

Dragana Grujić<sup>1</sup>, Svjetlana Janjić<sup>1</sup>, Damjana Celcar<sup>2</sup>, Danijela Jokanović<sup>1</sup> in Simona Jevšnik<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Banjaluki, Tehnološka fakulteta, V. Stepe Stepanovića 73, Banja Luka, Republika srbska, Bosna in Hercegovina

<sup>2</sup> Univerza na Primorskem, Fakulteta za dizajn, Prevale 10, Trzin

<sup>3</sup> Tehnična univerza v Carigradu, Fakulteta za tekstilno tehnologijo in dizajn, İnönü Caddesi, Carigrad, Turčija

## Vpliv surovinske sestave in ventilacije športnih majic na toplotno udobje

### *Impact of Fibre Composition and Sports T-Shirt Ventilation on Thermal Comfort*

Izvirni znanstveni članek/Original Scientific Article

Prispelo/Received 05-2014 • Sprejeto/Accepted 07-2014

#### Izvleček

Ljudje s povečanim izločanjem znoja si že pri nizkih telesnih obremenitvah v različnih okoljskih razmerah nenehno prizadevajo, da bi dosegli želeno toplotno udobje v oblačilu. Ker se ustrezno toplotno udobje pri nošenju oblačil lahko doseže le s pravilno izbiro tekstilij in z ustreznim krojem oblačila ter konstrukcijo krojnih delov, ki sestavljajo oblačilo, je v okviru tega prispevka raziskan vpliv surovinske sestave pletiv in dizajna moških športnih majic na toplotno fiziološko udobje oblačil pri nošenju z vidika toplotnih in sorpcijskih lastnosti. Pomembna parametra za definiranje toplotnega udobja sta količina izločenega znoja in količina v oblačilo absorbiranega znoja. Na količino izločenega znoja vplivajo vremenske razmere, telesna aktivnost osebe in njena nagnjenost k potenju, medtem ko na količino v oblačilo absorbiranega znoja poleg toplotnih in sorpcijskih lastnosti pletiv pomembno vpliva tudi odprtost oblačila. Odprtost oblačila omogoča ventilacijo, ki vpliva na učinkovitejšo izmenjavo toplote med telesom in okoljem. V ta namen so bili testirani naslednji parametri pletiv: koeficient toplotne prevodnosti ( $\lambda$ ), zračna prepustnost (Q), pretok vodne pare (WVP) in sposobnost zadrževanja vode (WRV). Vpliv kroja moških majic, izdelanih iz pletiv različne surovinske sestave, na ventilacijo in udobje, je bil testiran na podlagi količine izločenega znoja ( $E_{sw}$ ) med nošenjem kot fiziološki parameter osebe in količine v majico akumuliranega znoja ( $W_{sw}$ ) kot parametra sorpcijskih lastnosti pletenin. Pokazalo se je, da surovinska sestava pletiv in sam dizajn športne majice pomembno vplivata na količino v majico akumuliranega znoja in posledično na samo udobje pri nošenju.

Ključne besede: ventilacija oblačila, toplotno udobje, količina akumuliranega znoja, športna oblačila

#### Abstract

People with increased secretion of sweat constantly deal with the problem of sweating already at low physical strain in various environmental conditions and seek solutions to achieve the desired thermal comfort of garments. Appropriate thermal comfort when wearing clothes can be achieved only with a suitable choice of textiles, an appropriate clothing design and the construction of clothing cutting patterns constituting the garment. This research hence focuses on the influence of fibre composition of knitted clothes and the design of men's sports T-shirts on the thermal physiological comfort of clothes during the process of wearing in terms of thermal and sorption properties. Important parameters to determine thermal comfort are the amount of secreted sweat and the amount of sweat absorbed by clothes. The amount of secreted sweat is influenced by climatic conditions, physical activity of a person and their tendency to perspiration, whereas the amount of sweat absorbed by clothes is influenced by the thermal and sorption properties of knitted clothes, as well as by the openness of clothing. The latter enables

ventilation, resulting in a more efficient heat exchange between the body and environment. For the purpose of this research, we tested the following knitted clothes parameters: thermal conductivity ( $\lambda$ ), air permeability ( $Q$ ), water vapour permeability ( $WVP$ ) and the ability to retain water ( $WRV$ ). The influence of cuts of men's T-shirts made from knitted fabrics of various fibre composition on the ventilation and comfort was tested on the basis of the amount of secreted sweat ( $E_{sw}$ ) during the process of wearing as a physiological parameter of a person and the amount of sweat accumulated in the T-shirt ( $W_{sw}$ ) as the parameter of knitted clothes sorption properties. The results showed that the fibre composition of knitted clothes and the design of a sports T-shirt substantially influence the amount of sweat accumulated in the T-shirt and in consequence, the comfort during the process of wearing.

Keywords: sportswear, clothing ventilation, thermal comfort, sweat accumulation

## 1 Uvod

Udobnost pri nošenju oblačil je rezultat uravnotežene izmenjave toplote med telesom, oblačilom in okoljem. Udobnost pri nošenju je pomembna kvalitativna lastnost oblačila, ki je odvisna od toplotnih lastnosti tekstilij, klimatskih razmer v okolju, fizične aktivnosti posameznika, fizioloških in psiholoških lastnosti osebe [1]. Ustrezno udobje pri nošenju oblačil se lahko doseže s pravilno izbiro tehnološko in konstrukcijsko izdelanih tekstilij, ki so potrebne za posamezne sloje oblačila, ter z ustreznim dizajnom modela oblačila [2].

Z vidika toplotnega udobja je oblačilo termoregulacijska podpora človeškemu telesu. Če je temperatura v okolju nizka, mora oblačilo preprečiti preveliko sproščanje toplote, če pa je temperatura okolja visoka, je treba doseči, da je prehod toplote in vlage skozi oblačilo čim bolj uravnotežen, da se izognemo toplotnemu neudobju. Na prehod toplote in vlage skozi sloje oblačila vplivajo [3]:

- način prenosa toplote (konduktiven, konvekcijski in radialni) od telesa skozi sloje oblačila v okolje,
- toplota, shranjena med sloje oblačil,
- difuzija molekul vodne pare skozi pore tekstilije: ta postopek je poznan in v virih omenjen kot »dihanje oblačila« in je posledica prepustnosti vodne pare ali upora pretoku vodne pare skozi sloje oblačila,
- adsorpcija in migracija molekul vodne pare skozi površino vlaken, kot tudi prehod molekul vodne pare skozi kapilare med vlakni in prejo,
- absorpcija in desorpcija vodne pare in transport tekočine v notranjosti vlaken in
- izparevanje tekočine zaradi učinkovanja toplotne energije.

