

Klara Kostajnshek in Krste Dimitrovski

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, 1000 Ljubljana

Poroznost večplastnih bombažnih tkanin in njen vpliv na prepustnostne lastnosti

Multilayer Cotton Fabric Porosity and its Influence on Permeability Properties

Izvirni znanstveni članek/Original Scientific Paper

Prispelo/Received 01-2013 • Sprejeto/Accepted 11-2013

Izvleček

Bombažne tkanine imajo poleg mehkega otipa in dobre vpojnosti tudi dobro toplotno prevodnost, prepustnost zraka in dihalnost. Z večanjem odprte površine enoplastnih tkanin se praviloma povečujejo tudi njihova zračna prepustnost, prepustnost vodne pare in toplotna prevodnost, vendar se slabša zaščita pred UV-žarki, ki je pomembna zlasti za poletna oblačila. Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv konstrukcije večplastnih bombažnih tkanin na lastnosti, povezane s poroznostjo: toplotno upornost (R_{CT}), upor prehodu vodne pare (R_{eT}), prepustnost za UV-žarke (UZF) in zračno prepustnost (ZP). V ta namen so bile iz bele, modre in črno obarvane preje finoče 8×2 tex stkane dvovotkovne, dvojne in enoplastne bombažne tkanine v gostoti 40 niti/cm v smeri osnove in 60 niti v smeri votka, pri čemer je bila upoštevana tudi barvna razporeditev preje v tkaninah. Raziskava je pokazala, da imajo najoptimalnejšo konstrukcijo večslojne dvovotkovne in dvojne tkanine. Za raziskovane tkanine obstaja pozitivna korelacija med poroznostjo tkanin in njihovo zračno prepustnostjo oziroma faktorjem UZF ter negativna korelacija med poroznostjo tkanin in njihovo toplotno prevodnostjo oziroma prepustnostjo vodne pare. Korelacija med izračunanim številom por posameznih vzorcev kot pomembnim dejavnikom poroznosti in raziskanimi prepustnostnimi lastnostmi (toplotno upornostjo, uporom prehodu vodne pare, prepustnostjo UV-žarkov in zračno prepustnostjo) je bila večja od korelacije med samo poroznostjo vzorcev in omenjenimi prepustnostnimi lastnostmi.

Ključne besede: večplastne tkanine, konstrukcija tekstilij, zračna prepustnost, prepustnost vodne pare, toplotni upor, UV-prepustnost

Abstract

Apart from their soft feel and good water absorbency, cotton fabrics are also characterised by good heat conductivity, air permeability and breathing. By increasing the open surface of one-layer fabrics, their air and water vapour permeability and heat conductivity should increase as well, whereas the protection against UV rays, on the other hand, which is especially important for summer clothes, decreases. The aim of the research was to establish the influence of multilayer cotton fabric constructions on the properties connected with porosity, i.e. heat resistance (R_{CT}), water vapour resistance (R_{eT}), UV permeability (UPF) and air permeability (AP). One layer, two-weft and double cotton fabric constructions were woven from white, blue and black yarn with fineness 8×2 tex, warp density 40 ends/cm and weft density 60 picks/cm, taking into consideration the colour distribution of yarns in the fabrics as well. The research results showed that the most optimal construction characterises multilayer two-weft and double fabrics. Among the studied fabrics, a positive correlation was established between the porosity of fabrics and their air permeability or UPF, respectively, and a negative correlation between the porosity of fabrics and their heat conductivity or water vapour permeability, respectively. The correlation between the calculated number of pores of individual samples, as an important factor in porosity, and the studied permeability properties (i.e. heat

Korespondenčni avtor/Corresponding author:

Klara Kostajnshek, univ. dipl. inž

Telefon: +386 1 200 32 14

E-pošta: klara.kostajnshek@ntf.uni-lj.si

Tekstilec, 2013, 56(4), 335–344

DOI: 10.14502/Tekstilec2013.56.335–344

resistance, water vapour resistance, UV permeability and air permeability) was higher than the correlation between the porosity of samples and the above mentioned permeability properties.

Keywords: multilayer fabrics, textile construction, air permeability, water vapour permeability, heat resistance, UV permeability

1 Uvod

Prepustnostne lastnosti so izjemno pomembne za določene vrste tehničnih tekstilij (npr. za filtracijo in drenažo), prav tako pa tudi za tekstilije za oblačila, kjer pripomorejo k udobnosti uporabnika. Udobnost poletnih oblačil je še posebej odvisna od njihove sposobnosti odvajanja odvečne toplote in vodne pare, uravnavanja pretoka zraka in zaščite pred nevarnimi vplivi UV-žarkov.

