

Sposobnost upravljanja vlagom glatkih pletenina izrađenih od prirodnih i regenerisanih celuloznih vlakana

Milada S. Novaković^{1,2}, Lana S. Putić², Matejka Bizjak³, Snežana B. Stanković²

¹Visoka tehnička škola strukovnih studija, Zrenjanin, Srbija

²Univerzitet u Beogradu, Tehnološko–metalurški fakultet, Beograd, Srbija

³Univesity of Ljubljana, Faculty of natural sciences and engineering, Ljubljana, Slovenia

Izvod

Cilj ovog rada je bio karakterizacija glatkih pletenina u pogledu sposobnosti upravljanja vlagom (propuštanja vodene pare i znoja) uzimajući u obzir faktore na mikroskopskom (vlakna), mezoskopskom (pređa) i makroskopskom (pletenina) nivou. U tu svrhu su, polazeći od pređa izrađenih od prirodnih i regenerisanih celuloznih vlakana, u kontrolisanim uslovima proizvedene glatke DL pletenine koje su podvrgnute ispitivanju propustljivosti vodene pare i tečnosti. Dobijeni rezultati ukazali su na kompleksan uticaj hijerarhijske strukture tekstilnog materijala na njegovu sposobnost upravljanja tečnostima. Pokazalo se da pored distribucije pora u pleteninama, koja je u okviru eksperimentalnog materijala bila uslovljena deformacionim svojstvima vlakana i primenjenim tehnikama pređenja, propustljivost vodene pare može biti modifikovana geometrijom površine pređe, dok morfologija vlakana može da modifikuje propustljivost tečnosti.

Ključne reči: pletenina, upravljanje vlagom, propustljivost vodene pare, kapilarno kvašenje, poroznost, maljavost pređe.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Čovekov organizam se može posmatrati kao komplikovan termodinamički sistem u kome se metaboličkim procesima energija kontinuirano proizvodi, i koja se kontinuirano oslobađa u obliku toplote ili latentnih gubitaka toplote koji prate isparavanje znoja. Vršeci svoju osnovnu funkciju – zaštitu od ekstremnih spoljnih uticaja, odeća je u stalnom kontaktu sa čovekovim telom formirajući pri tome mikroklimu ili mikrookruženje koje je od izuzetne važnosti za čovekovu percepciju toplotnog komfora. Drugim rečima, odeća predstavlja u određenoj meri barijeru slobodnoj razmeni energije i mase čoveka sa njegovim okruženjem. Sa aspekta toplotnog komfora od odeće se očekuje da aktivno podrži čovekov termoregulacioni sistem u održavanju adekvatne temperature čovečijeg tela, uz obezbeđivanje što je moguće manje vlage u mikroklimi. Osim dizajna i veličine odevnog predmeta, suštinski značaj u pogledu toplotnog komfora ima sposobnost tekstilnog materijala da prenosi toplotu i propušta vazduh i vodenu paru (znoj). Međutim, vrlo često se sposobnost tekstilnog materijala da prenosi vodu (znoj u tečnom stanju) uzima kao ključni parametar toplotnog komfora. To su situacije kada se odevni predmet koristi u uslovima većih fizičkih aktivnosti, ili u uslovima čestih promena fizičke aktivnosti i klimatskih uslova okruženja kada dolazi do vremenskog zaostajanja u termo-

regulaciji ljudskog organizma. U tzv. normalnim uslovima, koji podrazumevaju uobičajeni nivo fizičke aktivnosti i neekstremne klimatske uslove, telo oslobodi oko 60 ml vodene pare u toku jednog sata. Ovakvo latentno ili neprimetno znojenje ili isparavanje vlage u obliku pare čini 15% ukupno oslobođene toplote kroz kožu. Jača fizička aktivnost izaziva porast energije metabolizma pri čemu znojne žlezde luče 450 ml/h znoja [1]. Ukoliko tečni znoj ne bude dovoljno brzo odveden sa površine kože, narušava se osećaj komfora. Oslobođanje toplote isparavanjem tečnog znoja je izuzetno važno i u uslovima visokih ambijentalnih temperatura kada su kondukcija, konvekcija i radijacija smanjeni usled niskog temperaturnog gradijenta. U slučaju kada je prisutan temperaturni gradijent suprotnog smera između kože i okruženja, isparavanje znoja ostaje jedini način da se telo oslobodi viška toplote. S obzirom da je latentna toplota isparavanja vode 2500 kJ/kg, čak i mala isparena količina znoja značajno doprinosi ukupnom toku toplote.

Istraživanja su pokazala da se, u zavisnosti od agregatnog stanja, znoj različitim fizičkim mehanizmima prenosi kroz tekstilne materijale. Znoj u obliku pare se prenosi molekulskom difuzijom kroz vlakna, površinskom difuzijom adsorbovanih molekula na površini vlakana i molekulskom difuzijom kroz pore u materijalu. Pri tome može da dođe do apsorpcije vlage što zavisi od hemijske prirode vlakana. Znoj u obliku tečnosti se prenosi mehanizmom adsorpcije po površini vlakana i pređe i mehanizmom kapilarnog kvašenja, pri čemu su ovi mehanizmi uslovljeni hidrofilnošću površine vla-

NAUČNI RAD

UDK 677.075.017

Hem. Ind. 69 (2) 193–200 (2015)

doi: 10.2298/HEMIND140201034N

Prepiska: S. Stanković, Tehnološko–metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija.