Pri nošenju oblačila človeško telo proizvaja toploto in vlago, ki se delno in začasno akumulira v prostoru

med kožo in tekstilijo in pri tem ustvarja mikroklimo, ki vpliva na občutek toplotnega udobja [4-8]. Mikroklimatske razmere se spreminjajo glede na učinkovanje okoljskih parametrov, kot so temperatura, hitrost gibanja in vlažnost zraka ter lastnosti oblačila, to so odprtost oblačila in toplotne lastnosti tekstilij, iz katerih je oblačilo izdelano [9-13].

Do neugodnega toplotnega udobja in s tem neprijetnih mikroklimatskih razmer, ki se zaznavajo kot posledica izločanja znoja za uravnavanje telesne temperature, prihaja predvsem v vročih okoljskih razmerah in/ali pri intenzivni telesni aktivnosti. Količina znoja, ki ga telo izloči, je odvisna tudi od telesne mase, starosti in višine osebe, stopnje in trajnosti fizične aktivnosti in nagnjenosti osebe k znojenju [4-6]. Prav tako je količina oddanega znoja v okolje s površine telesa odvisna od sorpcijskih lastnosti tekstilij in pokritosti telesa z oblačilom. Sorpcijske lastnosti tekstilij pa so odvisne od poroznosti tekstilije, ki jih definirajo konstrukcija preje in tekstilije ter njena surovinska sestava.

Udobnost oblačila med nošenjem je mogoče ovrednotiti s sposobnostjo tekstilije za prenos toplote in vlage s površine človeškega telesa v okolje, ventilacijo oblačila in subjektivnim ocenjevanjem toplotnega udobja. Sposobnost tekstilije za prenos toplote in vlage s površine človeškega telesa v okolico definirata merski veličini; toplotni upor oblačila ( $R_c$ ) in upor oblačila proti prehodu vodne pare ( $R_{e,t}$ ). To sta tudi edini veličini, na kateri lahko človek vpliva z izbiro vrste tekstilije (surovinska sestava in konstrukcija tekstilije) in modelom oblačila [14].

Obe veličini, s katerima se opiše toplotno-fiziološki vpliv oblačila na človeka, sta sestavljeni iz več komponent [1]:

- iz toplotnega upora ( $R_{c,t}$ ) in upora proti prehodu vodne pare ( $R_{e,t}$ ) posameznih slojev tekstilij, ki sestavljajo oblačilni sistem,

- iz toplotnega upora ( $R_{c,m}$ ) in upora proti prehodu vodne pare ( $R_{e,m}$ ) posameznih slojev zraka, ki so med sloji oblačil ter med oblačilom in telesom,
- iz toplotnega upora ( $R_{c,a}$ ) in upora proti prehodu vodne pare  $R_{e,a}$  sloja zraka, ki je na površini zunanjšega sloja oblačila.

Toplotni upor ( $R_{c,t}$ ) in upor prehoda vodne pare ( $R_{e,t}$ ) tekstilije sta vrednosti, ki sta odvisni od surovinske sestave vlaken, lastnosti preje, načina vezave in postopkov končne obdelave. Nadalje pa sta toplotni upor ( $R_{c,t}$ ) in upor prehoda vodne pare ( $R_{e,t}$ ) skozi vse sloje zraka, ki so ujeti v celotnem sistemu oblačila, ki ga ima človek na sebi, variabilni veličini. Odvisni sta od konstrukcijskih parametrov kroja, kot tudi od števila oblačilnih slojev in načina nošenja oblačila ter klimatskih razmer v okolju. Na toplotni upor ( $R_{c,t}$ ) in upor prehoda vodne pare ( $R_{e,t}$ ) zračnega sloja, ki je na površini zunanjšega sloja oblačila, najbolj vplivata hitrost gibanja človeka in hitrost gibanja zraka v okolju [15].

Naslednji dejavnik, ki ima pomembno vlogo pri ustvarjanju ugodnih mikroklimatskih razmer in s tem na udobje med nošenjem, je ventilacija oblačila. Pojem je vpeljal Crockford, ki velja za pionirja raziskovanj vplivnih dejavnikov na mikroklimatske razmere med oblačilom in človeškim telesom. Ventilacijo oblačila je pojmoval kot ključni dejavnik toplotnega udobja. Postavil je metodologijo merjenja in vrednotenja ventilacije oblačil na ljudeh, ki jo je pozneje modificiralo še več avtorjev (preglednica 1) [11–13,16].

V oblačilu se lahko ustvarja naravna ventilacija zaradi poroznosti tekstilije in okoljskih parametrov, predvsem gibanja zraka, in umetna ventilacija s pomočjo v oblačilo vgrajenih ventilatorjev. Zhao et al so razvili delovno oblačilo z vgrajenimi ventilatorji, kjer je mogoče ustvarjati umetne mikroklimatske

