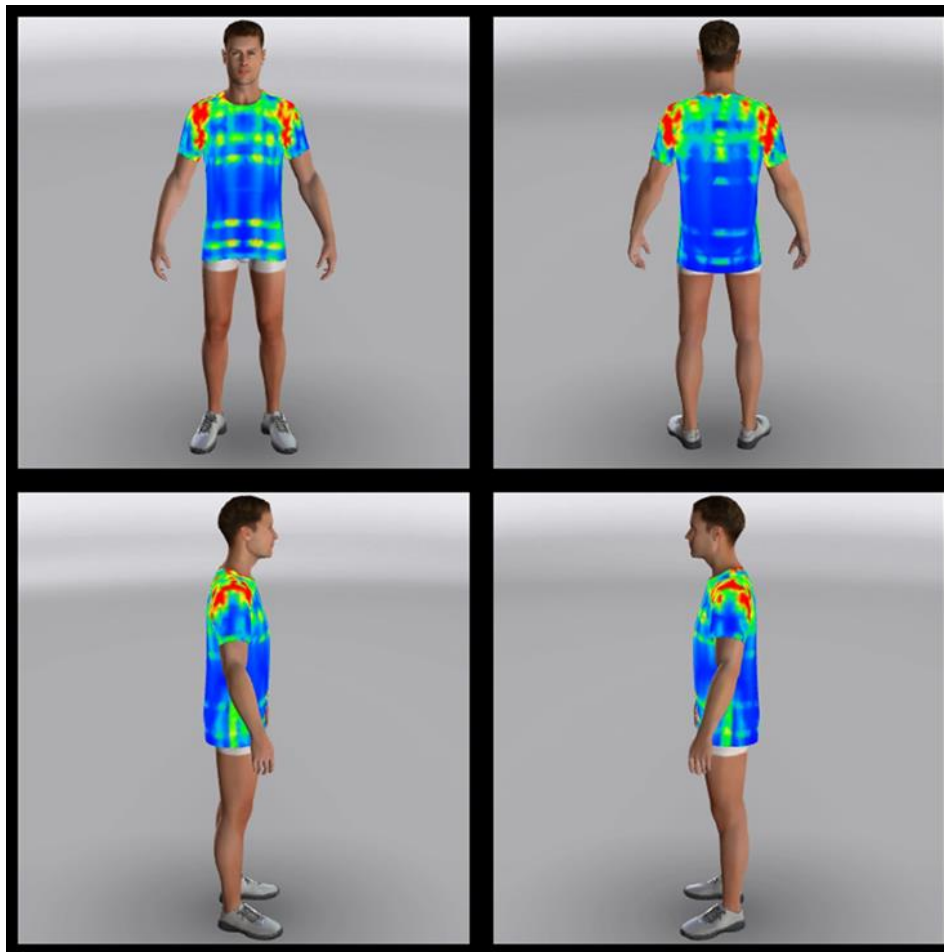
Slika P-10. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 05



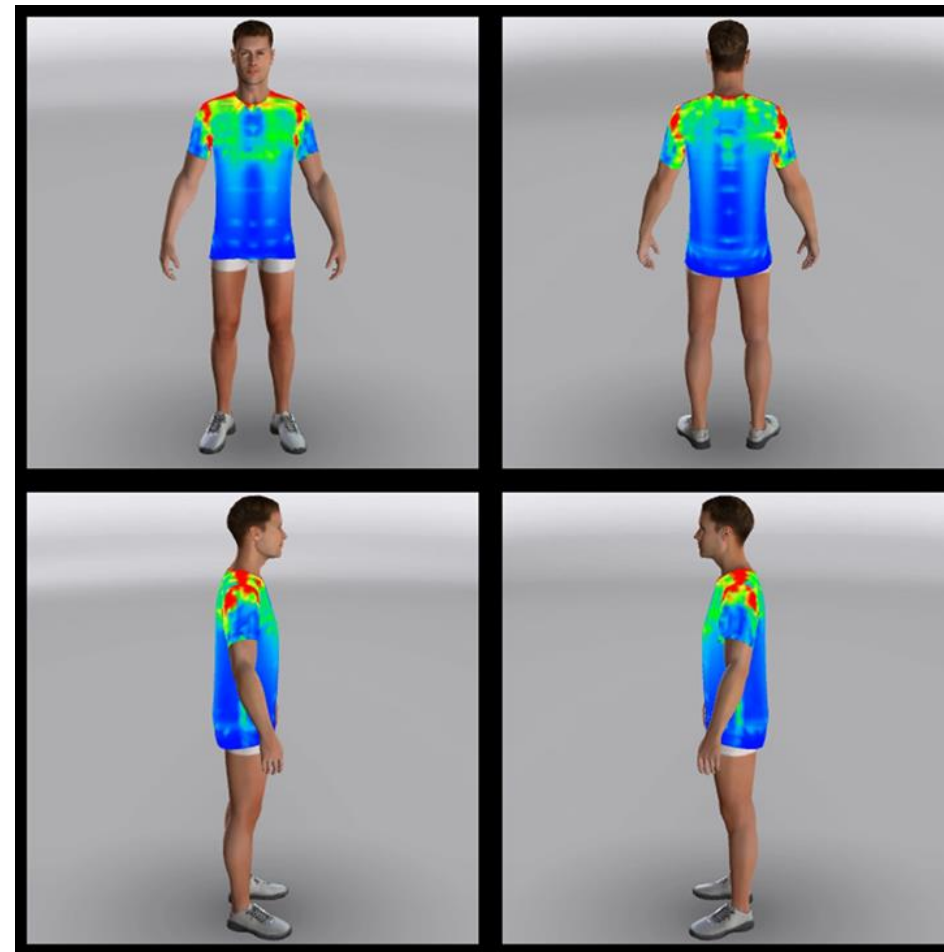
Slika P-11. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 06