E-pošta: stankovic@tmf.bg.ac.rs

Rad primljen: 1. februar, 2014

Rad prihvaćen: 2. april, 2014

kana. Tečnost može da se zadrži u međuprostorima između vlakana ili da se apsorbuje vlaknima.

Pored sposobnosti da odvede vlagu sa površine kože, od tekstilnog materijala se generalno očekuje da se sam brzo oslobodi vlage, odnosno da se brzo suši. U suprotnom, vlaga koje se zadržava u materijalu izaziva osećaj hladnoće i narušava osećaj komfora. Sposobnost tekstilnih materijala da prenose paru i tečnost je u međunarodnoj literaturi poznata pod zajedničkim imenom svojstva upravljanja vlagom (eng. *moisture management properties*). Bilo da se radi o prenosu znoja u obliku pare ili tečnosti, reč je o komplikovanim procesima koji su uslovljeni nizom faktora kao što su sirovinski sastav (hidrofilna ili hidrofobna priroda vlakana), poroznost i debljina materijala [2]. Polazeći od poznate hidrofilne prirode celuloznih vlakana, ali imajući u vidu strukturne parametre tekstilnog materijala koji definišu njegovo ponašanje u pogledu sposobnosti prenosa vlage, u okviru ovog rada su ispitivana svojstva upravljanja tečnostima glatkih pletenina izrađenih od prirodnih i regenerisanih celuloznih vlakana. Iako je relativno veliki broj naučnih radova posvećen ispitivanjima ovih svojstava tekstilnih materijala [3–15], u okviru ovog rada učinjen je pokušaj analize kompleksnog uticaja strukturnih parametara pletenina imajući u vidu njihovu tipičnu hijerarhijsku strukturu koju čine tri nivoa: mikroskopski (vlakna), mezoskopski (pređa) i makroskopski (pletenina).

EKSPERIMENTALNI DEO

Materijal

U okviru ovog istraživanja korišćene su štapel jednožične pređe od konoplje (Linificio Canapificio Nazionale, Italija), pamuka (PVK, Vranje) i viskoza (Viskoza, Loznica) iste nominalne finoće 50 tex sa upređanjem u

Z smeru. Nominalne i faktičke karakteristike jednožičnih ispitivanih pređa date su u tabeli 1. Provera faktičkih svojstava ispitivanih pređa sprovedena je prema standardima SRPS ISO 2060 [16] i SRPS ISO 2061 [17].

Prethodnim dubliranjem jednožičnih štapel pređa omogućeno je dobijanje homogene pamučne, viskozne i pređe od konoplje i dubliranih nehomogenih konoplja/pamuk i konoplja/viskoza pređa. Na kružnoj pletačoj mašini finoće NoE 20 od ovih pređa su izrađene glatke desno-leve (DL) pletenine čije su konstrukcije karakteristike date u tabeli 2.

Debljina pletenina je određena prema standardu SRPS EN ISO 5084 [18]. Ostali strukturni parametri proizvedenih pletenina određeni su prema uobičajenoj proceduri opisanoj u literaturi [19]. Sva ispitivanja vršena su u kondicionim uslovima (20 ± 2 °C, Rh $65 \pm 2\%$). DL pletenine su podvrgnute ispitivanjima koja se odnose na sposobnost propuštanja vodene pare i tečnosti.

Metode ispitivanja

Pređe su podvrgnute ispitivanju geometrije površine, dok su svojstva upravljanja vlagom glatkih DL pletenina ocenjena upotrebom dve metode. Propustljivost vodene pare je ocenjena parametrima – otpornost prema propuštanju vodene pare i propustljivost vodene pare. Sposobnost propuštanja vode ispitivana je nešto modifikovanim testom distribucije vode koji je razvijen od strane kompanije Polartec® LLC (Lawrence, MA, USA), a u stručnoj literaturi je poznat pod nazivom Malden Mills test, kako glasi stari naziv kompanije.

Geometrija površine pređe ocenjena je parametrom – maljavost pređe. Za ispitivanje maljavosti pređe korišćen je instrument Shirley Hairiness Monitor SDL 103. Instrument sačinjavaju merna i računska jedinica. Mernu jedinicu čine izvor svetlosti i fotodioda, tako da prilikom prolaženja pređe kroz mernu glavu (55–100

Tabela 1. Karakteristike jednožičnih pređa
Table 1. Characteristics of the single yarns

Vlakno	Finoća, tex		Upređanje, m ⁻¹		Koficijent upređanja, tex ^{1/2} cm ⁻¹	
	Nominalno	Faktičko	Nominalno	Faktičko	Nominalno	Faktičko
Konoplja	50	47,8	400	370	28,3	25,6
Pamuk	50	48,9	490	475	34,6	33,2
Viskoza	50	44,4	400	340	28,3	22,6

Tabela 2. Konstrukcije karakteristike DL pletenina
Table 2. Construction characteristics of the plain knitted fabrics