razmere v delu oblačila, kjer prihaja do največjega segrevanja in s tem večjega potenja. Intenziteto tako vstavljenih ventilatorjev v delovna oblačila si oseba lahko sama prilagaja [17]. Raziskave so tudi pokazale, da na lokalno ventilacijo oblačila od vseh dejavnikov najbolj vpliva gibanje zraka (veter), v manjši meri pa apretura tekstilije in pokritost telesa z oblačilom [14,18]. Toplotno udobje zaradi učinkovanja ventilacije oblačila se vrednoti na podlagi toplotnih izgub telesa, ki ne sme pasti pod mejo, ki ogroža zdravje. Študije tudi kažejo, da je za vzpostavitev ustrezne ventilacije s pomočjo oblačila pomembno določiti predele na telesu glede na stopnjo potenja [19]. Vrednotenje ventilacije oblačila je mogoče tudi s toplotno lutko, ki ima zaradi statičnosti le fizikalen pomen, saj niso upoštevani gibanje človeka, njegov metabolizem in spreminjanje položaja realnega človeka [16]. Ueda in Havenith sta v svojih raziskavah udobja pri nošenju delovnih oblačil ugotovila, da na povečanje ventilacije oblačila pomembno vplivata zračna prepustnost tekstilije in dizajn oblačila [15]. Največ študij je bilo narejenih v povezavi s proučevanjem koeficienta toplotnega prenosa skozi oblačilo v odvisnosti od spremembe telesne drže, intenzivnosti gibanja osebe in zraka (vetra) v okolju. Koeficient prenosa toplote izhlapevanja ali indeks prepustnosti je definiran z razmerjem Lewis [20]. Vendar je dokazano, da razmerje Lewis velja le v umirjenih vetrovnih razmerah [21].

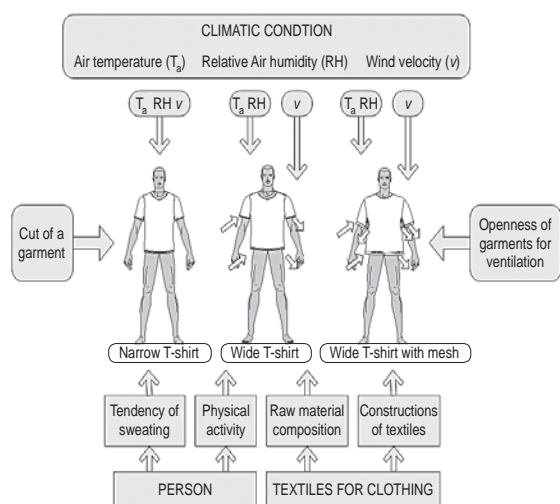
Postopek ocenjevanja, ki temelji na podlagi študije [22], za izračun ventilacije s pomočjo oblačila upošteva ventilacijo, ki je potrebna, da se ves proizvedeni znoj odstrani s površine kože na zunanjo stran oblačila. Tako se ohranja nizka vlažnost kože in doseže zeleno udobje.

Vpliv ventilacije na toplotno udobje med nošenjem oblačila je odvisen od številnih parametrov, slika 1.

Preglednica 1: Primerjava metod merjenja mikroklimatskih razmer [16]

Table 1: Comparison of methods for microclimate conditions measuring [16]

Authors	Crockford [9]	Reischl Dukes-Dobos [11]	Lotens Havenith [12]
Measurement	Air exchange rate and microclimate volume	Local ventilation: air exchange rate; air speed	Average total ventilation
Units of ventilation	l/min	l/min; m/s	l/m; m <sup>3</sup>
Allows calculation of vapour resistance	Yes	Yes	Yes
Complexity	More complex	Simple	More complex



Slika 1: Vpliv ventilacije na toplotno udobje med nošenjem majic

Figure 1: Effect of ventilation on thermal comfort while wearing T-shirts

Ljudje s povečanim izločanjem znoja si že pri nizkih telesnih obremenitvah v različnih okoljskih razmerah nenehno prizadevajo, da bi dosegli zeleno toplotno udobnost v oblačilu. Ugotovljeno je bilo, da pri raziskovanju vpliva ventilacije oblačila med nošenjem do zdaj še ni bilo zaslediti študij, ki bi povezovale dizajn oblačila in surovinsko sestavo kot pomembna

Preglednica 2: Osnovne lastnosti uporabljenih pletiv  
Table 2: Basic properties of used knitted fabrics

Code of fabrics	Knitting samples	Type of weaves	Raw material composition	Mas per unit weight (g/m <sup>2</sup> )	Density (cm <sup>-1</sup> )		Thickness (mm)
					Course	Wale	
KF-1		right – left	72.14% polyester, 24.04% cotton, 3.82% elastane	236.0	20	13	0.763
KF-2		right – left	73.06% cotton, 21.12% polyester, 5.82% elastane	260.0	20	16	0.927
KF-3		right – left	93.20% cotton, 6.80% elastane	180.0	22	17	0.447
KF-4		til	100% polyester	154.7	25	18	0.487

dejavnika za vplivanje mikroklimatskih razmer na toplotno udobje.

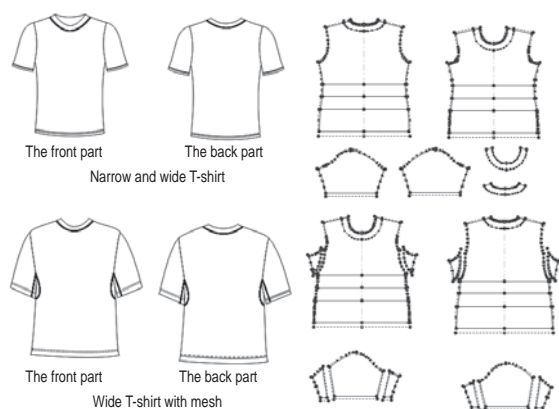
Ker se ustrezno toplotno udobje pri nošenju oblačil lahko doseže s pravilno izbiro tekstilij in z ustreznim dizajnom oblačila, ki sestavljajo oblačilo, je v okviru tega prispevka raziskan vpliv surovinske sestave pletenin kot najpogosteje uporabljene tekstilije za športna oblačila in dizajna majice na ventilacijo med nošenjem oblačila.

## 2 Metodologija

Raziskava je potekala v treh fazah; najprej so se vrednotile toplotne in sorpcijske lastnosti izbranih pletiv, temu sta sledila izdelava majic in testiranje toplotnega udobja osebe med nošenjem majic v realnih razmerah.

Za testiranje je bilo izdelanih osem moških športnih majic, ki so se razlikovale po vrsti uporabljenih pletiv (preglednica 2) in konstrukciji kroja (slika 2).