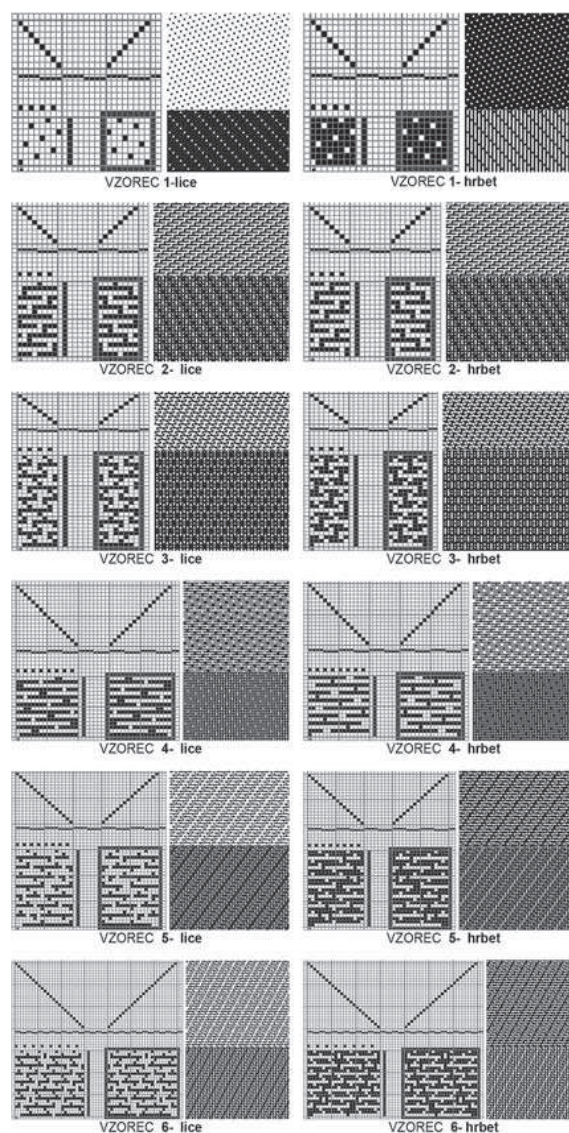
Prepustnost tekstilij je odvisna od vrste medija, ki penetrira skozi. Prepustnostne lastnosti oblačil morajo biti prilagojene vremenskim razmeram, ki so v vsakdanjem življenju spremenljive. Tako je poleti prepustnost zraka, toplote in vodne pare zaželen lastnost, prepustnost UV-žarkov pa ne. V zimskem času je poudarjena predvsem dobra toplotno izolacijska sposobnost tekstilij. V literaturi je prepustnost tekstilij za UV-žarke največkrat obravnavana ločeno od preostalih prepustnostnih lastnosti tekstilij (toplotne prevodnosti, paroprepustnosti, zračne prepustnosti) [1–6].

Namen raziskave je bil s konstrukcijo dvoplastnih tkanin doseči čim boljše prepustnostne lastnosti za poletna oblačila: to je čim višjo toplotno prevodnost in paroprepustnost ter čim boljše zračno prepustnost ob sočasni čim nižji prepustnosti tekstilije za UV-žarke. Dosedanje raziskave so bile večinoma izvedene na enoplastnih tkaninah, ki so obravnavale vplive spreminjanje različnih konstrukcijskih parametrov, kot so surovinska sestava, finoča niti, gostota niti in vezava [8, 10, 11]. Ker so bile te raziskave izvedene na vzorcih, ki so se med seboj konstrukcijsko zelo razlikovali (različne ploščinske mase, debeline in poroznosti tkanin), je nemogoče sklepati, kolikšen vpliv je imela sama konstrukcija tekstilije na prepustnost zraka, toplote, vodne pare in UV-žarkov. Zato smo v raziskavi izdelali vzorce iz iste preje in enako gostoto niti v osnovi in votku tako, da so se med seboj razlikovali le v vezavi. Izdelali smo dvoplastne dvovotkovne tkanine, kjer smo posamezne niti votka postavili v dveh ravneh, in dvoplastne dvojne tkanine, kjer smo posamezne niti v osnovi in votku postavili v dveh ravneh, ter enoplastne tkanine.

2 Eksperimentalni del

2.1 Materiali

Za potrebe raziskave smo skonstruirali in stkali šest bombažnih tkanin, kjer so se vzorci med seboj razlikovali v (številu slojev) vezavi. Za vse vzorce smo za votek in osnovo uporabili isto prejo, finoče 8×2 tex,



Slika 1: Prikaz popolnih vzornic vzorcev z lične in hrbtni strani (sheme izdelane v programu ArahWeave) [5, 12, 13]

Preglednica 1: Konstruktivske karakteristike vzorcev in njihova oznaka

Vzorec	Vezava	Finoča preje [tex]	Vzorec snovanja [gostota 40 niti/cm]	Vzorec tkanja [gostota 60 niti/cm]	Barva votka	Barva osnove (črna/bela)
1	Enoplastna: Atlas	8 × 2	1	1	modra	1 : 1
2	Dvovotkovna: 8-vezni osnovni in votkovni atlas	8 × 2	1	1 : 1	modra	1 : 1
3	Dvovotkovna: 8-vezni atlas in dvostopenjski keper	8 × 2	1	2 : 1	modra	1 : 1
4	Dvojna: 8-vezni atlas	8 × 2	1 : 1	1 : 1	modra	1 : 1
5	Dvojna: 8-vezni atlas in dvostopenjski keper	8 × 2	1 : 1	2 : 1	modra	1 : 1
6	Dvojna: 8-vezni atlas in dvostopenjski keper	8 × 2	2 : 1	2 : 1	modra	1 : 1

enako nastavitve barvnih niti po osnovi ter enako gostoto niti po osnovi (40 niti/cm) in votku (60 niti/cm). Za votek smo izbrali bombažno prejo modre barve, za osnovo pa prejo črne in bele barve z vzorcem snovanja 1 : 1. Vse vzorce smo stkali na laboratorijskih statvah Minifaber z žakarskim modulom T.I.S. V preglednici 1 so podane oznake vzorcev in njihovi osnovni konstrukcijski parametri, na sliki 1 pa so prikazane vzornice vzorcev.

2.2 Metode

V raziskavi smo proučevali na tkaninah na hrbtni in lični strani naslednje lastnosti:

- zračno prepustnost (ZP) oziroma zračni upor (1/ZP) kot recipročno vrednost zračni prepustnosti skozi tkanino pod določenimi pogoji ($\text{m}^2 \text{s l}^{-1}$).
- toplotni upor, R_{cT} , (enačba 1):

$$R_{cT} = (\bar{T}_k - T_z) \cdot \frac{A}{\mathcal{O}_c} \quad (1),$$

kjer je R_{cT} (skupni) toplotni upor oblačila oziroma oblačilnega sistema ($\text{m}^2 \text{KW}^{-1}$), \mathcal{O}_c suhi toplotni tok (W), \bar{T}_k srednja temperatura kože (K), T_z temperatura zraka v okolici (K), A površina oblačila, skozi katero prehaja toplota (m^2) [7].