Sirovinski sastav	Gustina petlji, cm ⁻¹		Površinska gustina cm ⁻²	Dužina petlje mm	Debljina mm	Površinska masa g m ⁻²
	D _h	D _v				
Konoplja+konoplja	5,5	13,7	75,4	5,0	0,916	360,4
Pamuk+pamuk	6,0	12,0	72,0	5,4	1,163	387,3
Viskoza+viskoza	6,0	13,0	78,0	5,3	1,048	367,1
Konoplja+pamuk	5,5	13,0	71,5	5,3	1,047	366,4
Konoplja+viskoza	5,5	14,0	77,0	5,3	0,957	376,3

m/min) prisutna štrčeca vlakna prekidaju za trenutak svetlosni fluks. Pojačani signal sa fotodiode, kao funkcija smanjenja svetlosti koja pada na fotočeliju, prenosi se u računsku jedinicu koja obezbeđuje digitalni zapis. Korišćena varijanta instrumenta registruje malje duže od 3 mm sa odsečka pređe od 70° tela pređe, uz mogućnost podešavanja vremena merenja u određenom intervalu i kontinualno. Za potrebe ovog istraživanja izabran je vremenski interval od 5 s, budući da se pokazalo da se upotrebom tog intervala mogu dobiti reprezentativni rezultati. Za svaku pređu izvršeno je po 30 merenja maljavosti (broja malja registrovanih u toku 5 s). Srednje vrednosti ovih rezultata iskazane su kao broj malja po 1 m pređe.

Ispitivanja propustljivosti vodene pare vršena su na Permetest-u (Sensora Instruments, Češka) po proceduri nešto izmenjenoj u odnosu na standard ISO 11092 (Textiles – Physiological effects-Measurement of the thermal and water-vapour resistance). Izmene se odnose na primenu izotermičkih uslova merenja, koji podrazumevaju održavanje temperature u intervalu 20–22 °C što odgovara ambijentalnoj temperaturi. Pored toga, umesto relativne vlažnosti paralelnog toka vazduha od 40%, ispitivanja su vršena pri relativnoj vlažnosti od 60–65% (ambijentalna vlažnost) [20]. Permetest predstavlja mali „model kože“. Merna glava ovog uređaja, sa površinom od poroznog metalnog sloja, pokrivena je polupropustljivom teflonskom membranom koja je propustljiva za vodenu paru ali ne i za tečnost. Toplotni fluks, nastao kao posledica isparavanja vode sa porozne površine, meri se specijalnim senzorom koji čini integralni deo poroznog sloja. Posredstvom pojačivača signal se šalje digitalnom indikatoru električnog napona koji registruje napon u mV. U sledećem koraku polupropustljiva površina merne glave se pokriva uzorkom pletenine i po uspostavljanju stabilnog signala registruje se nivo napona koji karakteriše gubitke toplote u prisustvu pletenine. Opisana procedura je ponovljena tri puta za svaku ispitivanu pleteninu. Na osnovu registrovanih vrednosti napona, odnosno toplotnog fluksa za ispitivane pletenine, i shodno standardu ISO 11092 [21] izračunate su vrednosti otpornosti pletenina prema propuštanju vodene pare (R_{et}) ($m^2 Pa W^{-1}$) prema relaciji (1):

$$R_{et} = (p_{vz} - p_v) \left(\frac{1}{S_s U_o} - \frac{1}{S_s U_s} \right) = C_{ref} (100 - \phi) \left(\frac{1}{q_s} - \frac{1}{q_0} \right) \quad (1)$$

gde je p_{vz} (Pa) – parcijalni pritisak vodene pare u slučaju zasićenog vazduha na datoj temperaturi, p_v (Pa) – aktuelni parcijalni pritisak vodene pare, U_o i U_s – registrovani električni napon u mV za mernu glavu bez pletenine i u slučaju fiksiranja uzorka preko merne glave, ϕ

(%) – relativna vlažnost vazduha, q_s i q_0 – srednja vrednost toplotnog fluksa u $W m^{-2}$ u prisustvu uzorka pletenine i bez njega i S_s ($W m^{-2} mV^{-1}$) – osetljivost senzora (koji meri toplotni fluks). Konstanta C_{ref} se određuje kalibracijom uz upotrebu referentnog uzorka poznate otpornosti isparavanju ($R_{et} = 2,36 m^2 Pa W^{-1}$).

Relativna propustljivost vodene pare, P_{wv} (%), DL pletenina je izračunata kao količnik registrovanih vrednosti električnog napona u prisustvu uzorka pletenine i bez njega.

Malden Mills test distribucije vode koji je poslužio za ocenu sposobnosti pletenina da propuštaju vodu ne podrazumeva upotrebu posebnog uređaja. Prema proceduri, uzorak pletenine se postavlja horizontalno između dva filter papira tako okrenutih da njihova apsorbujuća strana bude u kontaktu sa uzorkom. Na površinu pletenine koja je okrenuta na gore nanosi se određena zapremina vode (2 ml). Posle perioda stabilizacije (2 min) preko gornjeg filter papira postavlja se opterećenje (500 g), i posle jednog minuta meri se masa gornjeg i donjeg filter papira. Voda apsorbovana u donjem (W_d) i gornjem (W_g) filter papiru omogućuje da se odgovarajućim proračunom dođe do podataka koji definišu distribuciju vode na desnoj (licu) i levoj (naličju) strani pletenine. Kada se na levu stranu pletenine nanese određena zapremina vode, količina vode koja je prošla na njenu desnu stranu (W_d) u odnosu na ukupnu količinu vode (W_{uk}) apsorbovane filter papirima predstavlja vrednost distribucije vode na levoj strani (naličju) pletenine (WD_L) prema relaciji (2):

$$WD_L = \frac{W_d}{W_{uk}} \quad (2)$$

Za određivanje vrednosti distribucije vode na desnoj strani pletenine (WD_D) procedura se ponavlja, s tim što je uzorak pletenine u ovom slučaju okrenut desnom stranom (licem) na gore i na nju je naneta voda. Opisana procedura je za sve pletenine ponovljena na po tri uzorka tako da dobijene vrednosti WD_L (distribucija vode na levoj strani pletenine) i WD_D (distribucija vode na desnoj strani pletenine) predstavljaju srednje vrednosti tri merenja.