Za testiranje vpliva vrste dizajna oblačila na toplotno udobje zaradi učinka ventilacije sta bila iz vseh treh pletiv izdelana širok in ozek model moške športne majice, iz pletenin oznake KF-1 in KF-2 pa se je še dodatno izdelala majica v širokem modelu z všitim mrežnim vstavkom (KF-4) v pod pazduhi za večji učinek ventilacije, slika 2.



Slika 2: Tehnična skica in krojni deli moških športnih majic

Figure 2: Technical drawing and patterns of sports T-shirts for men

Osnovni kroji so bili izdelani z računalniškim programom Optitex PDS [23], dodatek za udobnost pri ozkih majicah je bil 2 cm, pri širokih pa 10 cm. Poglobitev vratnega izreza in rokavnega izreza je bila 4 cm in je bila za vse majice enaka. Osnovne telesne mere testne osebe in končne mere izdelanih testnih oblačil so podane v preglednici 3.

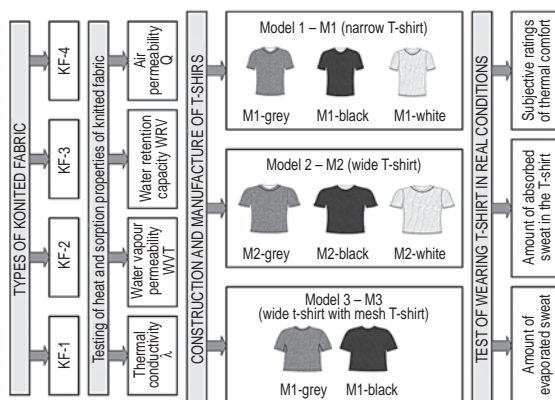
Preglednica 3: Osnovne telesne mere testne osebe in mere majic

Table 3: Basic body measurements and dimensions of T-shirts

Parameters	Body measurement (cm)	T-shirt	
		Narrow model (cm)	Wide model (cm)
Breast	114	116	124
Belt	107	107	115
Hips	115	115	123
Upper arm volume	33	33	37
Length of sleeves	–	28	28
Length of T-shirt	–	70	70

Model raziskave vpliva surovinske sestave in dizajna oblačila na toplotno udobje moških športnih majic je prikazan na sliki 3.

Za določitev toplotnih in sorpcijskih lastnosti pletenin so bile merjene naslednje lastnosti: toplotna prevodnost ( $\lambda$ ) po standardu ISO 5085-1:1989 [24], pretok vodne pare (WVP) po standardu BS



Slika 3: Načrt raziskave

Figure 3: Research model

2709:1990 [25], sposobnost zadrževanja vode (WRV) po standardu DIN 53184 [26] in prepustnost zraka (Q) po standardu DIN 53887 [27].

V raziskavo je bila vključena ena oseba, da bi ugotovili učinke in interakcije med surovinsko sestavo uporabljenih pletiv in dizajnom športnih majic na ventilacijo oblačila pri nošenju. Ker je bila količina izločenega znoja pomemben merjen parameter, na podlagi katerega se je ugotavljal učinek ventilacije oblačila, je bil za testno osebo izbran mlad moški, ki ima izrazito nagnjenost k potenju, star 37 let, s telesno težo 100 kg in telesno višino 188 cm. Testna oseba se je za vseh osem modelov med nošenjem gibala po ravnini 40 minut s hitrostjo 5 km/h, ki je po standardu vrednotena kot lažja obremenitev. Ker gre za osebo z izrazito nagnjenostjo k potenju, ni bilo potrebe po povečevanju obremenitvene aktivnosti. Skupni metabolizem testne osebe je bil izračunan po standardni metodi [28] in znaša 303,33 W/m<sup>2</sup>. Vsaka majica je bila testirana dvakrat. Testna oseba je med testiranjem nosila še hlače iz bombaža, športne bombažne nogavice in copate.

Klimatske razmere med izvajanjem poskusa, o katerih nam je podatke posredoval Hidrometeorološki zavod v Banjaluki v Republiki srbski (Bosna in Hercegovina), so bili: temperatura zraka 17,1–21,7 °C, relativna vlažnost zraka 63–82 % in hitrost vetra 0,5–1 m/s. Klimatski parametri, kot so temperatura, vlažnost, hitrost in gibanje zraka ter toplotno sevanje, so se nenehno spreminjali neodvisno drug od drugega, zato se je skupni učinek posameznih dejavnikov toplotnega okolja na testno osebo določil z efektivno temperaturo,  $T_{ef}$  po enačbi 1 [29]:

$$T_{ef} = 37 - \frac{1}{0,68 - 0,14 \frac{RH}{100} + \frac{1}{1,76 + 1,14 \cdot v^{0,75}}} (37 - T_a) - 0,29 \cdot T_a \cdot (1 - \frac{RH}{100}) \quad (1)$$

kjer je:

$T_{ef}$  – efektivna temperatura (°C),

$RH$  – relativna vlažnost zraka (%),

$v$  – hitrost gibanja zraka (m/s) in

$T_v$  – temperatura zraka (°C).

$m_{ez}$  – masa izparjenega znoja (g),

$m_{t1}$  – telesna masa gole osebe pred testiranjem (g),

$m_{t2}$  – telesna masa gole osebe po testiranju (g),

$m_{o1}$  – masa oblačil pred testiranjem (g) in

$m_{o2}$  – masa oblačil po testiranju (g).

Toplotno udobje med nošenjem testnih majic se je vrednotilo na podlagi mase izločenega znoja, kot fiziološki parameter osebe in mase v majico akumuliranega znoja, kot parameter sorpcijskih lastnosti pletenine in subjektivne ocene udobja.

Količina izločenega znoja se je določila na podlagi razlike mas testne osebe brez oblačil pred začetkom in po končani telesni aktivnosti, medtem ko se je količina v oblačilo absorbiranega znoja določila na podlagi tehtanja majice pred telesno aktivnostjo in po njej (ISO 10551) [30]. Količina izločenega in v majico akumuliranega znoja je bila izračunana na podlagi enačb 2–4:

$$E_{sw} = m_{t2} - m_{t1} \quad (2)$$

$$E_{sw} = m_{ez} + (m_{o2} - m_{o1}) \quad (3)$$

$$E_{sw} = m_{ez} + W_{sw} \quad (4)$$

kjer je:

$E_{sw}$  – masa izločenega znoja (g),

$W_{sw}$  – masa v majici akumuliranega znoja (g),

Na koncu vsake telesne aktivnosti se je ocenjeval še subjektivni občutek testne osebe toplotnega udobja pri nošenju vseh majic na podlagi vprašalnika in ustreznih lestvic, z modificirano metodo po standardu ISO 10551: 1995 [31], preglednica 4. Testna oseba je bila pred začetkom testiranja natančno seznanjena z izpolnjevanjem vprašalnika.