- upor prehodu vodne pare, R_{eT} , je podan z enačbo 2:

$$R_{eT} = (\bar{p}_k - p_z) \cdot \frac{A}{\mathcal{O}_e} \quad (2),$$

kjer je R_{eT} (skupni) upor oblačila prehodu vodne pare ($\text{Pa m}^2 \text{W}^{-1}$), \mathcal{O}_e evaporativni toplotni tok (W), \bar{p}_k srednji parcialni tlak vodne pare pri

temperaturi kože (P_a), p_z tlak vodne pare pri temperaturi zraka (P_a), A površina, skozi katero prehaja evaporativni toplotni tok (m^2) [7, 8].

- in ultravijolični zaščitni faktor (UZF) (enačba 3), ki kaže na učinkovitost tekstilije pri zaščiti človeka pred prodiranjem ultravijoličnih žarkov skozi tekstilijo do kože:

$$\text{UZF} = \frac{\sum_{290}^{400} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{290}^{400} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \quad (3),$$

kjer je $E(\lambda)$ solarna spektralna obsevanost ($\text{Wm}^{-2} \text{nm}^{-1}$), $\varepsilon(\lambda)$ relativna eritemska učinkovitost, $T(\lambda)$ prepustnost vzorca (%), $\Delta\lambda$ interval valovne dolžine (nm) [9].

Stkanim tkaninam smo izmerili debelino in ploščinsko maso ter izračunali naslednja parametere:

- volumsko gostoto (ρ_{tkanine}) s pomočjo enačbe 4:

$$\rho_{\text{tkanine}} = \frac{M}{D \cdot 1000} \quad (4),$$

kjer je volumska gostota tkanine izražena v gcm^{-3} , ploščinska masa (M) v g/m^2 in debelina (D) tkanine v mm [10].

- poroznost (P) tkanin s pomočjo enačbe 5:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{\text{tkanine}}}{\rho_{\text{materiala}}}\right) 100 (\%) \quad (5),$$

kjer sta ρ_{tkanine} in $\rho_{\text{materiala}}$ volumska gostota tkanine in vlaken izražena v g/cm^3 in poroznost (P) v odstotkih. Pri tem je za gostoto bombažnih vlaken vzeta vrednost $1,52 \text{ g/cm}^3$.

Poleg same poroznosti smo raziskovali tudi povezovalno med posameznimi parametri poroznosti (število, velikost in porazdelitev por v vzorcih) in različnimi upori. Soodvisnost smo tako proučevali med številom por oziroma številom ocenjenih zračnih kanalov v tkanini in izmerjenimi upori. Število makropor v enoplastni tkanini in v dvovotkovnih ter dvojnih tkaninah z zaporedjem (vzorcem tkanja in vzorcem snovanja) 1 : 1 izračunamo iz znane gostote osnove in votka. Bolj zapleten je izračun števila por v dvovotkovnih in dvojnih tkaninah pri zaporedjih 2 : 1. Ker pomeni gostejša tkanina na splošno večji upor pretoku medijev kot redkejša tkanina, smo izračun števila por večplastnih tkanin napravili na gostejših straneh tkanin.

Število por smo izračunali iz produkta gostot osnovnih in votkovnih niti gostejše strani tkanine, in sicer za enoplastni vzorec št. 1 s pomočjo enačbe 6:

$$n = d_o \cdot g_o \quad (6),$$

kjer je n število por, d_o gostota osnovnih niti (niti/cm) in d_v gostota votkovnih niti (niti/cm).

Za vzorec št. 2 smo število por izračunali s pomočjo enačbe 7, za vzorec št. 3 s pomočjo enačbe 8, za vzorec št. 4 s pomočjo enačbe 9, za vzorec št. 5 s pomočjo enačbe 10 in za vzorec št. 6 s pomočjo enačbe 11:

$$n_{\text{vzorec št. 2}} = \frac{d_o \cdot d_v}{2} \quad (7),$$

$$n_{\text{vzorec št. 3}} = 2d_o \cdot \frac{d_v}{3} \quad (8),$$

$$n_{\text{vzorec št. 4}} = \frac{d_o}{2} \cdot \frac{d_v}{2} \quad (9),$$

$$n_{\text{vzorec št. 5}} = \frac{d_o}{2} \cdot \frac{2d_v}{3} \quad (10),$$

$$n_{\text{vzorec št. 6}} = \frac{2d_o}{3} \cdot \frac{2d_v}{3} \quad (11),$$

kjer je n število por_(vzorca), d_o gostota osnovnih niti (niti/cm) in d_v gostota votkovnih niti (niti/cm).

Za vzorec št. 3 smo dodatno izračunali število por tudi po enačbi 6, ki velja za enoplastno tkanino.

Meritve zračne prepustnosti so bile izvedene po standardu ISO 9237:1995 (E), na aparatu za merjenje zračne prepustnosti FX 3300 (Textest, Švica). Zračno prepustnost smo merili na petih različnih mestih vzorca, na lični in hrbtni strani, pri tlaku 100 Pa.

Meritve toplotnega upora in upora prehodu vodne pare smo izvedli na aparatu Permetest (Sensors Instruments and Consulting, Češka). Za izvedbo meritev smo sledili navodilom izdelovalca [4], ki se nanašajo na standard ISO 11092.

Merjenje prepustnosti UV-žarkov smo izvajali po standardu SIST EN 13758-1:2002, na aparaturi Lambda 800, UV/VIS Spektrophotometer, PELA-1000 (PerkinElmer Inc., ZDA). Meritve smo izvajali po metodi »in vitro«, ki omogoča merjenje prepustnosti (T), odboja (R) ter izračun absorpcije (A) ultravijoličnega sevanja vzorcev. Po enačbi 3 smo izračunali vrednosti UZF.

Rezultate smo statistično obdelali z metodo linearne korelacije, kjer smo na podlagi korelacijskih koeficientov ocenjevali soodvisnost med konstrukcijskimi (poroznostjo, številom por 1 in številom por 2) in fizikalnimi lastnostmi (upor zraka, upor pretoku vodne pare, toplotni upor in UZF) vzorcev.