U svrhu analize sposobnosti pletenina da propuštaju vodenu paru i tečnost izračunati su gustina i poroznost DL pletenina. Gustina pletenine, δ ($kg m^{-3}$), određena je odnosom njene površinske mase i debljine. Ukupna poroznost pletenine, P (%), definisana kao ukupna količina vazduha u pletenini (između i unutar pređe) izračunata je prema relaciji (3), gde je ρ ($kg m^{-3}$) specifična gustina vlakna:

$$P = 100 - 100 \frac{\delta}{\rho} \quad (3)$$

Statistička značajnost eksperimentalnih rezultata analizirana je ANOVA statistikom (analiza varijanse).

Rezultat ovog testa sastoji se od srednjih vrednosti i varijansi ispitivanih uzoraka, vrednosti statistike (F), kritične vrednosti statistike (F_{crit}), kao i nivoa značajnosti (P) statistike F . ANOVA statistikom se porede srednje vrednosti eksperimentalnih rezultata, pri čemu se u slučaju kada je $F > F_{crit}$, uz uslov da je nivo značajnosti statistike (P) manji od praga značajnosti ($\alpha = 0,05$), zaključuje da uzorci ne potiču iz iste populacije, odnosno potvrđuje se uticaj testiranog faktora.

REZULTATI I DISKUSIJA

Svojstva pređa

U okviru ovog istraživanja geometrija površine pređe je ocenjena pomoću parametra – maljavost pređe, koja je definisana kao broj malja na jedinici dužine pređe. Za pređe upotrebene u okviru ovog rada vrednosti maljavosti prikazane su na slici 1 [22]. Viskozna pređa se odlikuje najvećom maljavošću, dok je pređa od konoplje okarakterisana najmanjom maljavošću.

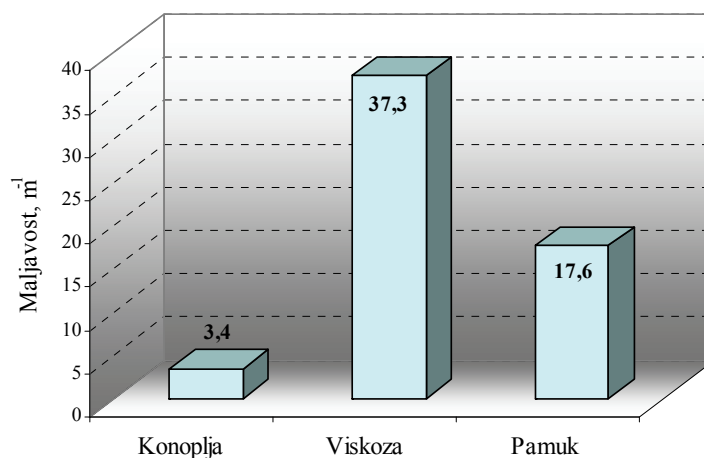
Poznato je da pređe proizvedene tehnikom rotorskog (OE) predenja imaju rastresitu strukturu sa smanjenom gustinom pakovanja vlakana uz prisustvo karakterističnih ovojnih vlakana i površinu koja je sačinjena od vlaknastih petlji. Ovakve pređe sadrže veliku količinu vazduha za razliku od pređa proizvedenih konvencionalnim tehnikama (prstenasto predenje), koje se karakterišu kompaktnom strukturom (veća gustina pakovanja vlakana) i štrčecim krajevima vlakana na površini pređe. U okviru pređa upotrebljenih za izradu DL pletenina, pamučna pređa je proizvedena po rotorskom postupku predenja, dok su viskozna pređa i pređa od konoplje proizvedene na konvencionalnim prstenastim predilicama. Razlika u maljavosti viskozne pređe i pređe od konoplje se može pripisati uticaju deformativnih svojstava ovih vlakana. Naime, pretpostavlja se da mala gipkost vlakana konoplje usporava migraciju vlakana prilikom formiranja pređe čime je sprečeno

intenzivnije oslobađanje krajeva vlakana u površinskom sloju pređe.

Svojstva pletenina

Celulozna vlakna se generalno smatraju sirovinom sa visokim potencijalom u pogledu sposobnosti upravljanja vlagom, što se pripisuje prisustvu lumena u unutrašnjosti vlakna i njihovoj hidrofilnoj prirodi (površini). Sa druge strane, ranija istraživanja su pokazala da struktura tekstilnog materijala, pre svega debljina i poroznost, mogu često da imaju presudnu ulogu kada se radi o sposobnosti propuštanja vodene pare i tečnosti. Zbog toga se u okviru ovog istraživanja pristupilo analizi gustine i poroznosti ispitivanih DL pletenina. Rezultati, dati u tabeli 3 ukazuju na izvesne razlike između pletenina uprkos činjenici da su one bile proizvedene na istoj mašini sa unapred zadatim i kontrolisanim parametrima. Ispoljene razlike u gustini i poroznosti pletenina posledica su manjih razlika u konstrukcionim karakteristikama, pre svega debljini i površinskoj gustini (tabela 2). Uočene male razlike u konstrukcionim karakteristikama pletenina posledica su prethodno opisanih razlika u geometriji upotrebljenih celuloznih pređa.