### 3 Rezultati z razpravo

Rezultati raziskave so razdeljeni v naslednje sklope:

- vrednotenje toplotnih in sorpcijske lastnosti uporabljenih pletiv,
- vpliv surovinske sestave in dizajna majice na količino izločenega in absorbiranega znoja in
- testiranje toplotnega udobja osebe pri nošenju majic v realnih razmerah.

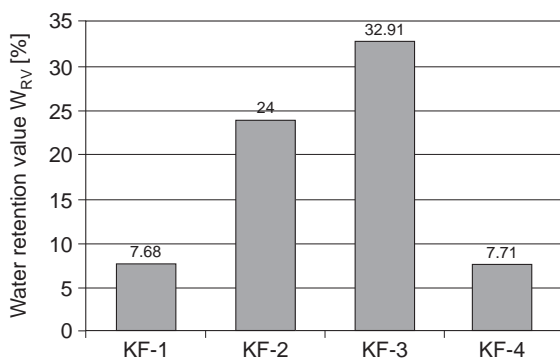
Preglednica 4: Vprašalnik za subjektivno ocenjevanje toplotnega udobja

Table 4: Questionnaire for the subjective assessment of thermal comfort

a) Thermal feeling Q: <i>How are you feeling now?</i> A: -4 (very cold) to +4 (very hot)
b) Thermal comfort Q: <i>How would you describe your current thermal comfort?</i> A: 0 (comfortable) to +4 (extremely uncomfortable)
c) Thermal preference scale Q: <i>Please state how you would prefer to feel now?</i> A: -3 (much cooler) to +3 (much warmer)
d) Personal acceptability of the current heat conditions Q: <i>How do you judge the local climate on a personal level?</i> A: 0 (acceptable rather than unacceptable) to 1 (unacceptable rather than acceptable)
E) Personal tolerance of the thermal environment Q: <i>How do you tolerate the current climatic conditions?</i> A: 0 (perfectly bearable) to 4 (unbearable)
F) Degree of the skin humidity Q: <i>How sweaty your skin is in the certain parts of the body?</i> A: 0 (dry) to 4 (very wet)

### 3.1 Vrednotenje toplotnih in sorpcijskih lastnosti pletiv

Rezultati merjenja parametrov toplotne prevodnosti, zračne prepustnosti in pretoka vodne pare so podani v preglednici 5, sposobnosti zadrževanja vode pa na sliki 4.



Slika 4: Sposobnost zadrževanja vode (WRV)

Figure 4: Water retention value (WRV)

Iz rezultatov testiranja toplotnih in sorpcijskih lastnosti pletiv, preglednica 5 in slika 4, vidimo, da ima pletivo KF-3 najnižjo vrednost zračne prepustnosti ( $Q$ ), koeficienta toplotne prevodnosti ( $\lambda$ ) in prepustnost vodne pare (WVP), najvišja vrednost pa je bila izmerjena za sposobnost zadrževanja vode (WRV). Pletivo KF-4 je bilo popolnoma zračno prepustno,

imelo je največjo toplotno prevodnost in prehod vodne pare, saj gre za konstrukcijo tila in smo ga tudi izbrali z namenom dodatne ventilacije majice. Prav tako je pletivo KF-4 imelo največji prehod vodne pare, zato je bilo ciljno všito v pod pazduhe majice, da se poveča učinek ventilacije. Najmanjši prehod vodne pare je imelo pletivo KF-3. Pletivi KF-1 in KF-2 imata podobne toplotne prevodnosti in prehode vodne pare. Sposobnost zadrževanja vode se povečuje z večanjem deleža bombaža v preji, zato ima pletivo KF-3 največjo sposobnost zadrževanja vode.

Linearna regresijska analiza [32] med toplotno prevodnostjo, prehodom vodne pare in sposobnostjo zadrževanja vode je pokazala, da na prehod vodne pare poleg surovinske sestave pletiva pomembno vplivata še parametra, kot sta koeficienta toplotne prevodnosti –  $\lambda$  in sposobnosti zadrževanja vode (WRV).

Enačba 5 predstavlja matematični model odvisnosti prepustnosti vodne pare (WVP) analiziranih pletiv od sposobnosti zadrževanja vode (WRV) in toplotne prevodnosti ( $\lambda$ ):

$$WVP = 164,54 - 7,89 WRV + 10627,77 \lambda \quad (5)$$

Izračunan korelacijski koeficient ( $R^2 = 0,81$ ) potrjuje povezanost toplotnih in sorpcijskih lastnosti pletiv.

Preglednica 5: Toplotna prevodnost ( $\lambda$ ), zračna prepustnost ( $Q$ ), in pretok vodne pare (WVP) uporabljanih pletiv

Table 5: Thermal conductivity ( $\lambda$ ), air permeability ( $Q$ ) and water vapour permeability (WVP) of knitted fabrics

Sample	Air permeability ( $Q$ ) [ $m^3 \min^{-1} m^{-2}$ ]	Coefficient of thermal conductivity ( $\lambda$ ) [ $W m^{-1} K^{-1}$ ]	Water vapour permeability (WVP) [ $g m^{-2} day^{-1}$ ]
KF-1	41.10	0.1337	1391.9
KF-2	17.40	0.1504	1348.4
KF-3	6.15	0.0968	1079.2
KF-4	completely permeable	0.1766	2193.4