2.2 Rezultati

Izdelani vzorci tkanin so bili primerljive ploščinske mase, razlikovali so se po debelini, volumski gostoti, poroznosti in številu por (preglednica 2). Število por pomeni število zračnih kanalov med prepletenimi nitmi osnove in votka. Kot smo že omenili, smo število por za dvoplastne tkanine izračunali glede na število por gostejše plasti tkanine (preglednica 2, število por 1). Ker smo vzorec št. 3 obravnavali tudi kot enoplastnega, smo zanj izračunali število por tudi po enačbi 6. Za potrebe statistične korelacije smo tvorili še eno skupino meritev, ki smo jo označili kot število por 2 (preglednica 2), v kateri smo uporabili predpostavko, da je vzorec 3 enoplasten, saj je bila gostota votka prenizka oziroma ni zadoščala za postavitev drugega sistema votka v pozicijo druge plasti. Namerno nismo povečali gostote za doseganje omenjenega učinka, ker smo želeli obdržati časovno in stroškovno primerljivost vzorcev.

V preglednici 3 so zbrani rezultati meritev posameznih uporov in vrednosti UZF vzorcev, merjenih z lične in hrbtni strani.

V preglednici 4 so podani korelacijski koeficienti linearne korelacije med posameznimi izmerjenimi lastnostmi vzorcev.

Preglednica 2: Rezultati meritev konstrukcijskih parametrov in fizikalnih lastnosti preiskovanih vzorcev

Vzorec	Gostota osnove [niti/cm]	Gostota votka [niti/cm]	Ploščinska masa [g/m ²]	Debelina [μm]	Volumska gostota [g/cm ³]	Poroznost [%]	Število por 1	Število por 2
1	42,1	58,2	165,2	927	0,178	88,6	2450	2450
2	42,2	58,9	168,2	1022,5	0,165	89,4	1243	1243
3	42,1	58,5	172,9	932,5	0,186	88,1	1642 ^a	2463 ^b
4	41,4	59,6	165,5	1025	0,162	89,6	617	617
5	42,4	58,0	166,4	1034,5	0,162	89,6	820	820
6	42	60,0	167,9	1005,5	0,168	89,2	1120	1120

^a Število por, izračunano po enačbi 8; ^b Število por, izračunano po enačbi 6

Preglednica 3: Rezultati meritev toplotne upornosti (R_{cT}), upora prehodu vodne pare (R_{eT}), vrednosti UZF in zračnega upora (1/ZP), merjenih na lični (L) in hrbtni (H) strani vzorcev

Vzorec	$R_{cT} - L$ [m ² K/W]	$R_{cT} - H$ [m ² K/W]	$R_{eT} - L$ [m ² Pa/W]	$R_{eT} - H$ [m ² Pa/W]	UZF - L	UZF - H	1/ZP - L [m ² s/l]	1/ZP - H [m ² s/l]
1	0,02748	0,02773	1,42428	1,29535	205,51	158,32	0,00411	0,00426
2	0,03894	0,03259	1,69948	1,73933	63,01	66,92	0,00122	0,00121
3	0,03187	0,03074	1,51976	1,5928	92,4	86,17	0,00462	0,00483
4	0,04645	0,04268	2,06637	2,14774	97,74	102,37	0,00094	0,0009
5	0,03874	0,03949	1,54776	1,49723	81,36	74,03	0,00107	0,00109
6	0,04299	0,04484	1,78966	2,07643	101,04	88,54	0,00163	0,00187

Preglednica 4: Izračunani korelacijski koeficienti med lično in hrbtno stranjo posameznih uporov ter korelacijski koeficienti med poroznostjo, številom por 1 in 2 in posameznimi upori na lični in hrbtni strani vzorcev

Lastnosti	$R_{cT} - L$	$R_{cT} - H$	$R_{eT} - L$	$R_{eT} - H$	UZF - L	UZF - H	1/ZP - L	1/ZP - H	Poroznost	Število por 1	Število por 2
$R_{cT} - L$	-	0,90	-	-	-	-	-	-	0,78	-0,92	-0,92
$R_{cT} - H$	0,90	-	-	-	-	-	-	-	0,68	-0,83	-0,84
$R_{eT} - L$	-	-	-	0,94	-	-	-	-	0,59	-0,74	-0,74
$R_{eT} - H$	-	-	0,94	-	-	-	-	-	0,47	-0,71	-0,66
UZF - L	-	-	-	-	-	0,98	-	-	-0,43	0,79	0,58
UZF - H	-	-	-	-	0,98	-	-	-	-0,39	0,71	0,52
1/ZP - L	-	-	-	-	-	-	-	0,99	-0,98	0,84	0,98
1/ZP - H	-	-	-	-	-	-	0,99	-	-0,98	0,84	0,97
Poroznost	0,78	0,68	0,59	0,47	-0,43	-0,39	-0,98	-0,98	-	-	-
Število por 1	-0,92	-0,83	-0,74	-0,71	0,79	0,71	0,84	0,84	-	-	-
Število por 2	-0,92	-0,84	-0,74	-0,66	0,58	0,52	0,98	0,97	-	-	-

3 Razprava

3.1 Analiza konstrukcijskih parametrov

Vzorci so različni v vezavi. Vzorec št. 1 je enoosnovna/enovotkovna tkanina z maksimalno mogočo gostoto po votku. Vzorca št. 2 in št. 3 sta dvo-votkovni tkanini z vzorcem tkanja 1 : 1 in 2 : 1, zato smo pričakovali, da bosta vzorca št. 2 in 3 morala imeti pričakovano večjo debelino in nižjo volumsko gostoto. Pričakovane vrednosti je dosegel vzorec št. 2, ne pa vzorec št. 3, ki je bil celo tanjši in je imel višjo volumsko gostoto kot vzorec št. 1. Vzorec tkanja z zasnovo 2 : 1 smo izbrali zaradi večjega faktorja kritja tkanine. Kot je razvidno iz preglednice 1, je znašala izmerjena debelina vzorca št. 2 (po pričakovanjih bi morala biti vsaj za dvakrat debelejša, ker sta bila votka postavljena drug nad drugim), ampak je bila višja le za okoli 10 % od debeline vzorcev št. 1 in 3.

