

izr. prof. dr. **Barbara Simončič**, univ. dipl. inž. tekst. teh.
Lidija Černe, univ. dipl. inž. tekstilne tehnologije
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta,
Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, SI-1000 Ljubljana;
e-pošta: barbara.simoncic@ntftex.uni-lj.si
e-pošta: lidija@ntftex.uni-lj.si

Vpliv različnih dejavnikov na površinsko prosto energijo apretiranih bombažnih tkanin

Namen raziskave je bil preučiti vplive kemijske strukture in poroznosti tkanine ter polarnosti in površinske napetosti tekočine na površinsko prosto energijo bombažnih tkanin. Uporabljeni sta dve bombažni tkanini različnih konstrukcijskih parametrov, na kateri so bili nanoseni fluoroogljikovi polimeri. Površinske proste energije apretiranih tkanin so bile določene iz meritev stičnih kotov med različnimi tekočinami in tkaninama v določenem časovnem območju z optično metodo. Iz meritev statičnih stičnih kotov tekočin določenih površinskih napetosti so bile na podlagi Kwokovega teoretičnega modela izračunane površinske proste energije tkanin, pri čemer je bila uporabljena 'enačba stanja'. Iz rezultatov meritev je razvidno, da so se stični koti nepolarnih kot tudi polarnih tekočin na površini bombažnih tkanin povečevali z naraščajočo površinsko napetostjo tekočin. Polarnost uporabljenih tekočin ni statistično značilno vplivala na vrednosti površinske proste energije. Le-te so bile za obe apretirani tkanini nižje od 10 mJ/m^2 , in se med seboj niso statistično značilno razlikovale. Iz tega sledi zaključek, da je površinska prosta energija lastnost tkanine, ki odraža le medmolekulske interakcije na stični površini trdno/tekoče, ne upošteva pa poroznosti tkanine.

Ključne besede: površinska prosta energija, bombažna tkanina, stični koti, kemijska struktura tkanine, poroznost tkanine, polarnost tekočine.

Influence of Different Parameters on the Surface Free Energy of Finished Cotton Fabrics

The aim of this research work was to investigate the influence of the fabric chemical structure and porosity as well as the liquid polarity and surface tension on the surface free energy of the cotton fabrics. Two cotton fabrics of different construction parameters which were finished with the fluorocarbon polymers were used. The surface free energy of the finished fabrics were determined from the contact angle measurements between different liquids and fabrics during the specified time range with an optical method. From the static contact angle measurements of liquids of known surface tension the fabric surface free energies were calculated on the basis of Kwok theoretical model where the 'equation of state' was used. It can be seen from the results that the contact angles of non-polar and polar liquids obtained on the surface of tested fabrics increased with the increase of the liquid surface tension. The polarity of liquid does not statistically significantly affect the values of the surface free energy. These values which are lower than 10 mJ/m^2 for both studied fabrics do not statistically significantly differ from each other. From this it can be concluded that the surface free energy is the property of the fabric which reflected the intermolecular interactions between the liquid and the solid, but does not include the fabric porosity.

Keywords: surface free energy, cotton fabric, contact angle, fabric chemical structure, fabric porosity, liquid polarity.

1.0 UVOD

Omočljivosti ploskovnih tekstilij ter njihova sposobnost navzemanja tekočine sta dejavnika, ki pomembno vplivata na kakovost mokrih postopkov predelave in plemenitenja tekstilij kot tudi na njihove uporabne lastnosti. Omočljivost tekstilij je neposredno povezana z lastnostmi njihove površine. Proces močenja, ki vključuje tako razširjanje tekočine po površini ploskovne tekstilije, kot tudi pronicanje tekočine v njeno notranjost, je neposredno odvisen od medmolekulskih sil, ki jih tvorijo tekstilna vlakna s tekočino, prav tako pa tudi od poroznosti in hrapavosti površine tekstilije ter površinske napetosti, viskoznosti in gostote tekočine.

Površinska prosta energija trdne snovi, γ_s , je termodinamična količina, s katero lahko kvantitativno opišemo površinske lastnosti tekstilnih vlaken, iz njene vrednosti pa sklepamo na njihovo omočljivost. Je količina, ki neposredno odraža adhezijske sile med tekočino in funkcionalnimi skupinami vlaken. Sestavljena je iz dveh komponent, in sicer nepolarne, γ_s^{LW} , in polarne, γ_s^{AB} [1]:

$$\gamma_s = \gamma_s^{LW} + \gamma_s^{AB} \quad (1)$$

Nepolarna komponenta predstavlja Lifshitz-van der Waalove (LW) medmolekulske interakcije, ki vključujejo disperzijske (Londonove), orientacijske (Keesomove) in induktivne (Debyejeve) interakcije, polarna komponenta pa medmolekulske sile, ki so označene kot Lewisova kislina/baza (AB) ali elektron-akceptor/elektron-donor interakcije. Če so adhezijske sile med tekočino in vlakni večje od kohezijskih sil, ki delujejo med molekulami tekočine, bo tekočina spontano omočila vlakna.