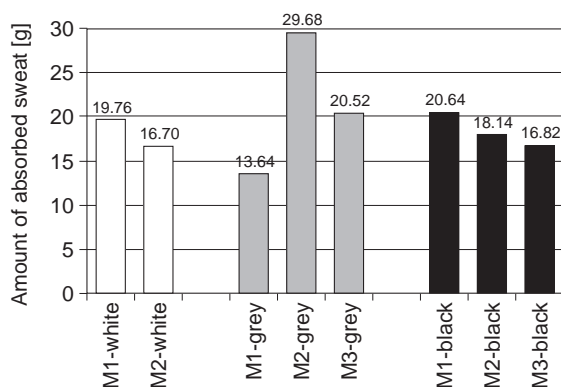
Preglednica 6: Koeficienti večfaktorske linearne regresije za matematični model analiziranih pletiv

Table 6: The coefficients of multiple linear regression for the mathematical model of analyzed knitted fabrics

Coefficient of multiple regression	$b_0 = 164.54$			$b_1 = -7.89$			$b_2 = 10627.77$		
	STD	t-value	p-value	STD	t-value	p-value	STD	t-value	p-value
$R^2$	1606.86	0.102	0.935	24.08	-0.328	0.798	9021.18	1.178	0.448

### 3.2 Vpliv surovinske sestave in konstrukcije kroja majice na količino izločenega in absorbiranega znoja

Pred telesno aktivnostjo in po njej se je testni osebi merila količina izločenega in v majico absorbiranega znoja. Rezultati testiranja količine absorbiranega znoja za vseh osem modelov športnih majic po končani telesni aktivnosti so prikazani na sliki 5.



Slika 5: Količina v majico absorbiranega znoja

Figure 5: The amount of absorbed sweat into T-shirt

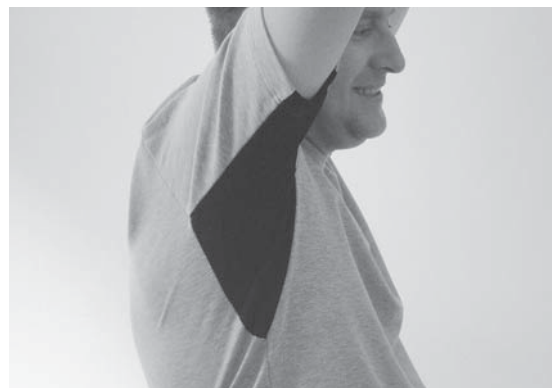
Majice, ki so bile izdelane z najvišjim odstotkom bombažnih vlaken, 93,2 % (KF-3), so imele pri širokem modelu (M2-white) nižje vrednosti absorbiranega znoja kot majice ozkega modela (M1-white), slika 6.



Slika 6: Ozek (levo) in širok (desno) model bele majice  
Figure 6: Narrow (left) and wide (right) model of white T-shirt

Do enakih ugotovitev pridemo pri majicah, izdelanih iz pletenine KF-2, ki imajo tudi večji delež bombaža, 73,06 %. Do nižjih vrednosti absorbiranega znoja pridemo tudi pri širokih modelih majic, ki imajo v pod pazduho všito mrežico za dodatno ventilacijo, ki je pripomogla k hitrejšemu izparevanju in s tem sušenju kože. Pri majicah iz pletenine KF-1

z večjim odstotkom poliestrskih vlaken (72,14 %) pa se pojavi pri primerjanju ozkega in širokega modela nasprotni učinek, ozki model ima manjšo sposobnost absorbiranja znoja kot široki. Rezultati znoja pokažejo, da všita mrežica pomembno poveča ventilacijo med telesom in oblačilom in se tako koža hitreje suši, posledica pa je nižja vrednost v majico absorbiranega znoja, slika 7. Tak učinek je še posebno pomemben pri povečanih telesnih aktivnostih.



Slika 7: Mrežica, všita v pod pazduho

Figure 7: Mesh sewn into the armpits

Na podlagi teh analiz sklepamo, da na količino absorbiranega znoja v majicah učinkujeta surovinska sestava in dizajn majice. Vpliv dizajna majice na ventilacijo pri nošenju majice se kaže v količini izparjenega znoja s površine kože skozi majico v okolje. Pri ozkih majicah izparevanje znoja poteka skozi pore med nitmi v pletenini, ki so zaradi oprijete modela majice večje. Prav tako ima pri ozkih majicah izparjeni znoj krajšo difuzijsko pot od površine kože do oblačila in na koncu do okolja. Zato obstaja manjša možnost za nastajanje neugodne mikroklimne kot pri širokih majicah.

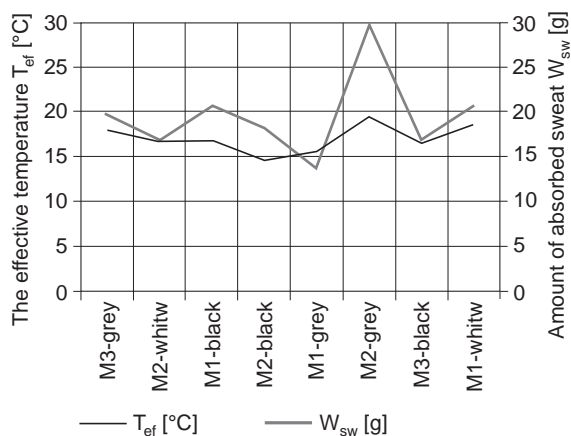
Iz danih rezultatov je tudi jasno videti, da ima dodatna ventilacija v predelu pod pazduh velik pomen na sušenje telesa in s tem za količino znoja, absorbiranega v majico.