Pamučna pletenina je okarakterisana najvećom poroznošću, što se pripisuje rastresitoj OE pamučnoj pređi koja u sebi sadrži veću količinu vazduha uključenoj između vlakana u poređenju sa konvencionalno predenom viskoznom i konopljinom pređom. Pletenina od konoplje i konoplja+viskoza pletenina se odlikuju najmanjom poroznošću, što je posledica njihove povećane gustine (tabela 3) kao i usporene migracije vlakana konoplje prilikom formiranja pređe. Sa aspekta sposobnosti upravljanja vlagom, pored ukupne poroznosti tekstilnog materijala, od velike važnosti je slobodna otvorena površina materijala koju čine makropore – otvori između pređa u tkanini ili pletenini. Praktično se može reći da se difuzija vodene pare kroz otvorene pore (makropore) tekstilnog materijala odvija



Slika 1. Maljavost pređa od kojih su izrađene DL pletenine.

Figure 1. Hairiness of the yarns used for production of the plain knitted fabrics.

Tabela 3. Fizička svojstva pletenina
Table 3. Physical properties of the knitted fabrics

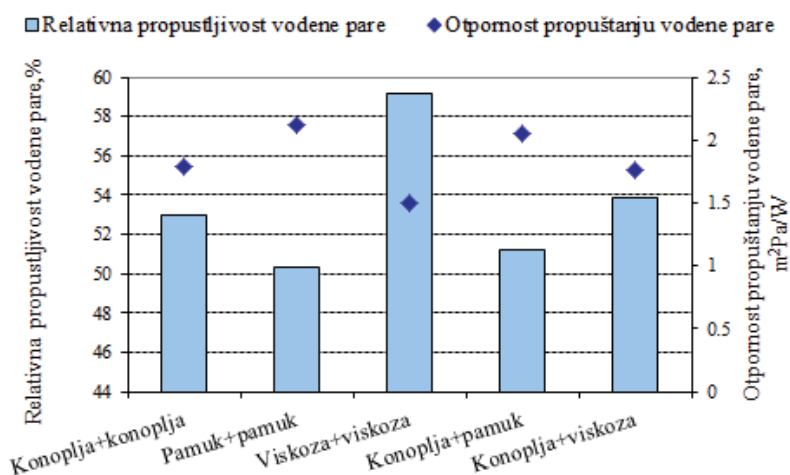
Sirovinski sastav	Gustina, g cm ⁻³	Poroznost, %	Propustljivost vazduha, m ³ m ⁻² min ⁻¹
Konoplja+konoplja	0,398	74,0	64,7
Pamuk+pamuk	0,327	78,2	34,8
Viskoza+viskoza	0,353	76,5	53,7
Konoplja+pamuk	0,353	76,4	46,5
Konoplja+viskoza	0,387	74,2	55,3

nesmetano. Pored toga, kapilarno kvašenje materijala je uslovljeno veličinom i oblikom makropora. Polazeći od činjenice da se strujanje vazduha kroz tekstilni materijal u najvećoj meri dešava kroz makropore, za kvalitativnu ocenu makroporoznosti DL pletenina poslužio je parametar – propustljivost vazduha. Propustljivost vazduha DL pletenina, određena prema standardu ISO 9237 (*Textiles – Determination of the permeability of fabrics to air*), prikazana je u tabeli 3 [23]. Pamučna pletenina, okarakterisana najvećom ukupnom poroznošću, ispoljila je najmanju sposobnost propuštanja vazduha. Rastresita OE pamučna pređa je doprinela većoj ukupnoj poroznosti pletenine, ali je istovremeno zatvorila makropore u pletenini i redukovala propustljivost vazduha. Iako najmanje porozna, pletenina od konoplje je ispoljila najveću propustljivost vazduha. To se pripisuje kompaktnoj (velikoj gustini pakovanja vlakana) pređi od konoplje što je omogućilo stvaranje većeg međuprosatora između pređa u pletenini, te veću propustljivost vazduha. Kod pletenina na bazi konoplje (konopljina pređa je jedna od komponentnih pređa) došlo je do stvaranja veće slobodne površine zahvaljujući kompaktnoj pređi od konoplje, pa je propustljivost vazduha ovih pletenina veća u odnosu na odgovarajuće homogene varijante.

Propustljivost vodene pare ili sposobnost materijala da prenosi vodenu paru definiše se kao količina vodene

pare koja za određeno vreme prođe kroz jedinicu površine materijala kao rezultat gradijenta pritiska između dve površine materijala. U pogledu toplotnog komfora prednost se daje tekstilnim materijalima sa većom propustljivošću vodene pare. S obzirom na to da je ispitivanje propustljivosti vodene pare sprovedeno u stacionarnim uslovima (odsustvo temperaturnog gradijenta i konstantan gradijent koncentracije vlage), analiza dobijenih rezultata obuhvatila je mehanizme prenosa vodene pare molekulskom difuzijom kroz vlakno, difuzijom po površini vlakna i difuzijom kroz otvorene pore pletenina. Rezultati ispitivanja propustljivosti vodene pare DL pletenina, predstavljeni na slici 2, ukazuju na određene razlike između pletenina. Statistička analiza je pokazala da uočene razlike u pogledu propustljivosti vodene pare nisu slučajnog karaktera ($F(13,05) > F_{crit}(3,48)$ za $P(0,56 \times 10^{-3}) < \alpha(0,05)$).