Z različnimi plemenitilnimi procesi lahko v veliki meri spremenimo vrednost površinske proste energije. Tako na primer s postopki predhodne obdelave bombažnih vlaken, kot so izkuhanje, beljenje in merceriziranje, površinsko prosto energijo surovih vlaken, ki znaša približno 45 mJ/m² [2], močno povečamo, tako da njena vrednost v nekaterih primerih celo preseže 60 mJ/m² [3]. Za beljena bombažna vlakna, ki predstavljajo polarne tekstilne substrate, je značilno, da so visoko hidrofilna in zato dobro omočljiva. To je eden izmed ključnih dejavnikov, ki vpliva na povečanje učinkovitosti in kakovosti procesov barvanja, tiskanja in apretiranja. Po drugi strani lahko s plemenitilnimi postopki, pri katerih na celulozna vlakna naneseemo aperturna sredstva določenih kemijskih struktur, površino celuloznih vlaken modificiramo v tolikšni meri, da njihovo visoko hidrofilno polarno površino pretvorimo v nepolarno, pri čemer se površinska prosta energija vlaken močno zniža. Takšno spremembo lastnosti površine celuloznih vlaken dosežemo z nanosom fluorogljikovih polimerov (FCP), ki v svoji strukturi vklju-

čujejo perfluorirane ogljikovodikove stranske verige. V tem primeru postanejo celulozna vlakna visoko vodo- in oljeodbojna s površinsko prosto energijo manjšo od 15 mJ/m², kar v veliki meri poveča možnost njihove uporabe [4].

Za nepolarne tkanine je značilno, da tako z nepolarnimi kot tudi s polarnimi tekočinami tvorijo le nepolarne LW medmolekulske interakcije, polarne AB interakcije pa niso prisotne, tudi ne v primeru, če je tekočina polarna [1]. Vzrok za to je, da polarnost tekočine vpliva le na kohezijske sile, ne pa na adhezijo z nepolarno tkanino. Celotna površinska prosta energija tekstilnih vlaken je zato enaka njihovi nepolarni LW komponenti.

Obstaja več načinov določitve površinske proste energije trdnih snovi, med njimi je splošno uporabna optična metoda, ki temelji na meritvah ravnotežnega stičnega kota, ki ga tvori tekočina znane površinske napetosti na površini trdne snovi. Dobra omakalna sposobnost trdne snovi se odraža v majhnih stičnih kotih, slaba omočljivost pa v velikih stičnih kotih. Iz rezultatov meritev stičnih kotov lahko površinsko prosto energijo trdne snovi izračunamo na podlagi različnih teoretičnih modelov, med katerimi so najbolj znani Zismanov, Fowkesov, Owens-Wendt-Kaelblejev, Wujev, van Ossov, Li-Neumannov in Chibowskijev pristop [5-12]. V skladu z Li-Neumannovo teorijo [11] ob upoštevanju splošno znane Youngove enačbe:

$$\gamma_s - \gamma_{sL} = \gamma_L \cos \theta \quad (2)$$

kjer je γ_L površinska napetost tekočine, γ_{sL} medfazna napetost med tekočino in trdno snovjo ter θ ravnotežni stični kot, se površinska prosta energija trdne snovi lahko enostavno določi iz 'enačbe stanja' [11]:

$$\cos \theta = -1 + 2 \sqrt{\frac{\gamma_s}{\gamma_L}} \cdot e^{-\beta(\gamma_L - \gamma_s)} \quad (3)$$

Kwok je enačbo (3) preoblikoval v naslednjo obliko [11]:

$$\cos \theta = -1 + 2 \sqrt{\frac{\gamma_s}{\gamma_L}} [1 - \beta_1(\gamma_L - \gamma_s)^2] \quad (4)$$

in za konstanto β_1 podal vrednost 0,0001057 (m²/mJ)².

'Enačba stanja' ima tako prednosti kot tudi pomanjkljivosti pred ostalimi teoretičnimi modeli za izračun γ_s . Njena prednost je ta, da lahko površinsko prosto energijo trdne snovi določimo le na podlagi meritev stičnega kota ene tekočine z znano površinsko napetostjo. Ta pristop zato imenujemo tudi metoda ene tekočine. Bistvena pomanjkljivost tega modela pa je, da le-ta ne upošteva, da prosta energija kohezije polarne tekočine, ki je sorazmerna njeni površinski napetosti, vključuje tako nepolarno kot polarno komponento in da ti dve komponenti vplivata na stični kot, ki ga tvori

tekočina na površini polarne trdne snovi na drugačen način kot v primeru nepolarne trdne snovi enake površinske proste energije. Iz enačb (3) in (4) je tudi razvidno, da lahko iz njih določimo le celotno površinsko prosto energijo tkanine, γ_s , ne pa tudi njene nepolarne, γ_s^{LW} , in polarne komponente, γ_s^{AB} . Kljub tej pomanjkljivosti je 'enačba stanja' splošno uporabna.

2.0 EKSPERIMENTALNI DEL

2.1 Tkanini

Za apretiranje smo uporabili dve bombažni tkanini, ki sta bili predhodno beljeni in mercerizirani ter tako pripravljene za plemenjenje. Podatki o tkaninah so zbrani v preglednici 1.