Razlog za to je, ker se votki v vzorcu št. 1 zaradi izjemno visoke gostote deformirajo v smeri pravokotno (normale) na ravnino tkanine. V primerih z manjšo gostoto po votku je deformacija osnove in votka praviloma v smeri ravnine tkanine in je tako posledično debelina tkanine manjša.

Naslednji razlog za nastalo razliko izhaja iz procesa tkanja, kjer se pri vsakem priboju votka pomakne tkanina za dolžino le-tega. Navadno se pomakne tkanina za dolžino enega votka po priboju vsakega drugega votka, kar določa polovično gostoto po votku – tako votka nista umeščena, kot je določeno v teoriji – drug nad drugim, ampak zavzemata pozicijo, ki je delno značilna za enoplastne tkanine, zlasti če izbrana gostota votka ne zadošča. Podobno je tudi pri vzorcu št. 4, kjer sta oba sistema osnove in votka (vzorec tkanja in snovanja) v razmerju 1 : 1 in bi teoretično pomenilo lego osnove in votka drugo nad drugim [5]. Enako kot prej v pojasnjenih primerih imata tudi vzorca št. 5 in 6 le za okoli 10 % večjo vrednost debeline, kar pojasnjuje, da imajo vzorci dovolj podobno konstrukcijo in minimalno razliko v vrednostih volumske gostote.

3.2 Analiza barvnih razlik

Barva vzorcev je pomemben dejavnik pri ugotavljanju UV-zaščite, zato je zelo pomembna postavitev barvnih kombinacij prej v sami konstrukciji tkanine. Druga pomembna razlika med vzorci je različna postavitev barvnih bombažnih prej v vzorcih. Pri vzorcu št. 1 se kaže največja razlika med licem in

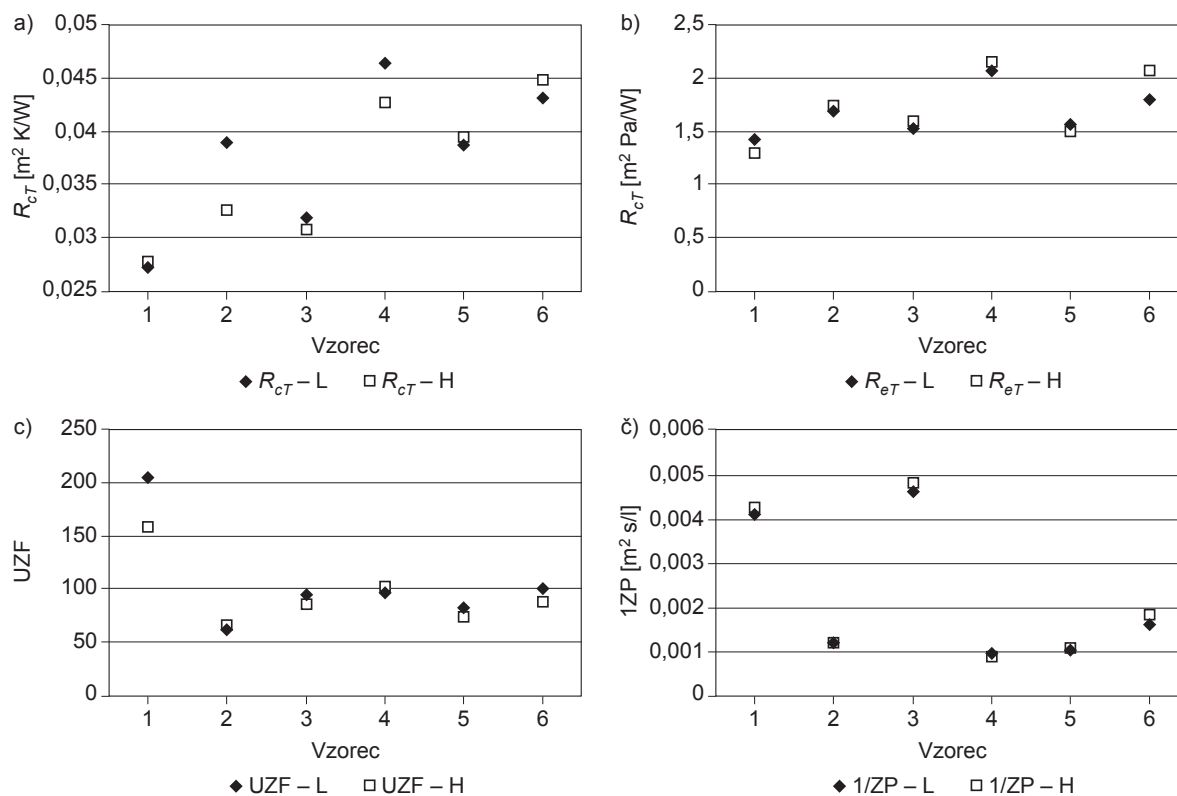
hrbtom. Na licu dominira bombažni votek modre barve, na hrbtu osnova črne in bele barve. Vzorec št. 2 je edini vzorec z obojestransko vezavo, kjer dominira na obeh straneh votek modre barve, osnova pa po večini ostaja v sredini vzorca. Vzorec št. 3 ima v primerjavi s hrbtno stranjo gostejše lice z dvema votkoma modre barve, pri čemer je na hrbtni strani le en votek. Vzorec št. 4 ima kombinacijo votka modre barve in osnove bele barve na licu, votka modre barve in osnove črne barve na hrbtu. Vzorca št. 5 in 6 imata lično stran gostejšo od hrbtno, kjer na obeh straneh prevladuje votek modre barve.