U okviru ispitivanih DL pletenina izdvojila se viskozna pletenina sa najmanjom otpornošću, odnosno najvećom propustljivošću vodene pare. Najmanju sposobnost propuštanja vodene pare ispoljila je pamučna pletenina, koja je prethodno ocenjena kao pletenina sa najmanjom slobodnom otvorenom površinom (tabela 3, propustljivost vazduha). Distribucija pora u pamučnoj pletenini u korist mikropora (pore između vlakana u pređi) prouzrokovala je difuziju vodene pare naizmenično kroz gasovitu i polimernu fazu, što je usporilo



Slika 2. Propustljivost vodene pare DL pletenina.

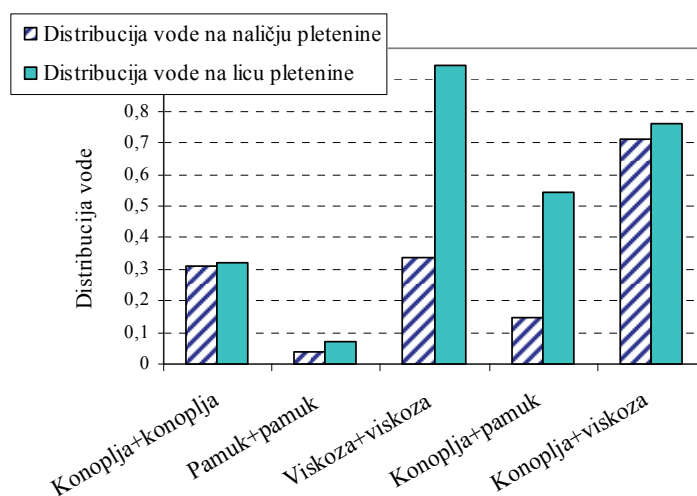
Figure 2. Water vapour permeability of the plain knitted fabrics.

prenos vodene pare kroz materijal. Naime, znatno niži koeficijent difuzije vodene pare kroz celulozno vlakno ($10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) [3] u odnosu na vazduh ($0,239 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) ograničio je difuziju vlage unutar vlakna i izvan njega. Sa druge strane, sposobnost pletenine od konoplje da propušta vodenu paru je manja u odnosu na viskoznu pleteninu uprkos tome što je konopljinina pletenina okarakterisana većom makroporoznošću. Ovakav rezultat ukazuje na mogućnost da je kod viskozne pletenine intenzivirana površinska difuzija adsorbovanih molekula vlage kao posledica povećanja specifične površine pletenine usled izražene maljavosti viskozne pređe. Ponašanje pletenina kod kojih je konopljinina pređa bila jedna od komponenti u pogledu propustljivosti vodene pare reflektuje uticaj obe komponente. Tako je kod konoplja+pamuk pletenine uočeno povećanje propustljivosti vodene pare u odnosu na pamučnu pleteninu zahvaljujući izvesnom povećanju otvorene slobodne površine uvođenjem kompaktne pređe od konoplje.

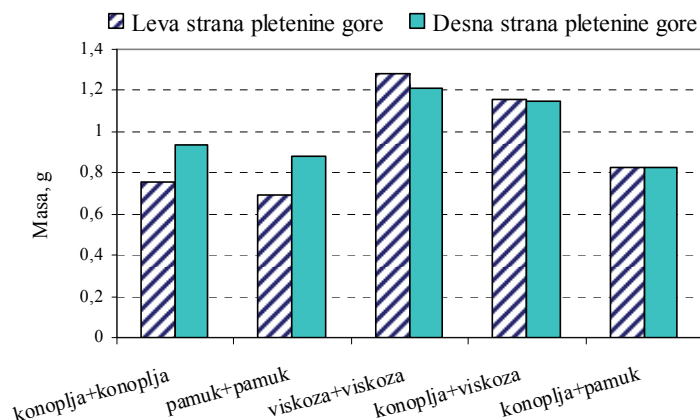
Poznato je da je sposobnost kvašenja tekstilnih materijala uslovljena vrstom vlakana, strukturom i svojstvima pređe i strukturom tekstilne površine. Eksperimentalni materijal koji je upotrebljen u ovom istraživanju omogućio je ocenu uticaja vrste vlakana i geometrije pređe na sposobnost kvašenja DL pletenina. Pored toga, primenjena metoda je omogućila sagledavanje specifičnosti strukture DL pletenina u pogledu karakteristika kvašenja. Sposobnost DL pletenina da propuštaju tečnost ocenjena je parametrima koji opisuju distribuciju vode na levoj (naličju) i desnoj (licu) strani pletenine. Rezultati su prikazani na slici 3.