Tkanini smo nevtralizirali z razredčeno raztopino očetne kisline, nato intenzivno izpirali z destilirano vodo, oželi in posušili na zraku. pH vodnega ekstrakta nevtralizirane tkanine, ki smo ga določili po standardu EN 1413: 1997, je znašal 6,0.

2.2 Apretiranje

Tkanini smo apretirali s 40 g/l odbojnega apreturnega sredstva na podlagi FC polimerov, ki smo mu dodali 2,5 g/l poliizocianatnega reaktivnega zamreževala.

Apretiranje smo izvedli po impregnirnem postopku na dvovaljčnem fularju s polnim omakanjem in ožemanjem tkanin pri naslednjih pogojih: temperatura 20 °C, pH impregnirne kopeli 4,5 (uravnan z očetno kislino), hitrost impregniranja 1,5 m/min in ožemalni učinek 80 %. Po impregniranju smo tkanini posušili pri temperaturi 110 °C in kondenzirali 1,5 minute pri temperaturi 150 °C.

2.3 Uporabljene tekočine in določitev njihovih površinskih napetosti

V raziskavo smo vključili šest nepolarnih in sedem polarnih tekočin. Med nepolarnimi tekočinami smo izbrali n-alkane z naraščajočo površinsko napetostjo, med polarnimi tekočinami pa vodo in mešanice izopropanol-voda z naraščajočim odstotkom vode v mešanici. Organska topila smo dobavili pri proizvajalcu

Aldrich Co, mešanice izopropanol-voda pa pripravili sami z deionizirano destilirano vodo. Površinske napetosti mešanic izopropanol-voda, ki smo jih v nadaljevanju označili z odstotki izopropanola (IPA) v vodi, smo izmerili na tenziometru Digital – Tensiometer K 10 T (Krüss, Nemčija) z uporabo Wilhelmyjeve metode s platinsko ploščico pri temperaturi 20 °C. Uporabljene tekočine in njihove površinske napetosti so zbrane v preglednici 2.

Preglednica 2: Tekočine in njihove površinske napetosti, γ_L

Tekočina	γ_L (mJ/m ²)	Polarnost tekočine
n-dekan	23,8	nepolarna
n-dodekan	25,4	
n-tetradekan	26,6	
n-heksadekan	27,5	
mešanica n-heksadekana in parafina v razmerju 35:65	28,7	
parafinsko olje	31,2	
50 % IPA	24,9	polarna
30 % IPA	27,0	
25 % IPA	28,5	
20 % IPA	31,3	
15 % IPA	35,1	
10 % IPA	40,3	
voda	72,8	

2.4 Meritve stičnih kotov

Stične kote, ki so jih tvorile kaplje različnih tekočin na površini tkanin, smo izmerili optično na aparatu FIBRO DAT 500/1100 (Fibro, Švedska). Pri tej metodi se stični kot, θ , določi iz meritev višine, h , in premera, d , kaplje tekočine iz naslednje enačbe [13]:

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{2h}{d} \right) \quad (5)$$

Meritve smo opravili tako, da smo na površino tkanine z mikropipeto avtomatsko nanašali kaplje tekočine določenega volumna ter nato s pomočjo slikovne analize spremljali časovno spreminjanje njene višine, premera, ploščine, S , in volumna, V . V časovnem območju, v katerem se oblika kaplje ni več spreminjala s časom,

Preglednica 1: Podatki o uporabljenih tkaninah iz 100 % bombaža

Oznaka tkanine	T_i (tex)		Gostota (niti/cm)		Vezava	Ploščinska masa (g/m ²)
	osnova	votek	osnova	votek		
A	28	28	28	23	platno	165
B	28	28	46	23	4-vezni osnovni keper	216

smo določili ravnotežni stični kot med tekočino in tkanino. Zaradi napak v meritvah, ki so posledica hrupavosti in heterogenosti površine uporabljenih tkanin, smo za vsako tekočino opravili najmanj deset meritev stičnih kotov, pri čemer smo tekočino nanašali na različna mesta tkanine, kot rezultat pa podali njegovo srednjo vrednost z natančnostjo $\pm 3^\circ$. Meritve smo opravili pri 20 °C.

2.5 Poroznost

Pokazatelje poroznosti tkanin smo določili z Jakšičevo pretočno metodo. Teoretične osnove metode ter način merjenja poroznosti z rotametrom je opisan v literaturnem viru [14]. Na podlagi rezultatov eksperimentalnih meritev smo pokazatelje poroznosti tkanin izračunali z računalniškim programom PoreP. Kot rezultat smo podali povprečne vrednosti največjega premera por, d_I , srednjega hidravličnega premera por, d_{sr} in srednjo vrednost deleža odprte površine tkanine, P_O .

2.6 Zračna prepustnost

Meritve zračne prepustnosti smo izvedli po standardu SIST EN ISO 9237: 1999. Iz meritev količine presejanega zraka v l/h skozi ploščino tkanine, ki je znašala 10 cm², smo kot rezultat podali povprečno vrednost količine presesanega zraka, Q , skozi ploščinsko enoto v času 1 minute pri tlaku 20 mm H₂O.