Slika P-12. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 07



Slika P-13. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 08



Slika P-14. Tension Map simuliranog modela majice sa oznakom 13

Biografija autora

Sandra Stojanović je rođena u Nišu 22.07.1985. godine. Završila je srednju Umetničku školu u Nišu 2004. godine kao nosilac Vukove diolome. Osnovne studije na Fakultetu Umetnosti na Internacionalnom Univerzitetu u Novom Pazaru završila je 2010. godine sa prosečnom ocenom 9,15. Master akademske studije završila je na Tehnološkom fakultetu u Leskovcu, Univerziteta u Nišu na smeru industrijski dizajn tekstilnih proizvoda 2012. godine sa prosečnom ocenom 9,60. Master rad odbranila je sa ocenom 10,00. Upisala je doktorske studije na Tehnološkom fakultetu u Leskovcu Univerziteta u Nišu na smeru tehnološko inženjerstvo 2013. godine. Na doktorskim studijama je položila sve ispite sa prosečnom ocenom 9,90.

Od 2021. godine radi na Akademiji strukovnih studija Južna Srbija, Odseku za tekstilno tehnološke studije Leskovac kao asistent. Angažovana je na izvođenju vežbi (na osnovnim i master studijama) iz predmeta: Tehnologija netkanog tekstila, Procesi pređenja, Projektovanje i proizvodnja pletenina, Projektovanje i proizvodnja tkanina, Teorijske analize procesa pletenja, Pametni tekstil u modnom dizajnu i Specijalne tehnike tkanja.

Tokom perioda od 01.03.2018. do 31.08.2018., od 01.10.2018. do 31.12.2018. od 1.6.2019. do 31.8.2019. od 14.10.2019 do 14.12.2019. od 1.3.2020. do 30.6.2020. od 1.7. 2020. do 28.9.2020. i od 1.7.2021. do 31.8.2021. usavršava se na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Mariboru (*Fakulteta za strojništvo Univerza v Mariboru, Slovenia*), Slovenija u okviru CEEPUS-a (*Central European Exchange Program for University Studies*), Regionalnog centralnoevropskog programa mobilnosti za studente i nastavni kadar gde radi istraživanja iz oblasti mehaničkih, fizičkih i toplotnih svojstava pletenina, toplotno-fiziološke i ergonomske udobnosti sportske odeće i na razvoju pametne majice namenjene profesionalnim fudbalerima.

Godine 2018. radi ispitivanja iz oblasti ergonomske udobnosti odeće na *Moacap (Motion Capture Systems)* sistemu na Univerzitetu za tehnologiju i ekonomiju, Odseku za mehatroniku, optiku i informatiku (*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mechatronikai, Optikai és Informatika Tanszék*) u Budimpešti, Mađarskoj.

Tokom master i doktorskih studija bavi se istraživanjima iz oblasti tekstilne tehnologije. Autor je i koautor dva naučna rada koja su objavljena u istaknutim međunarodnim časopisima (M22), jednog naučnog rada objavljenog u međunarodnom časopisu (M23), dva naučna rada objavljena u nacionalnim časopisima međunarodnog značaja (M24), dva naučna rada objavljena u vrhunskim časopisima nacionalnog značaja (M51), tri naučna rada objavljena u

istaknutim nacionalnim časopisima (M52), dva saopštenja na skupovima međunarodnog značaja štampanih u celini (M33), tri saopštenja na skupovima međunarodnog značaja štampanih u izvodu (M34), tri saopštenja na skupovima nacionalnog značaja štampanih u celini (M63) i šest saopštenja na skupovima nacionalnog značaja štampanih u izvodu (M64).

Изјава 1.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

РАЗВОЈ ПАМЕТНЕ МАЈИЦЕ ЗА ПРОУЧАВАЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА ФУДБАЛЕРА КОД ФИЗИЧКИХ АКТИВНОСТИ

која је одбрањена на Технолошком факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивала на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредила ауторска права, нити злоупотребио интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 28.02.2024.

Потпис аутора дисертације:

Sandra Stojanovic'

Сандра Т. Стојановић

Изјава 2.

**ИЗЈАВА О ИСЛОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ ОБЛИКА ДОКТОРСКЕ
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Наслов дисертације:

**РАЗВОЈ ПАМЕТНЕ МАЈИЦЕ ЗА ПРОУЧАВАЊЕ ОПТЕРЕЂЕЊА ФУДБАЛЕРА
КОД ФИЗИЧКИХ АКТИВНОСТИ**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предала за уношење у
Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, истоветан штампаном облику.

У Нишу, 28.02.2024.

Потпис аутора дисертације:

Sandra Stojanovic

Сандра Т. Стојановић

Изјава 3.

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

РАЗВОЈ ПАМЕТНЕ МАЈИЦЕ ЗА ПРОУЧАВАЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА ФУДБАЛЕРА КОД ФИЗИЧКИХ АКТИВНОСТИ

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучила.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)

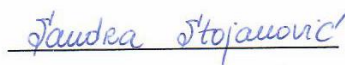
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

У Нишу, 28.02.2024.

Потпис аутора дисертације:



Сандра Т. Стојановић