3.3 Analiza toplotne upornosti (R_{cT}), upora prehodu vodne pare (R_{eT}), vrednosti UZF in zračnega upora ($1/ZP$)

Rezultati meritev toplotne upornosti (R_{cT}), upora prehodu vodne pare (R_{eT}), vrednosti UZF in zračnega upora ($1/ZP$) za izdelane bombažne tkanine so prikazani na sliki 2. Razvidna je razlika med enoplastnim in večplastnimi vzorci. Vzorca št. 1 in 3 se glede na upor zraka obnašata zelo podobno, razen pri rezultatih UZF-a, kjer prevzamejo prevladujočo vlogo barve na lični in hrbtni strani tkanin in smer deformacije niti pri vzorcu št. 1. Razlike so zelo očitne pri rezultatih zračnega in toplotnega upora. Zračni upor vzorcev št. 1 in 3 je glede na preostale večplastne vzorce približno 4-krat večji. Razlike med vsemi vzorci v primeru toplotnega upora so približno dvakratne. Največje razlike med lično in hrbtno stranjo so se pokazale pri merjenju toplotnega upora in upora prehodu vodne pare. To pomeni, da konstrukcija vzorcev, posebno kadar je ena stran gostejša od druge, močno vpliva na omenjene lastnosti. Pri zračnem uporuh razlik med licem in hrbtom ni, pri UZF pa le pri vzorcih št. 1 in 6, kjer se pokaže vpliv barve preje.

3.4 Vpliv poroznosti na toplotne upornosti (R_{cT}), upor prehodu vodne pare (R_{eT}), vrednosti UZF in zračni upor ($1/ZP$)

Korelacijski koeficienti toplotne upornosti (R_{cT}), upor prehodu vodne pare (R_{eT}), vrednosti UZF in zračni upor ($1/ZP$) in poroznostjo kažejo visoko ujemanje med lično in hrbtno stranjo vzorcev (preglednica 4). Ta je pri vseh večji od 0,9. Največja korelacija (0,99) se je pokazala med lično in hrbtno stranjo pri zračnem uporuh, nato uporuh UV-žarkov, čemur sledita upor prehodu vodne pare in toplotni upor. To jasno kaže, da postavitev preje v različne



Slika 2: Prikaz a) toplotnega upora, b) upora prehodu vodne pare, c) upora prehodu UV žarkov in č) zračnega upora analiziranih tkanin.

plasti (večplastne tkanine) ne vpliva na rezultate zračnega upora oziroma da je zračni upor približno enak ne glede na morebitno različnost v gostoti posameznih plasti večplastne tkanine.

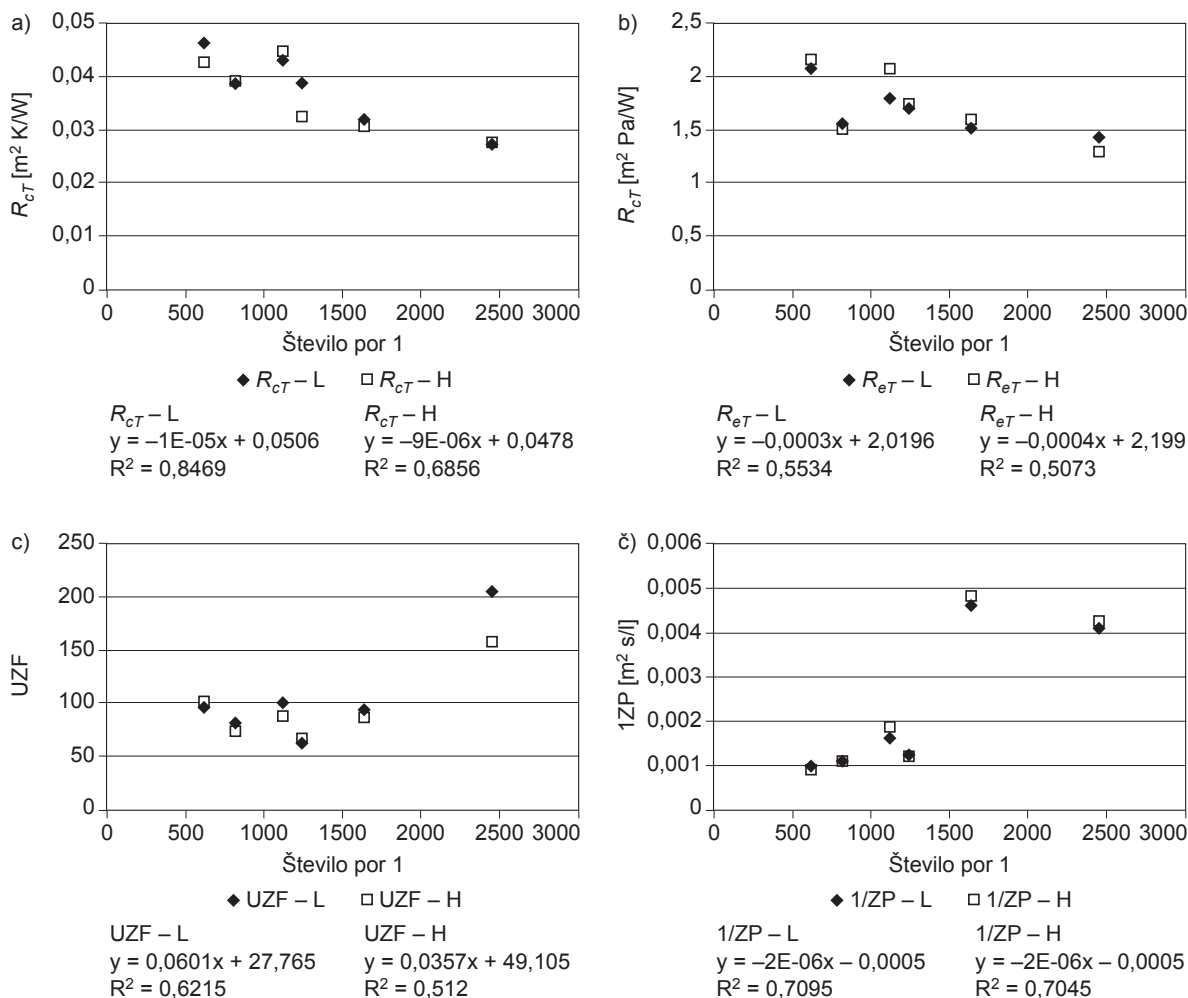
Najpomembnejši dejavnik pri doseganju dobre UZF-zaščite je konstrukcija tkanine. Za vrednosti UZF med licem in hrbtom posameznih vzorcev je korelacijski koeficient za vse vzorce visok, čeprav se absolutne vrednosti razlikujejo (najbolj pri vzorcu št. 1), kjer sta največji tudi barvni razliki.