3.0 REZULTATI IN RAZPRAVA

V preglednici 3 in na slikah od 1 do 3 so zbrani rezultati meritev ravnotežnih stičnih kotov različnih tekočin na preučevanih tkaninah. V preglednici 3 so podane tudi vrednosti površinske proste energije tkanin izračunane iz enačbe (4). Uporabnost 'enačbe stanja' za izračun površinske proste energije tkanin A in B smo preverili na ta način, da smo vrednosti γ_S , izračunane iz enačbe (4), primerjali z vrednostmi, dobljenimi z uporabo Fowkesovega in van Ossovega modela [15]. Iz rezultatov analize sipanja je razvidno, da je izračunana vrednost $F=0,29$ nižja od teoretične vrednosti $F_t=3,59$ ($S=95\%$, 2, 17), kar potrjuje veljavnost ničelne hipoteze, H_0 , ki pravi, da med vrednostmi γ_S , določenimi na podlagi različnih teoretičnih modelov, ni statističnih razlik.

Iz preglednic 2 in 3 je razvidno, da so se stični koti nepolarnih kot polarnih tekočin na površini preučevanih tkanin povečevali z naraščajočo površinsko napetostjo tekočin. Iz slike 1 se vidi, da sta na tkanini A tvorila ravnotežne stične kote le mešanica heksadekan-parafinsko olje in parafinsko olje (krivulji 1 in 2).

Preglednica 3: Povprečni ravnotežni stični koti, θ , na tkaninah A in B, apretiranih s FCP, ter njihove površinske proste energije, γ_S

Tekočina	θ^a (°)		γ_S^b (mJ/m ²)	
	A ^{c)}	B ^{d)}	A	B
n-dekan	/ ^{e)}	100,4	- ^{f)}	4,3
n-dodekan	/	106,6	-	3,6
n-tetradekan	/	107,3	-	3,7
n-heksadekan	$\approx 107,3$	109,1	$\approx 3,8$	3,6
mešanica n-heksadekana in parafina v razmerju 35:65	112,2	116,0	3,2	2,6
parafinsko olje	119,6	124,2	2,4	1,8
50 % IPA	/	/	-	-
30 % IPA	/	115,6	-	2,5
25 % IPA	110,3	-	3,7	-
20 % IPA	113,3	117,1	3,4	2,4
15 % IPA	117,3	121,1	3,2	2,6
10 % IPA	119,2	127,0	3,6	2,2
voda	127,6	136,6	8,7	5,1

a) Vrednosti stičnih kotov med n-alkani in tkanino B so povzeti po literaturnem viru [15].

b) γ_S je izračunana iz enačbe (4).

c) A – tkanina v platno vezavi.

d) B – tkanina v keper vezavi.

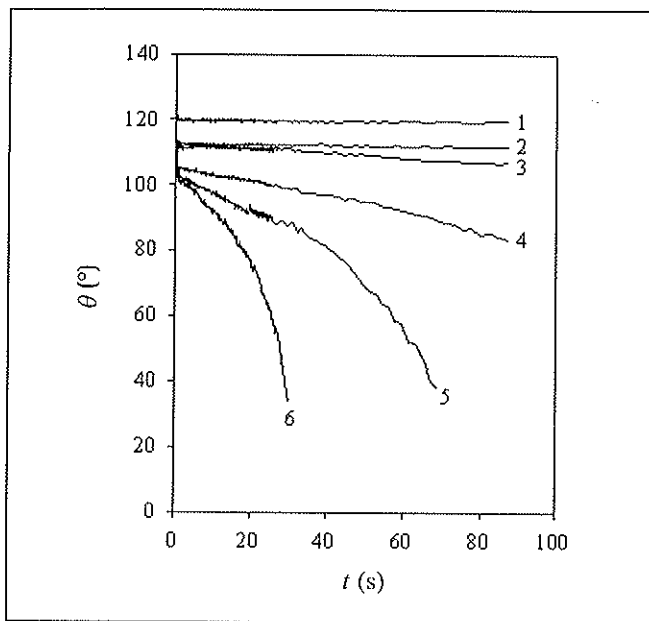
e) Stični kot ni ravnotežni.

f) Vrednosti niso določene.

V primeru heksadekana se je stični kot med tekočino in tkanino v prvih petdesetih sekundah meritev s časom počasi zniževal od približno 112 do 107°, nato pa se je njegova vrednost v zadnjih tridesetih sekundah meritev ustalila (krivulja 3). Njegovo vrednost smo zato podali le kot približno. Tetradekan, dodekan in dekan niso tvorili ravnotežnih stičnih kotov na površini tkanine A, ampak so se njihovi stični koti v celotnem merjenem časovnem območju zniževali. V teh primerih je potekalo razširjanje tekočine po površini tkanine kot tudi pronicanje tekočine v notranjost tkanine. Po pričakovanju je tkanino A najhitreje omočil dekan, ki je imel med vsemi preučevanimi alkani najnižjo površinsko napetost. Za razliko od tkanine A pa so vsi uporabljeni alkani tvorili ravnotežne stične kote na tkanini B (preglednica 3). Podobne rezultate smo dobili tudi pri meritvah stičnih kotov polarnih topil na tkaninah A in B, prikazanih na slikah 2 in 3. Pri mešanicah voda-IPA s površinskimi napetostmi višjimi od 28 mJ/m², se je ravnotežje na površini obeh tkanin A in B vzpostavilo že po 10 sekundah. To pa ni veljalo za 30 in 50 % IPA. Medtem ko 50 % IPA z najnižjo površinsko napetostjo med uporabljenimi polarnimi topili v celotnem merjenem časovnem območju niti na tkanini B niti na tkanini A ni tvoril ravnotežnega stičnega kota, pa je 30 % IPA le-tega oblikoval le na tkanini B, in to šele po 25 sekundah. Stični kot 30 % IPA na tkanini A se je v

