

# MODIFIKOVANJE POLIESTARSKE TKANINE OBRADOM U ALKALNOM RASTVORU

Nebojša Ristić<sup>1\*</sup>, Dragan Jocić<sup>2</sup>, Ivanka Ristić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Visoka tehnološko umetnička strukovna škola, Vilema Pušmana 17, 16000 Leskovac

<sup>2</sup> Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11000 Beograd

\* e-mail: bojana1998@ptt.rs

**Naučni rad**

UDC: 677.4: 678.7

doi: 10.5937/tekstind1903050R

**Apstrakt:** Poliestar je danas po potrošnji najvažnije tekstilno vlakno. Estetski izgled, opip i udobnost poliestarskih tkanina može se poboljšati kontrolisanom modifikacijom površinskog sloja, obradom u alkalnom rastvoru. U ovom radu proučavano je delovanje rastvora natrijum hidroksida na hemijske i morfološke promene poliestarske tkanine i njihov uticaj na neka svojstva komfora, kao što su transport vlage i propustljivost vazduha. Utvrđen je lineran gubitak mase tkanine sa vremenom obrade. Hrapavljenje površine vlakna i ugradnja funkcionalnih grupa sa kiseonikom u strukturu vlakna doprinose da modifikovani uzorci imaju veću propustljivost vazduha i bolje upijanje i transport vage u odnosu na prvobitnu tkaninu.

**Ključne reči:** poliestarska tkanina, alkalna hidroliza, propustljivost vazduha, transport vlage.

## MODIFICATION OF POLYESTER FABRIC BY TREATMENT IN ALKALINE SOLUTION

**Abstract:** Today, polyester is the most important textile fiber by consumption. The aesthetic appearance, feel and comfort of polyester fabrics can be improved by controlled surface modification, by treatment in alkaline solution. In this paper, the effect of sodium hydroxide solution on the chemical and morphological changes of the polyester fabric is studied and their effect on some comfort properties, such as moisture transport and air permeability. Linear weight loss of fabric with processing time was determined. The roughness of the fiber surface and the incorporation of oxygen functional groups into the fiber structure contribute the modified specimens to have greater air permeability and better moisture absorption and transport than the original fabric.

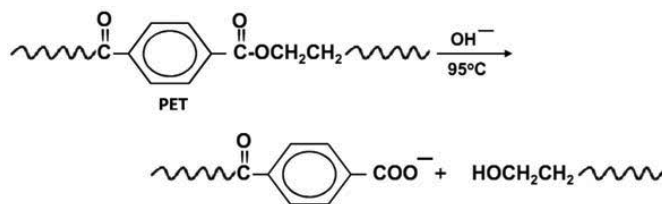
**Key words:** polyester fabric, alkaline hydrolysis, air permeability, moisture transport.

### 1. UVOD

Estetski izgled, opip i udobnost nekog tekstilnog materijala vrlo često određuje njegovu namenu u odevne svrhe, i upravo u tim svojstvima postoje razlike između prirodnih i sintetičkih materijala [1]. U poslednje vreme nastoji se da se postojećim sintetičkim vlaknima fizičkim i hemijskim modifikovanjem poboljšaju eksploataciona svojstva. Iako se razvijaju poliestarska vlakna poboljšane bojivosti, modifikovanje i regulacija površinskih osobina konvencionalnih poliestarskih vlakana je istraživačka tema današnjeg interesovanja, zbog širokog opsega primene. Potreba da se kontrolišu površinske karakteristike poliestra

(hidrofilnost, sadržaj oligomera, biokompatibilnost i dr.) potiču od specifičnih zahteva za datu primenu i za sada se intenzivno proučavaju više postupaka sa ovim ciljem. Alkalna hidroliza poliestarskih tkanina jedan je od mogućih načina modifikovanja poliestra sa ciljem poboljšanja osobina komfora. Alkalno obrađena tkanina ima bolji estetski izgled i pad, prijatan opip, udobna je i vrlo slična svili [2]. Osim ovih primarnih efekata obrađeni materijali manje su sklони pilingu, imaju veću otpornost na prljanje i bolja hidrofilna svojstva [3]. Uprkos tome što je alkalna hidroliza poliestra kao reakcija poznata nekoliko desetina godina njena kinetika i mehanizam nisu dobro proučeni. Smatra se da je reakcija alkalija sa poliestrom tipična

topohemijska reakcija koja se odvija tako što alkalije deluju na površinske slojeve vlakna kada nastaje gubitak mase, promena površinske topografije i stvaranje novih grupa koje sadrže kiseonik [4,5] (slika 1).