Pri uporu prehodu vodne pare so razlike večje, pri uporu toplote pa še večje. To pojasnjujemo z razliko v konstrukciji posameznih vzorcev oziroma v gostoti posameznih plasti. Če pri meritvah prehajata vodna para in toplota prvič skozi manj gosto stran tkanine, bosta upora večja zaradi »zračne blazine« med telesom in gostejšo plastjo tkanine in nasprotno. V preglednici 4 je podana izračunana korelacija med poroznostjo vzorcev in izmerjenim uporom. Najvišja negativna korelacija je med poroznostjo in uporom prepustnosti zraka (približno $-0,98$). Korelacijski koeficient med toplotnim uporom in poroznostjo je znašal 0,78 z lične in 0,68 s hrbtne strani

ter med uporom prehodu vodne pare in poroznostjo 0,59 z lične in 0,47 hrbtne strani. Razlike med korelacijskimi koeficienti med poroznostjo lične in hrbtne strani potrjujejo pojasnila v prejšnjem odstavku, o vplivu konstrukcije na posamezne upore. Najnižje vrednosti korelacije smo dobili pri meritvah med poroznostjo in UZF z lične in hrbtne strani vzorcev. Poroznost sama dominantno ne vpliva na UZF, vpliva pa odprtost ali zaprtost (prosojnost) konstrukcije v povezavi z izbrano barvo uporabljene preje.

Dejstvo je, da se poroznost vzorcev spreminja le za okoli dva odstotka, prepustnost ali upor pa za veliko več. To potrjuje teorijo, da poroznost sama, ki se sicer določa zelo preprosto, v številnih primerih ni dovolj dober dejavnik za določanje prepustnosti UV-žarkov skozi tkanine. To potrjujejo tudi raziskave drugih avtorjev [11], kjer ima pri dovolj zaprti konstrukciji tkanine izbrana barva preje vodilno vlogo pri prepustnosti UV-žarkov.

Zadnji dve vrstici v preglednici 4 kažeta vpliv števila por gostejših strani vzorcev na posamezne raziskane upore. V skoraj vseh primerih se pokaže ob številu por 1 ali 2 iz preglednice 2 večja korelacija med



Slika 3: Odvisnost toplotnega upora (a), upora prehodu vodne pare (b), UZF (c) in zračnega upora (č) od števila por 1 za lično in hrbtno stran vzorcev ter pripadajoče regresijske enačbe

številom por in izmerjenimi upori kot med samo poroznostjo in izmerjenimi upori.

Med številom por 1 in UZF smo izračunali višji koeficient linearne korelacije kot med številom por 2 in UZF (preglednica 4). Koeficient linearne korelacije med zračnim uporom in številom por 1 oziroma številom por 2 znaša 0,84 oziroma 0,97/0,98 (preglednica 4). To pomeni, da je gostejša stran tkanine pomembna za UZF, redkejša stran pa za zračni upor.

Rezultati kažejo, da pri zračnem uporom ni pomembnejših razlik med lično in hrbtno stranjo, niti v barvi posameznih uporabljenih niti. To jasno kaže, da je zračni upor odvisen le od poroznosti vzorcev in same strukture por.

Korelacija med izračunano poroznostjo (izračunano iz ploščinske mase in debeline) in zračnim uporom

je visoka. V obeh primerih (poroznost proti zračnemu uporom na lično in hrbtni strani) je več kot 0,98 in korelacija zračnega upora med lično in hrbtno stranjo 0,99.

Razvidno je, da se zračni upor spreminja s konstrukcijo tkanine (približno 4-krat med vzorci 1, 3 in 4). Postavitev preje v dve plasti po osnovi ali po votku zagotavlja večjo prepustnost zraka in nižjo volumsko gostoto vzorcev. Uporaba zaporedja nitnih sistemov 2 : 1 zmanjšuje prepustnost zraka dvoplastnih vzorcev.

Vzorci se med seboj minimalno (do 2 %) razlikujejo v poroznosti (preglednica 2), v zračnem uporom pa so razlike med vzorci večje (preglednica 3). To ponovno dokazuje, da je zračni upor primarno odvisen od števila in premera zračnih kanalov v vzorcih. Čeprav se poroznost vzorcev bistveno ne razlikuje,

je koeficient korelacije med številom por in zračnim uporom dovolj visok, da lahko sklepamo, da večje število por posledično manjših premerov ustreza večjemu zračnemu upor.

4 Sklepi

Na podlagi raziskave prepustnostnih lastnosti enoplastne in večplastne konstrukcije tkanin lahko podamo ugotovitve, ki veljajo za zadosti zaprte in neprosojne tkanine.

Analizirani upori vzorcev različno korelirajo s poroznostjo in parametri poroznost. In sicer poroznost pozitivno korelira s toplotnim uporom in uporom prehodu vodne pare ter negativno z uporom zraka in UZF. To pomeni, da bodo vzorci, ki vsebujejo več zračnih prostorov, pri zadosti zaprti konstrukciji tkanine zagotavljali boljšo toplotno izolacijo in boljši upor prehodu vodne pare. In nasprotno, vzorci z več zračnimi prostori bodo imeli slabši UZF in zračni upor.