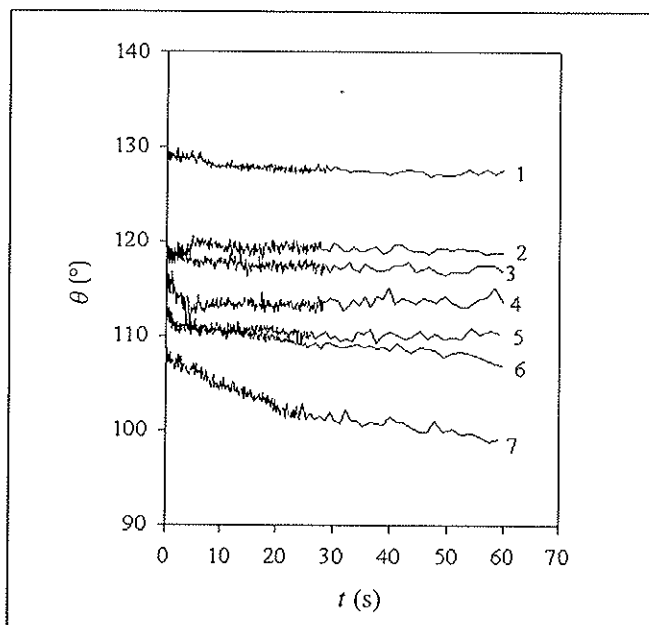
celotnem merjenem časovnem območju zniževal in tudi po 90 sekundah meritev ni dosegel ravnotežne vrednosti. Ker se v Youngovi enačbi (2) in 'enačbi stanja' (4) lahko uporabijo le ravnotežni stični koti med tekočino in trdno snovjo, rezultatov meritev stičnih kotov, ki so se s časom spreminjali, nismo mogli uporabiti pri izračunu površinske proste energije preučevanih tkanin.

Iz preglednice 3 je razvidno, da so vrednosti površinske proste energije v vseh primerih nižje od 10 mJ/m^2 ,



Slika 1: Spreminjanje stičnega kota, θ , n-alkanov na tkanini A v odvisnosti od časa, t

1 - parafinsko olje, 2 - mešanica n-heksadekana in parafinskega olja (35:65), 3 - n-heksadekan, 4 - n-tetradekan, 5 - n-dekan, 6 - n-dekan.

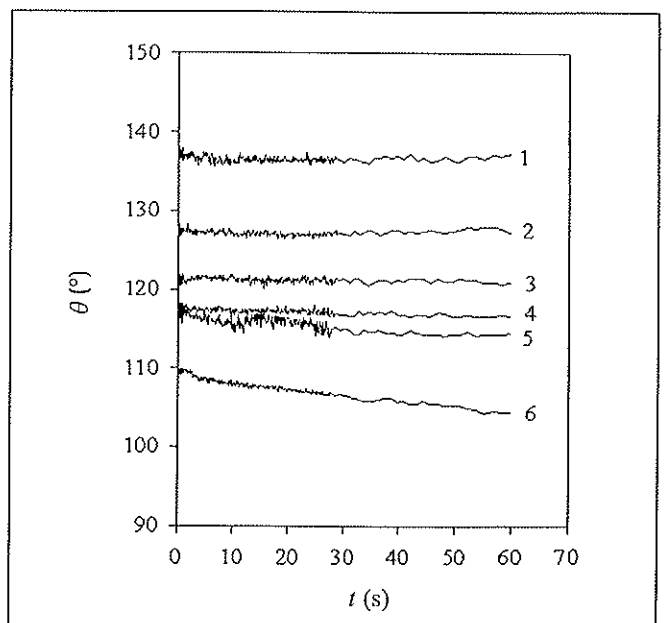


Slika 2: Spreminjanje stičnega kota, θ , vode in mešanic IPA-voda na tkanini A v odvisnosti od časa, t .

1 - voda, 2 - 10 % IPA, 3 - 15 % IPA, 4 - 20 % IPA, 5 - 25 % IPA, 6 - 30 % IPA, 7 - 50 % IPA.