Test distribucije vode na levoj i desnoj strani pletenine daje odgovor na pitanje koliko tečnosti svaka od ispitivanih pletenina može da propusti. Veća vrednost parametra pokazuje da veća količina tečnosti prolazi kroz pleteninu, odnosno ukazuje na veću sposobnost

kapilarnog kvašenja pletenine. Najmanju sposobnost prenosa tečnosti pokazala je pamučna pletenina što se, prema teoretskim saznanjima, moglo i pretpostaviti. Naime, ova činjenica se može pripisati maloj makroporoznosti pamučne pletenine, što je potvrđeno vrednostima propustljivosti vazduha (tabela 3), i dobro poznatim apsorpcionim svojstvima pamučnih vlakana. Sa druge strane, najveća sposobnost prenosa tečnosti uočena je kod viskozne pletenine i konoplja+viskoza pletenine, iako je makroporoznost ovih pletenina niža u poređenju sa pleteninom od konoplje. U svrhu tumačenja ovih rezultata, pristupilo se izračunavanju mase vode koja se prilikom sprovođenja testa zadržala u pletenini. Ova vrednost se dobija kada se od mase vode nanete na uzorak pletenine oduzme ukupna masa vode apsorbovane filter papirima. Na grafikonu prikazanom na slici 4 može se uočiti da su u testu distribucije vode pletenine ispoljile različitu sklonost ka zadržavanju vode, što je potvrđeno analizom varijanse u slučaju kada je voda naneta na lice pletenine ($F(3,49) > F_{crit}(3,25)$ za $P(0,042) < \alpha(0,05)$), i u slučaju kada je naličje pletenine bilo u kontaktu sa vodom ($F(12,13) > F_{crit}(3,25)$ za $P(0,75 \times 10^{-3}) < \alpha(0,05)$). Uočava se da su viskozna i konoplja+viskoza pletenina zadržale najveću količinu vode. Razlog tome je poznat povećani afinitet viskoznih vlakana ka apsorpciji vode. Pored toga, dosadašnja istraživanja su pokazala da, iako se makropore u tekstilnom materijalu brzo „pune“ tečnošću, mikropore su odgovorne za dostizanje maksimalne visine tečnosti, ili u konkretnom slučaju, mikropore pomažu da tečnost „izbije“ na suprotnu površinu pletenine. Manja otvorena slobodna površina viskozne i konoplja+viskoza pletenine, uz veću ukupnu poroznost, navode na zaključak da su mikropore u većoj meri zastupljene kod ovih pletenina u poređenju sa pleteninom od konoplje. Otuda se kod pletenine od konoplje, uprkos njenoj najvećoj



Slika 3. Sposobnost kapilarnog kvašenja DL pletenina.
Figure 3. Water distribution values of the plain knitted fabrics.



Slika 4. Masa vode koja se zadržala u pletenini u testu distribucije vode.
Figure 4. Water held by a knitted fabric in water distribution test.

makroporoznosti, uočava manja sposobnost prenosa tečnosti u odnosu na pletenine koje sadrže viskoznu pređu.

Statistička analiza (ANOVA) rezultata kapilarnog kvašenja pletenina dobijenih u testu distribucije vode potvrdila je prethodno tumačenje u slučaju kada su pletenine bile ispitivane sa licem na gore, odnosno kada je desna strana pletenine bila u kontaktu sa vodom ($F(7,04) > F_{crit}(3,48)$ za $P(5,8 \times 10^{-3}) < \alpha(0,05)$). S obzirom da razlike u sposobnosti prenosa vode, uočene između uzoraka pletenina kada je njihovo naličje bilo u kontaktu sa vodom, nisu potvrđene statističkom analizom ($P(0,16) > \alpha(0,05)$), nameće se potreba daljeg ispitivanja uz povećanje broja merenja po pletenini.

ZAKLJUČAK

Sprovedenim istraživanjima je potvrđeno da distribucija pora u pleteninama predstavlja ključni parameter koji definiše njihovu sposobnost da propuštaju vodenu paru i tečnost. Pri tome treba imati u vidu da je distribucija pora u okviru eksperimentalnog materijala bila uslovljena deformacionim svojstvima upotrebljenih prirodnih i regenerisanih celuloznih vlakana, kao i primenjenim tehnikama izrade pređa. Iako je generalno potvrđena analogija između sposobnosti upravljanja vlagom i otvorene slobodne površine pletenina, pokazalo se da njihova korelacija nije uvek jednostavna. Interakciju makroporoznosti pletenina i njihove sposobnosti da propuštaju vodenu paru komplikuje fenomen difuzije molekula vlage duž površine vlakana odnosno pređe, dok vlakna svojom prirodom mogu da modifikuju sposobnost kapilarnog kvašenja pletenina.

Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost da se pažljivim izborom sirovine (vlakana) i projektovanjem strukture pređe mogu dobiti pletenine sa unapred definisanom sposobnošću upravljanja tečnostima. Kako bi se dobile preciznije smernice u tom smislu, neophodna su dalja istraživanja uz proširenje eksperimentalnog

materijala u pravcu upotrebe različitih vrsta vlakana i različitih struktura pređa i pletenina.

Zahvalnica

Zahvaljujemo se Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansiranje projekta OI171029.

LITERATURA

- [1] V.T. Bartels, in: G. Song (Ed.), *Improving Comfort in Clothing*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, 2011, pp. 385–411.
- [2] S. Stanković, *Komfor odeće*, Zadužbina Andrejević, Tehnološko–metalurški fakultet, Beograd, 2012, pp. 37–43.
- [3] H.N. Yoon, A. Buckley, *Improved comfort polyester: Part I: Transport properties and thermal comfort of polyester/cotton blend fabric*, *Text. Res. J.* **54** (1984) 289–298.
- [4] M.M. Adler, W.K. Walsh, *Mechanisms of transient moisture transport between fabrics*, *Text. Res. J.* **54** (1984) 334–343.
- [5] B. Miller, D.B. Clark, *Liquid transport through fabrics, wetting and steady-state flow*, *Text. Res. J.* **48** (1978) 150–155.
- [6] E. Kissa, *Wetting and wicking*, *Text. Res. J.* **66** (1996) 660–668.
- [7] R.K. Nayak, S.K. Punj, K.N. Chatterjee, *Comfort properties of suiting fabrics*, *Ind. J. Fiber Text. Res.* **34** (2009) 122–128.
- [8] N. Ozdil, A. Marmarali, S.D. Kretschmar, *Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics*, *Int. J. Therm. Sci.* **46** (2007) 1318–1322.
- [9] A. Majumdar, S. Mukhopadhyay, R. Yadav, *Thermal properties of knitted fabrics made from cotton and regenerated bamboo cellulosic fibers*, *Int. J. Therm. Sci.* **49** (2010) 2042–2048.
- [10] W. Zhong, X. Ding, Z.L. Tang, *Analysis of fluid flow through fibrous structures*, *Text. Res. J.* **72** (2002) 751–755.