**Slika 1.** Mehanizam alkalne hidrolize poliestra

Alkalnom obradom moguće je značajno smanjiti količinu oligomera koji kod HT bojenja PES-a migriraju iz vlakna u tehnološki rastvor i deponuju se kao fini prah na zidove aparata i površinu materijala. Prema patentiranom postupku moguće je alkalnom obradom razoriti oligomere do frakcija rastvornih u vodi, tako da se njihov sadržaj smanji za 44% [6]. Termičke karakteristike depolimerizovanog polietilen tereftalata u prisustvu NaOH i KOH ispitivane su pomoću diferencijalne skenirajuće kalorimetrije (DSC) i termogravimetrijske analize (TGA), i tada je identifikovana pojava endotermnih pikova na nižim temperaturama u odnosu na netretirani uzorak [7].

Alkalna hidroliza tkanina od čistog poliestra i mešavine PES/pamuk (50/50) može biti funkcionalni proces radi postizanja antibakterijskih karakteristika. Na poliestarskim tkaninama od regularnog polietilen tereftalata (R-PET), polietilen glikol modifikovanog PET-a (PEG-M-PET), R-PET/pamuk (R-PET/C) i PEG-M-PET/C, ispitana je antibakterijska aktivnost na bakterije i gljivice, pošto su predhodno alkalno hidrolizovane a zatim obrađene u vodenom rastvoru dimetilalkilbenzil amonijum hlorida (DMABAC) [8]. Svi uzorci inhibirali su rast korišćenih mikroba (*Bacillus mycoi-des*, *Escherichia coli* i *Candida albicans*) a zona inhibicije bila je u rasponu 12–19 mm. Povećana hemijska sorpcija katjonskih boja, metalnih soli i antibiotika pripisana je ugradnji karboksilnih grupa u strukturu poliestra tokom obrade u vrućem rastvoru NaOH [9]. Modifikovani uzorci tkanina (PES, PES/pamuk i PES/viskoza) imaju bolja funkcionalna svojstva, tj. veću antibakterijsku aktivnost i otpornost na UV zračenje. Haji i saradnici razvili su pad-steam proces za tretiranje tkanine od mešavine poliestar/pamuk natrijum hidroksidom i rezultati su upoređeni sa konvencionalnim procesom iscrpljenja [10]. Oni predlažu obradu vodenom parom na 120 °C u toku 5 minuta kao zamenu za jednočasovni proces na 100 °C. Oba procesa su poboljšala opip, sposobnost apsorpcije vode i bo-

jenja tkanine, ali pad-steam proces ima niz prednosti, kao što su: manji gubitak jačine vlakana, kraće vreme tretiranja, manja potrošnja vode i hemikalija, koje proces čini manje opasnim po životnu sredinu. Radi poboljšanja termofiziološkog komfora tokom nošenja pletenine od mešavine poliestar/pamuk podvrgnute su tretmanima sa rastvorima NaOH i enzimima celulaze [11]. Utvrđeno je da svojstva propustljivosti vazduha i upijanja i transporta vlage mogu se značajno poboljšati odgovarajućom alkalnom obradom. Biološki tretman celulozama je manje efikasan za postizanje bilo kakvog poboljšanja termofiziološkog komfora ispitivanih pletenina. U nedavno objavljenim radovima alkalno-alkoholna hidroliza sa ultrazvukom je proučavana sa aspekta ekonomičnog bojenja poliestarskih pletenina [12,13]. Poliestarska pletenina je obrađivana u alkoholnom reastvoru NaOH uz primenu ultrazvučnih talasa snage 50 W, a zatim bojena disperznom bojom (DR60). Alkalizovani uzorci imaju veći stepen iscrpljenja boje, koji je veći kad se obrada sprovodi sa ultrazvukom. Predhodna obrada alkalnim rastvorom, usled površinskog razaranja poliestra, smanjuje debljinu pletenine a povećava brzinu kvašenja i kapilarnost [12]. Modeliranjem sistema utvrđeno je da Frojndliхова adsorpciona izoterma najbolje opisuje adsorpciju disperzne boje na poliestarskom pletivu, dok Lengmirova ili Nernstova izoterma daju slabije rezultate [13].