iz česar lahko sklepamo, da sta obe apretirani tkanini A in B visoko vodo- in oljeodbojni. To je pokazatelj, da je površinska prosta energija trdne snovi količina, ki neposredno odraža adhezijske sile med tekočino in tkanino. Ker smo na tkanini A in B nanесли enaki koncentraciji FC polimerov, je kemijska struktura površin obeh preučevanih tkanin enaka, kar je v skladu z vrednostmi γ_S . Tudi rezultati analize sipanja so pokazali, da se γ_S tkanin A in B razlikujeta zgolj naključno, slučajno ($F=1,63$ je nižja od $F_t = 4,45$ pri $S = 95 \%$, 1, 17; H_0). Kljub temu, da med površinskima prostima energijama tkanin A in B ni statističnih razlik, je iz preglednice 3 razvidno, da so vrednosti γ_S , določene za tkanino A, nekoliko višje v primerjavi z vrednostmi, dobljenimi za tkanino B, prav tako pa je tudi njihovo sipanje ($s_A^2 = 14,42$) večje kot za tkanino B ($s_B^2 = 1,03$). Razlika v razsipu meritev za tkanini A in B je razvidna tudi iz diagrama na sliki 4. Pri obeh tkaninah smo najvišje vrednosti γ_S določili na podlagi meritev stičnih kotov z vodo, najnižje pa na podlagi meritev stičnih kotov s parafinskim oljem (osamelci na sliki 4). Iz rezultatov analize sipanja je tudi razvidno, da so razlike med vrednostmi γ_S tkanine B, ki smo ju določili na podlagi meritev ravnotežnih stičnih kotov z alkani in mešanicami voda-IPA, le slučajne ($F = 0,23$ je nižji od $F_t = 5,12$ pri $S = 95 \%$, 1, 9; H_0), iz česar sledi, da se vrednosti γ_S statistično ne razlikujejo kljub uporabi tekočin različnih polarosti. Diagram pogostne porazdelitve vrednosti γ_S tkanine B, dobljene z uporabo polarnih in nepolarnih tekočin, je prikazan na sliki 5.

Na podlagi rezultatov lahko sklepamo, da smo z nanosom FC polimerov polarni površini preučevanih bombažnih tkanin z γ_S višjima od 55 mJ/m^2 pretvorili v nepolarni, ki tako s polarnimi kot nepolarnimi tekoči-

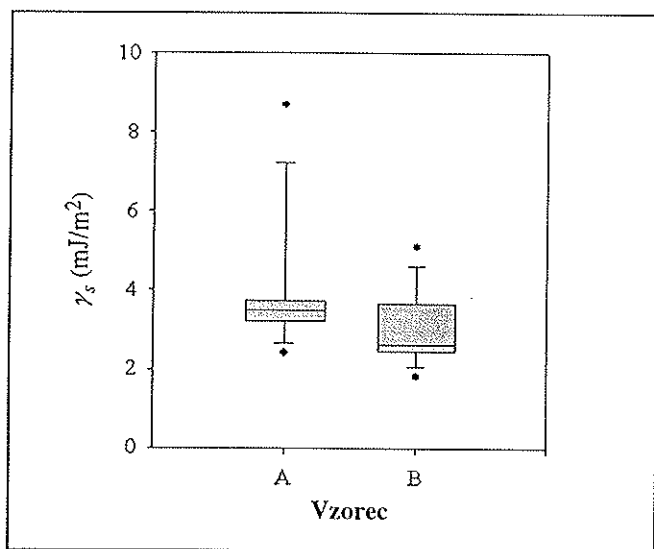


Slika 3: Spreminjanje stičnega kota, θ , vode in mešanic IPA-voda na tkanini B v odvisnosti od časa, t .

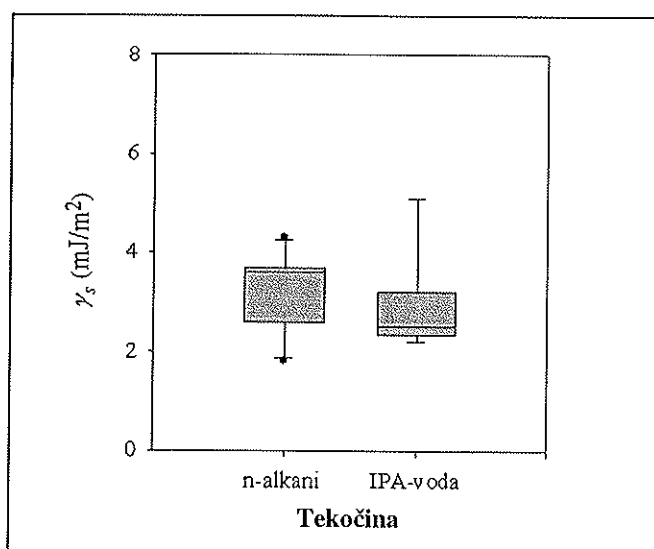
1 - voda, 2 - 10 % IPA, 3 - 15 % IPA, 4 - 20 % IPA, 5 - 30 % IPA, 6 - 50 % IPA.

nami tvorita le nepolarne Lifshitz-van der Waalove medmolekulske sile.

Ne smemo prezreti dejstva, da so izmerjeni stični koti tekočin na tkanini B v vseh preučevanih primerih večji kot na tkanini A in da stopnja omočljivosti obeh tkanin s preučevanimi tekočinami ni enaka (preglednica 3). To bi lahko razložili s tem, da na velikost stičnega kota, ki ga tvori tekočina na površini tkanine, poleg površinskih napetosti γ_L in γ_S vplivajo tudi konstrukcijski parametri tkanine, kot so dolžinska masa preje osnove in votka, gostota tkanine po osnovi in votku ter kompozicija vezave tkanine. Ti pokazatelji, ki neposredno vplivajo na poroznost tkanine, so namreč tisti, po katerih sta se tkanini A in B bistveno razlikovali.