Prišli smo do novega pomembnega sklepa, ki se nanaša na velikost por v tkanini. Upor toplote in upor prehodu vodne pare negativno korelira s številom por, ali bolje številom zračnih kanalov v tkanini, ter pozitivno z UZF in zračnim uporom. Majhno število zračnih kanalov pomeni njihov večji volumen v zadosti zaprti konstrukciji tkanine. Iz tega izhaja, da je prehod zraka in UV-svetlobe lažji skozi večje pore (manjše število večjih por) in obenem bosta toplota in vodna para lažje prehajali skozi sam material in pore z manjšim volumnom.

Zadnje je dokazano s številom por, ki se razlikuje med vzorci v rangi od 1 do 4 in nekaterimi upori (kot sta zračni upor in UZF-upor UV-žarkom), ki so prav tako približno v enakem rangi.

Ko ima konstrukcija večplastnih tkanin dve različni gosti plasti, prevladujočo vlogo glede lastnosti upora pričakovano igra gostejša plast tkanine, ki je bila uporabljena za dejansko določanje števila por. To povzroča razlike med uporom toplote in uporom prehodu vodne pare, merjene na lični in hrbtni strani vzorcev. Izmerjeni rezultati v vseh primerih dosegajo boljše korelacije s številom por gostejše strani. Rezultati so pokazali, da imajo vsi vzorci odličen UZF (+50), da pa le štirje od njih dosegaajo hkrati tudi odlično zračno prepustnost.

Zračna prepustnost dvojne vezave z zaporedjem 1 : 1 je več kot za štirikrat večja od zračne prepustnosti

tkanine v vezavi atlas in dvovotkovni tkanini v razmerju 2 : 1 (po votku). Toplotni upor ne kaže tolikšne odvisnosti od konstrukcije vzorcev, pri uporih prehodu vodne pare pa je ta odvisnost manjša. To je potrdilo naša pričakovanja, da poleg poroznosti vpliva na toplotni upor in še posebno na upor prehodu vodne pare ter na absorpcijske sposobnosti tekstilije njena surovinska sestava. Na zračni upor pravzaprav vpliva le poroznost (konstrukcija vzorcev), saj med lično in hrbtno stranjo ni bistvenih razlik v rezultatih. Pri preostalih uporih so razlike večje, še zlasti pri vzorcu št. 1 (UZF zaradi uporabljenih barv), vzorci št. 3 in 6 (upor prehodu vodne pare, zaradi različne gostote plasti).

Raziskava jasno kaže razmeroma velik spekter možnosti za reguliranje lastnosti upora s konstrukcijo zadosti zaprtih in neprosojnih tkanin, izdelanih s primerljivimi proizvodnimi stroški.

Viri

1. POSTLE, Ron. Screening application of textile materials: an Australian perspective. V *4th International Textile, Clothing & Design conference ITC & CD: book of proceedings*. Edited by Z. Dragčević. Zagreb : Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2008, 1108–1111.
2. ZAMPETAKIS, Aristotelis, KATSAROS, Giorgos. Optimization of wear comfort parameters for summer cloths. V *8th Autex conference : proceedings*. Biella, Italy, 2008.
3. ŠAJN GORJANC, Dunja, DIMITROVSKI, Krste, BIZJAK, Matejka. Thermal and water vapor resistance of the elastic and conventional cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 2012, **82**(14), 1498–1506, doi: 10.1177/0040517512445337.
4. HES, Lubos. Heat, moisture and air transfer properties of selected woven fabrics in wet state. V *Proceedings of TBIS 2008 Textile Symposium*. Hong Kong, China, 2008, 968–976.
5. DIMITROVSKI, Krste, KOSTAJNŠEK, Kostanjšek. Evaluation of permeability properties of lightweight cotton fabrics with different construction. V *9th Autex conference : proceedings*. Izmir, 2009, 69–74.
6. WONG, Wai-yin, KWOK-CHEONG LAM, Jimmy, KAN, Chi-wai, POSTLE, Ron. Influence of knitted fabric construction on the ultraviolet

- protection factor of greige and bleached cotton fabrics. *Textile Research Journal*, doi 10.1177/0040517512467078.
7. Textiles – Physiological effects – measurement of thermal and watervapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hot-plate test). ISO 11092:1993.
 8. HES, Lubos. Non-destructive of comfort parameters during marketing of functional garments and clothing. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2008, **33**, 239–245, [dostopno na daljavo], [citirano 02.09. 2009]. Dostopno na svetovnem spletu: [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/2012/1/IJFTR%2033\(3\)%20239-245.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/2012/1/IJFTR%2033(3)%20239-245.pdf).
 9. Tekstilije – Zaščitne lastnosti pred sončnimi ultravijoličnimi žarki – 1. del : Metoda preskušanja za oblačilne tekstilije. SIST EN 13758-1:2002.
 10. DOBNIK DUBROVSKI, Polona. Volume porosity of woven fabrics. *Textile Research Journal*, 2000, **70**(10), 915–919, doi: 10.1177/004051750007001011.
 11. DOBNIK DUBROVSKI, Polona, GOLOB, Darko. Effects of woven fabric construction and color on ultraviolet protection. *Textile Research Journal*, 2009, **79**(4), 351–359, doi: 10.1177/0040517508090490.
 12. URBAS, Raša, KOSTAJNŠEK, Klara, DIMITROVSKI, Krste. Impact of structure and yarn color on UV properties and air permeability of multilayer cotton woven fabrics. *Textile Research Journal*, 2011, **81**(18), 1916–1925, doi: 10.1177/0040517511413326.
 13. *Arahne* [dostopno na daljavo]. Obnovljeno april 2013. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.arahne.si/>>.