### 3.3 Testiranje toplotnega udobja pri nošenju majic

Na količino izločenega znoja poleg telesne konstitucije vplivajo tudi okoljski parametri. Korelacija med učinkovito temperaturo in količino absorbiranega znoja je bila ovrednotena na podlagi učinkovite temperature (enačba 5), temperature zraka ( $T_a$ ), relativne vlažnosti zraka (RH) in hitrosti vetra ( $v$ ), dobljenih



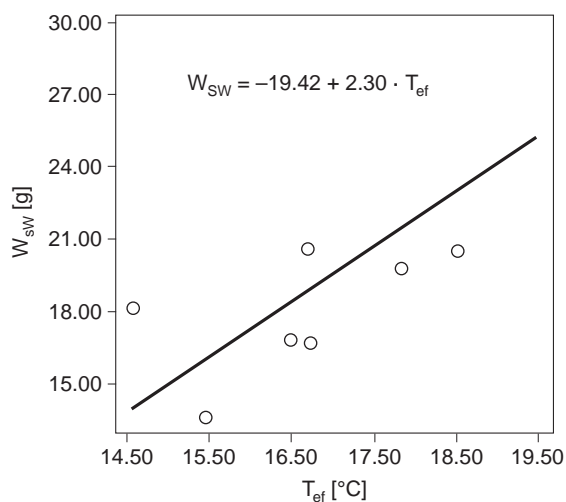
od Hidrometeorološkega zavoda Banjaluka v Republici srbski (Bosna in Hercegovina), za obdobje izvajanja meritev, slika 8.



Slika 8: Korelacija med efektivno temperaturo in količino absorbiranega znoja

Figure 8: The correlation between effective temperature and amount of absorbed sweat

Prikazana je tudi odvisnost količine v majico absorbiranega znoja od efektivne temperature, dobljene s preprosto linearno regresijsko analizo, slika 9.



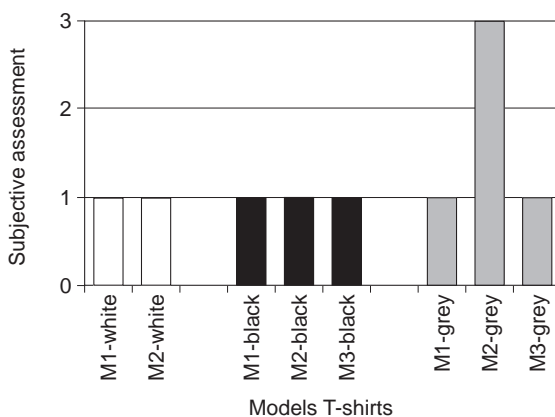
Slika 9: Linearna regresijska odvisnost količine v majicah absorbiranega znoja od efektivne temperature

Figure 9: Linear regression dependence of the amount of absorbed sweat into T-shirts regarding to the effective temperature

Najvišja efektivna temperatura pri nošenju majice (M2-grey) je znašala 19,46 °C. Pri navedenih klimatskih razmerah je bila izmerjena tudi največja

količina absorbiranega znoja (29,68 g), slika 5. V tem primeru se ni pomembno povečala količina izločenega znoja, temveč se je ustvarila neprijetna mikroklima med površino kože in majico, zato je bila površina kože v celoti prekrita z znojem. Zaradi velike količine znoja in slabšega izparevanja znoja skozi pletenino KF-1 v okolje se je večji del tega znoja prenesel na majico pri slačenju.

Vzporedno se je učinek ventilacije testiranih športnih majic preverjal tudi s subjektivnim ocenjevanjem testne osebe, preglednica 4. Ustvarjeno mikroklima med majicami in površino kože zaradi neustrezne ventilacije oblačila, posledica katere je bilo neprijetno počutje testne osebe, potrjujejo tudi njene subjektivne ocene pri ocenjevanju tolerantnosti na toplotno okolje, slika 10.



Slika 10: Subjektivna ocena osebne tolerance toplotnega okolja

Figure 10: Subjective assessment of personal tolerance of thermal environment

Odgovori testne osebe na vprašanja za subjektivno oceno toplotnega okolja, preglednica 4, so precej podobni za vse testirane modele majic med nošenjem, razen za model majice (M2-grey). Subjektivna ocena testne osebe tolerance toplotnega okolja oziroma odgovor na vprašanje »Kako prenašate trenutne toplotne razmere?« je bila za vse modele majic podana z oceno 1 – »težko prenašam«, razen za majico M2-grey je bila podana ocena 3 – »zelo težko prenašam«.

## 4 Sklepi

Za zagotavljanje ustreznega toplotnega fiziološkega udobja pri nošenju oblačila sta pomembna tako vrsta

in lastnosti vgrajenega materiala kot dizajn oblačila, ki morata skupaj omogočiti visoko stopnjo prepustnosti vlage ter dobro zračno ventilacijo, da se zagotovi optimalna termoregulacija človeškega telesa. Glede na izvedene analize sklepamo:

- Količina v majice absorbiranega znoja je odvisna od surovinske sestave pletiva in odprtosti modela majice, ta dva dejavnika pa pomembno učinkujeta na stopnjo ventilacije med nošenjem.
- Pri majicah, ki imajo v svoji surovinski sestavi delež bombažnih vlaken večji od 70 %, ugotovljamo, da odprtost oblačila pomembno vpliva na zmanjšanje količine v majico absorbiranega znoja. Z odprtostjo modela oblačila kot funkcije dizajna pa se z dodatno ventilacijo doseže ustrežnejša izmenjava toplote med telesom in okoljem.
- V nasprotnem primeru pa rezultati količine absorbiranega znoja pri majicah, izdelanih iz pletiv, ki imajo manj kot 30-odstotni delež bombažnih vlaken, pokažejo, da imajo večji vpliv na količino absorbiranega znoja surovinska sestava pletiva in klimatske razmere kot odprtost oblačila. V tem primeru je bila količina absorbiranega znoja večja pri širših modelih zaradi neugodne mikroklimne, ki se je ustvarila med površino kože in majico.
- Prav tako smo z dobljenimi rezultati dokazali, da sta surovinska sestava in dizajn oblačila odvisna dejavnika, ki ju je treba upoštevati pri samem načrtovanju novega oblačila, da se doseže ustrezno toplotno udobje uporabnika.