Slika 4: Površinska prosta energija, γ_S , tkanin A in B, izračunana na podlagi meritev stičnih kotov z n-alkanami in mešanici IPA-voda. Okvir z ročaji prikazuje minimum, maksimum, četrtine in osamelce.



Slika 5: Površinska prosta energija, γ_S , tkanine B, izračunana na podlagi meritev stičnih kotov z n-alkanami in mešanici IPA-voda. Okvir z ročaji prikazuje minimum, maksimum, četrtine in osamelce.

Srednji hidravlični premer por tkanine A je bil namreč za kar 40 % večji od srednjega hidravličnega premera por tkanine B, skladno s tem pa tudi njena odprta površina (preglednica 4). Surovinska sestava tkanin kot tudi koncentracija nanesenega FC polimera, ki vplivata na kemijsko strukturo površine tkanine, sta bili pri obeh preučevanih tkaninah enaki.

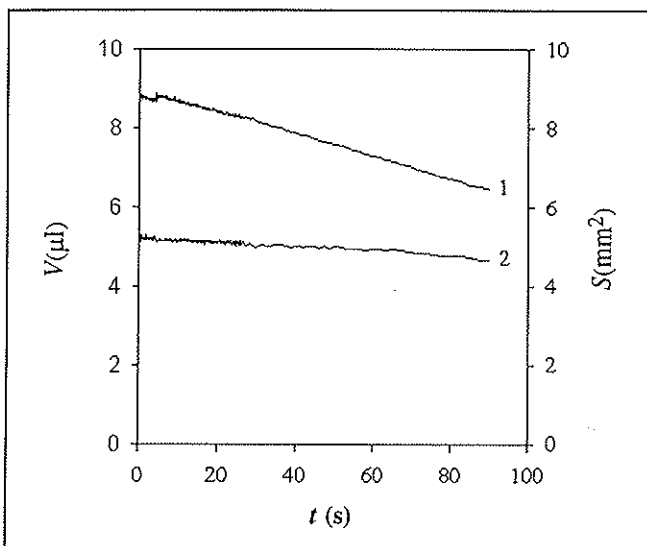
Preglednica 4: Premer največje pore, d_1 , srednji hidravlični premer pore, d_{sr} , in srednja vrednost odprte površine, P_0 , apretiranih vzorcev tkanin A in B, določenih z Jakšičevo metodo, in njihova zračna prepustnost, Q

Oznaka tkanine	d_1 (μm)	d_{sr} (μm)	P (%)	Q ($\text{m}^3/\text{min m}^2$)
A	131,36	37,34	13,05	41,6
B	75,48	26,70	3,40	17,4

Da je poroznost tkanine pomemben dejavnik, ki vpliva na njeno stopnjo omočljivosti, potrjujejo tudi rezultati meritev stičnih kotov n-alkanov na obeh preučevanih tkaninah (preglednica 3). Medtem ko tetradekan tvori na tkanini B ravnotežni stični kot z vrednostjo $107,3^\circ$, ki se v celotnem merjenem časovnem območju ne spremeni za več kot $\pm 1^\circ$, pa heksadekan, z višjo površinsko napetostjo tvori na površini tkanine A veliko manj stabilen stični kot enake vrednosti. Iz rezultatov je tudi razvidno, da heksadekan kljub tvorbi stičnega kota večjega od 90° , kar naj bi pogojevalo kapilarno depresijo in s tem onemogočilo pronicanje tekočine v pore substrata, v tkanino A vseeno pronica. Na sliki 6 je prikazano zmanjševanje volumna kaplje heksadekana z naraščajočim časom, pri čemer se njena ploščina s časom praktično ne spreminja. To je najverjetneje tudi vzrok, da se je vrednost stičnega kota heksadekana v merjenem časovnem območju le v majhni meri znižala. V primeru, če bi ob pronicanju tekočine v pore tkanine potekalo tudi razširjanje tekočine po njeni površini, bi se namreč ob razlitju tekočine po površini tkanine ploščina kaplje močno povečevala z naraščajočim časom, stični kot pa strmo padal, dokler ne bi dosegel vrednosti 0° , ko bi kaplja v celoti poniknila v notranjost tkanine. Pri razlagi teh rezultatov si lahko pomagamo z Laplace-ovo enačbo [16]:

$$\Delta P = \frac{2\gamma_L \cos\theta}{R} \quad (6)$$

Iz nje je razvidno, da je pri stičnih kotih med tekočino in tkanino, ki so večji od 90° , vrednost elektroosmoznega tlaka, ΔP , negativna in predstavlja tlak, ki je potreben, da zadrži tekočino določene površinske napetosti γ_L , da le-ta ne pronica v notranjost tkanine. Na vrednost ΔP pa poleg površinske napetosti tekočine in stičnega kota neposredno vpliva tudi polmer kapilar, R , ki v primeru tkanine predstavlja polmer por. Ker se s povečanjem velikosti por negativna vrednost ΔP zmanjša, je lahko to zmanjšanje ΔP celo tako veliko, da tekočina določene površinske napetosti pronica v tkanino.