- [11] S. Stanković, K. Asanović, B. Pejić, Karakteristike kvašenja pletenina na bazi konoplje namenjenih za medicinske svrhe, *Tekstilna industrija* **54** (2006) 24–29.
- [12] M. Novaković, M. Bizjak, S. Stanković, Uticaj strukture pređe na propustljivost vodene pare glatkih pletenina, *Savremene tehnologije* **2** (2013) 15–20.
- [13] A. Perwuelz, M. Casetta, C. Caze, Liquid organisation during capillary rise in yarns- influence of yarn torsion, *Polym. Test.* **20** (2001) 553–561.
- [14] C.I. Su, J.X. Fang, X.H. Chen, W.Y. Wu, Moisture absorption and release of profiled polyester and cotton, composite knitted fabrics, *Text. Res. J.* **77** (2007) 764–769.
- [15] R. Fanguero, A. Fligueiras, F. Soutinho, X. Meidi, Wicking behavior and drying capability of functional knitted fabrics, *Text. Res. J.* **80** (2010) 1522–1530.
- [16] SRPS ISO 2060, Pređa u namotajima – Određivanje linearne gustine – Metoda povesma, 1995.
- [17] SRPS ISO 2061, Tekstil – Određivanje uvoja u pređi – Metoda direktnog brojanja, 1994.
- [18] SRPS EN ISO 5084, Tekstil – Određivanje debljine tekstila i tekstilnih proizvoda, 2013.
- [19] A. Koblyakov, in A. Koblyakov (Ed.), *Laboratory Practice in the Study of Textile Materials*, Mir Publisher, Moscow, 1989, pp. 254–262.
- [20] *Sensors Instruments & Consulting*, Manual of use of the instrument.
- [21] ISO 11092, Textiles – Physiological effects – Measurement of the thermal and water-vapour resistance.
- [22] S. Stanković, Uticaj strukture pređa na bazi agroceluloznih vlakana na njihovu dalju tekstilnu transformaciju i upotrebna svojstva, *Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*, 2009.
- [23] S. Stanković, D. Popović, G. Poparić, Thermal properties of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers, *Polym. Test.* **27** (2008) 41–48.

SUMMARY

MOISTURE MANAGEMENT PROPERTIES OF PLAIN KNITTED FABRICS MADE OF NATURAL AND REGENERATED CELLULOSE FIBRES

Milada S. Novaković^{1,2}, Lana S. Putić², Matejka Bizjak³, Snežana B. Stanković²

¹*High Technical Colledge of Professional Studies, Zrenjanin, Serbia*

²*University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia*

³*University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia*

(Scientific paper)

Moisture management is a complicated process which is known to be influenced by a variety of fabric characteristics such as fibre nature (hydrophilic or hydrophobic), porosity and thickness. There are different aspects of the moisture management properties of textile materials since water transport in textile materials can be in the form of liquid and vapour. The ability of textile materials to transfer water vapour allows the human body to keep thermal balance due to evaporation. With stronger physical activity of a person when the body produces a large amount of heat, the skin perspiration increases (in order to regulate the body temperature) and liquid sweat should be taken from the skin, otherwise it will worsen the sense of comfort. The aim of this research was to investigate the factors influencing moisture management properties of plain knitted fabrics at the three scale levels, *i.e.*, microscopic (fibre type), mesoscopic (yarn geometry) and macroscopic (fabric porosity) levels. Plain knitted fabrics were produced from the two-assembled hemp, cotton and viscose yarns under controlled conditions so as to be comparable in basic construction characteristics, but varying in yarns geometry. Evaporative resistance test reflecting vapour transport and water distribution test reflecting liquid transport in the knitted fabrics were conducted. To determine the statistical importance of the results, analysis of variance (ANOVA) was applied. As a consequence of the geometry and deformation behaviour of the fibres used and spinning techniques applied, the yarns differed in both packing density and surface geometry, thus determining the pore distribution. Due to loose structure of the cotton yarn, the cotton knitted fabric was characterised by the lowest free open surface (macroporosity) exhibiting the lowest both water vapour and liquid permeability. Although having the highest macroporosity, the water vapour and liquid transport capability of the hemp knitted fabric was lower than that of the viscose knit. The best moisture management properties of the viscose knitted fabric were resulted from viscose affinity for water absorption and increased surface area of the viscose yarn. The results obtained proved that variations in any of the hierarchical structure levels can modify moisture transport ability of textile fabrics. Therefore, the moisture management properties of textile materials can be guided in a desired direction by the appropriate selection of fibres and careful design of yarn structure.

Keywords: Knitted fabric • Moisture management • Water vapor permeability • Water distribution • Porosity • Yarn hairiness