## Viri

1. GRUJIĆ, Dragana: *Vpliv snovnih lastnosti tkanin na toplotno fiziološko udobje oblačil: doktorska disertacija*. Maribor, 2010.
2. BISHOP, A. Phillip., BALILONIS, Gytis, DAVIS, Jon Kyle, ZHANG Yang. Ergonomics and Comfort in Protective and Sport Clothing: A Brief Review. *Journal of Ergonomics*, 2013, doi: 10.4172/2165-7556.S2-005.
3. ROSSI, R., Interactions between protection and thermal comfort. V *Textiles for protection*. Edited by Richard A. Scott. Woodhead Publishing in Textiles, The Textile Institute, 2005, 233-260.
4. GRUJIĆ, Dragana, GERŠAK, Jelka. Amount secreted dependence and of absorbed sweat in clothing from material properties and climatic conditions. V *Fifth International Scientific Conference Contemporary Materials 2012*, Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, 2012, 625–636.
5. YOO, Hwa Sook, HU, Y. S., KIM, E. A. Effect of heat and moisture transport in fabrics and garments determined with a vertical plate sweating skin model. *Textile Research Journal*, 2000, **70**(6), 542–549, doi: 10.1177/004051750007000612.
6. KIM, J.O., Dinamic moisture vapour transfer through textiles. *Textile Research Journal*, 1999, **69**(3), 193–202, doi: 10.1177/004051759906900306.
7. GRUJIĆ, Dragana, GERŠAK, Jelka, RISTIĆ, Mihajlo. Uticaj fizikalnih i sorpcijskih svojstava tkanina na količinu upijenog znoja u odjeći, *Tekstil*, 2010, **59**(3), 68–79.
8. CELCAR, Damjana, GERŠAK, Jelka in MENANDER, Harriet. Vrednotenje toplotnih lastnosti tekstilij in njihovih kombinacij, *Tekstilec*, 2010, 53(1–3), str.12.
9. CROCKFORD, G. W., CROWDER, M., PRESTIDGE, S. P. A trace gas technique for measuring clothing micro climate air exchange rates, *British Journal of industrial Medicine*, 1972, **29**, 378–386.
10. CROCKFORD, G. W., ROSENBLUM, H. A. The measurement of clothing micro climate volumes. *Clothing Research Journal*, 1974, **2**(3), 109–114.
11. REISCHL, U., SPSUL, W. A., DUKES-DOBOS, F. N., HALL, E. G. Ventilation Analysis of Industrial Protective Clothing. V *Trends in Ergonomics/Human Factors IV*. Holland, 1987.
12. LOTENS, W. A., HAVENITH, George. Ventilation of Rainwear Determined by a Trace Gas Method. V *Environmental Ergonomics*. New York: Taylor & Francis, 1988, 162–172.
13. HAVENITH, George, HEUS, Ronald, LOTENS, Wouter A. Clothing ventilation, vapour resistance and the permeability index: changes due to posture, movement and wind. *Ergonomics*, 1990, **33**(8), 989–1005, doi: 10.1080/00140139008925308.
14. KE, Ying, HAVENITH, George, ZHANG, Xianghui, LI, Xiaohui, LI, Jun. Effects of wind and clothing apertures on local clothing ventilation rates and thermal insulation. *Textile Research Journal*, Published online before print December 12, 2013, doi:10.1177/0040517513512399.
15. UEDA, Hiroyuki, HAVENITH, George. The effect of fabric air permeability on clothing

- ventilation. V *Environmental Ergonomics*. Edited by Tochihara, Y., Ohnaka, T. Velika Britanija : Elsevier, 2004, 343–346, doi: 10.1016/S1572-347X(05)80054-0.
16. LUMLEY, S. H., STORY, D. L., THOMAS, N. T. Clothing ventilation – Update and applications. *Applied Ergonomics*, 1991, **22**(6), 390–394, doi: 10.1016/0003-6870(91)90081-R.
  17. ZHAO, Mengmeng, GAO, Chuansi, WANG, Faming, KUKLANE, Kalev, HOLMER, Ingvar, LI, Jun. A study on local cooling of garments with ventilation fans and openings placed at different torso sites. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2013, **43**(3), 232–237, doi: 10.1016/j.ergon.2013.01.001.
  18. ZHANG, H. X., Li, J., WANG, Y. Y. Effect of clothing ventilation openings on thermoregulatory responses during exercise. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2012, **37**, 162–171.
  19. UEDA, Hiroyuki, INOUE, Yoshimitsu, MATSUDAIRA, Mitsuo, ARAKI, Tsutomu, HAVENITH, George. Regional microclimate humidity of clothing during light work as a result of the interaction between local sweat production and ventilation. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2006, **18**(4), 225–234.
  20. BOUSKILL, L. M., HAVENITH, George, KUKLANE, K., PARSONS, K. C., WITHEY, W. R. Relationship between clothing ventilation and thermal insulation. *AIHA Journal: a journal of the science of occupational and environmental health and safety*, 2002, **63**(3), 262–268, doi: 10.1080/15428110208984712.
  21. QIAN, Xiaoming, FAN, Jintu. Interactions of the surface heat and moisture transfer from the human body under varying climatic conditions and walking speeds. *Applied Ergonomics*, 2006, **37**(6), 685–693, doi: 10.1016/j.apergo.2006.01.002.
  22. HAVENITH, George, UEDA, Hiroyuki, SARI, Hayet, INOUE, Yoshimitsu. Required clothing ventilation for different body regions in relation to local sweat rates V *2<sup>nd</sup> European Conference on Protective Clothing*. Edited by Rossi, R. Montreux, Switzerland, 2003.
  23. OptiTex, [dostopno na daljavo], [citirano 7. 3. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.optitex.com>.
  24. Textiles-Determination of thermal resistance – Part 1: Low thermal resistance. ISO 5085-1:1989.
  25. Specification for water vapour apparel fabrics. BS 7209:1990.
  26. Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens von Fasern und Fadenabschnitten. DIN 53 814, 1997.
  27. Prufung von Textilien – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von textilen Flachengebilden. DIN 53887, 1995.
  28. Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate. ISO 8996: 2004.
  29. SUŠNIK, Janko. *Toplotna obremenitev in obremenjenost*. Ljubljana : Univerzitetni zavod za zdravstveno in socialno varstvo, 1990, 141.
  30. Ergonomics – Evaluation of thermal strain by physiological measurements. ISO 9886:2004.
  31. Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. ISO 10551: 1995.
  32. PALLANT, Julie. *SPSS - A Step by Step Guide to Data Analysis Using SPSS for Windows*. Australia : Allan & Unwin, 2000.