Slika 6: Spreminjanje volumna, V (1) in ploščine, S (2), kaplje n-heksadekana na tkanini A v odvisnosti od časa, t

Ta razlaga je v skladu z našimi ugotovitvami, da je stopnja omočljivosti bolj porozne tkanine A kljub izračunani relativno nizki vrednosti površinske proste energije večja od manj porozne tkanine B pri enakih pogojih.

4.0 ZAKLJUČEK

Na podlagi rezultatov raziskave lahko sklenemo:

- meritve stičnih kotov različnih nepolarnih in polarnih topil na površini ploskovnih tekstilij so primerne za oceno njihove stopnje omočljivosti,
- površinsko prosto energijo tkanine lahko izračunamo le na podlagi meritev ravnotežnih stičnih kotov med tekočino in tkanino, torej kotov, ki se s časom ne spreminjajo,
- stopnja omočljivosti tkanine je odvisna tako od kemijske strukture vlaken, ki neposredno vpliva na adhezijske sile med tekočino in funkcionalnimi skupinami vlaken, kot tudi od njene poroznosti,
- z nanosom FC polimerov smo močno znižali površinsko prosto energijo tkanine, tako da njena vrednost ne preseže 10 mJ/m^2 ,
- površinska prosta energija je količina, ki odraža medmolekulske interakcije na stični površini trdno/tekoče, ne upošteva pa poroznosti tkanine.

Zahvala

Autorici prispevka se zahvaljujeva dr. Alešu Hladniku in Janiju Vidmarju iz Inštituta za celulozo in papir, Ljubljana, za pomoč pri meritvah stičnih kotov. Zahvaljujeva se tudi dr. Juretu Reščiču iz Katedre za fizikalno kemijo Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo za pripravo Fortran računalniškega programa za izračun površinske proste energije trdne snovi iz enačbe (4) ter Cirili Poklaj iz Katedre za fizikalno kemijo Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo za meritve površinskih napetosti tekočin.

Viri:

- [1] VAN OSS, CJ., GOOD, RJ. in CHAUDHURY, MK. Additive and nonadditive surface tension components and the interpretation of contact angles. *Langmuir*, 1988, vol. 4, p. 884-891.
- [2] GRANCARIĆ, AM., CHIBOWSKI, E., PUŠIĆ, T., SOLJAČIĆ, I. in PLANTIĆ, L. Surface free energy of conventional and enzymatically scoured cotton fabrics. V *Proceedings of the 1st. ITC&DC - Magic World of Textiles*, 6-9 October 2002, Dubrovnik, Croatia. Zagreb: Faculty of Textile Technology, 2002, p. 267-273.
- [3] WHANG, HS. in GUPTA, BS. Surface wetting characteristics of cellulosic fibers. *Textile Research Journal*, 2000, vol. 70, no. 4, p. 351-358.
- [4] KISSA, E. *Repellent Finishes*. V *Handbook of Fiber Science and Technology: Chemical Processing of Fibers and Fabrics: Volume II, Functional Finishes, Part B, International Fiber Science and Technology Series/ 2*. Uredila Lewin, M. in Sello, S. B. New York; Basel: Marcel Dekker, Inc., 1984, p. 141-210.
- [5] FOX, HW. in ZISMAN, WA. The spreading of liquids on low-energy surfaces, II. Modified tetrafluoroethylene polymers. *J. Colloid Interface Sci.*, 1952, vol. 7, p. 109-121.
- [6] FOWKES, FM. Attractive forces at interfaces. *Ind. Eng. Chem.*, 1964, vol. 56, no. 12, p. 40-52.
- [7] OWENS, DK. in WENDT, RC. Estimation of the surface free energy of polymers. *J. Appl. Polym. Sci.*, 1969, vol. 13, p. 1741-1747.
- [8] KAEUBLE, DH. Dispersion-polar surface tension properties of organic solids. *J. Adhesion*, 1970, vol. 2, p. 50.
- [9] WU, S. Calculation of interfacial tension in polymer systems. *J. Poly. Sci., Part C*, 1971, vol. 34, p. 19-30.
- [10] VAN OSS, CJ. Use of combined Lifshitz-van der Waals and Lewis acid-base approaches in determining the apolar and polar contributions to surface and interface tensions and free energies. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 2002, vol. 16, no. 6, p. 669-677.
- [11] KWOK, DY., NEUMAN, AW. Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 1999, vol. 81, p. 167-249.
- [12] CHIBOWSKI, E., ONTIVEROS-ORTEGA, A., PEREA-CAPRIO, R. On the interpretation of contact angle hysteresis. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 2002, vol. 16, no. 10, p. 1367-1404.
- [13] WU, S. *Polymer Interface and Adhesion*. New York; Basel: Marcel Dekker Inc., 1982, p. 257-260.
- [14] JAKŠIĆ, D. Možnosti določanja poroznosti ploskovnih tekstilij. *Tekstilec*, 1984, let. 37, št. 7/8, str. 221-228.
- [15] ČERNE, L., SIMONČIČ, B. Influence of the repellent finishing on the surface free energy of the cellulosic textile substrate. Članek sprejet v objavo v *Textile Research Journal*.
- [16] ADAMSON, AW. *Physical chemistry of surfaces*, Chapter X, 5th ed., New York, Singapore: John Wiley and Sons, 1990, p. 379-420.