Cilj ovog rada je proučavanje efekata alkalne hidrolize poliestarske tkanine za odevne svrhe u vodenom rastvoru NaOH, određivanjem promena u strukturi tkanine i njihov uticaj na neka svojstva komfora. Uticaj alkalne hidrolize na strukturu vlakana određen je pomoću SEM, DSC analize i određivanjem sadržaja krajnjih karboksilnih grupa. Promene u strukturi tkanine ispitane su određivanjem propustljivosti vazduha i hidrofilnih karakteristika.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

### 2.1. Materijal i metode rada

Za obradu je upotrebljena poliestarska tkanina površinske mase 149,5 g/m<sup>2</sup>, izrađena u prepletaju platno i predhodno industrijski pripremljena za bojenje. Za alkalnu hidrolizu poliestarskih tkanina korišćen je NaOH u obliku granulata (Kemika – Hrvatska). Alkalna hidroliza poliestarskih tkanina izvedena je u vodenom rastvoru NaOH u Ahiba aparatu (TYP G7B) sa vertikalnim pokretanjem materijala u zatvorenim metalnim kivetama, pri temperaturama 80 i 100 °C, koncentracijama alkalije 15, 50 i 80 g/dm<sup>3</sup> i vremenima obrade 20, 40, 60, 75 i 90 minuta. Masa uzoraka za

obradu iznosila je 5 g, a zapremina rastvora 200 cm<sup>3</sup>. Posle alkalizacije uzorci su neutralisani razblaženom sirćetnom kiselinom, obilno isprani destilovanom vodom i osušeni na vazduhu.

Gubitak mase (GM) alkalno hidrolizovanih tkanina određivan je korišćenjem jednačine:

$$GM = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gde je:  $m_1$  - masa netretiranog uzorka a  $m_2$  - masa hidrolizovanog uzorka. Masa uzorka merena je na analitičkoj vagi sa tačnošću 0,0001g.

Za karakterizaciju površinskih morfoloških promena korišćen je skenirajući elektronski mikroskop marke JEOL JCM 5300 (Jeol-Japan). Uzorci za snimanje pripremljeni su standardnom preparativnom tehnikom napanjanja zlatom kojom se stvara provodna površina, na uređaju za katodno napanjanje zlatom u toku 5 minuta.

DSC analiza korišćena je za određivanje stepena kristalnosti alkalno hidrolizovanih uzorka poliestra. Merenje je vršeno na aparatu tipa Perkin Elmer DSC 7 (SAD) pri sledećim uslovima: masa uzorka 2,9 do 3,3 mg; početna temperatura 50 °C; završna temperatura 300 °C; brzina zagrevanja 5 °C/min. Ispitivanja su sprovedena u atmosferi azota (20 cm/min). Iz entalpije topljenja ispitivanog supstrata ( $\Delta H_m$ ) i entalpije topljenja 100% kristalnog poliestra ( $\Delta H_c^o, 117,6 J/g$ ) [14] izračunat je stepen kristalnosti uzorka korišćenjem sledeće jednačine:

$$\text{Stepen kristalnosti } [\%] = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_c^o} \cdot 100 \quad (2)$$

Propustljivost vazduha određena je na aparatu Karl Schröder KG 6940, prema nemačkom standardu DIN 53887. Aparat služi za određivanje propustljivosti vazduha tekstilnih površina pri malim razlikama u pritisku. Meri se količina propuštenog vazduha u jedinici vremena kroz tačno definisanu površinu.

Jednačina za izračunavanje propustljivosti vazduha (PV):

$$PV = \frac{q}{p} \left[ \frac{m^3}{\text{min} \cdot m^2} \right] \quad (3)$$

Gde je:  $q$  - količina propuštenog vazduha, m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>,  $p$  - površina koja se ispituje, m<sup>2</sup>.

Za svaki uzorak izvršena su tri merenja, i na bazi odnosa vrednosti propustljivosti vazduha alkalizovanih i prvobitnog uzorka uspostavljena je grafička zavisnost relativnog povećanja propustljivosti vazduha i gubitka mase uzorka poliestraske tkanine.

Na prvobitnom i alkalizovanom poliesteru određivan je sadržaj krajnjih karboksilnih grupa. Sadržaj krajnjih karboksilnih grupa je u direktnoj vezi sa statičkim jonoizmenjivačkim kapacitetom (SJK), koji se određuje volumetrijskom metodom na sledeći način: U kolben sa 100 cm<sup>3</sup> 0,01 M rastvora NaOH stavi se 0,1 g suvog vlakna (izmereno sa tačnošću 0,0001 g). Kolben se zatvori da ne dođe do reakcije NaOH sa CO<sub>2</sub> iz vazduha. Tretiranje se vrši 1 čas uz mućkanje, a zatim se otpipetira 20 cm<sup>3</sup> rastvora i titriše 0,01 M rastvorom HCl uz fenolftalein kao indikator. Rade se tri probe i odredi srednja vrednost utroška kiseline. SJK se izračunava prema sledećoj formuli [15]:

$$SJK = 5 \frac{(V_{NaOH} \cdot c_{NaOH} - V_{HCl} \cdot c_{HCl})}{m(1-w)} \quad [mmol/g] \quad (4)$$

gde je:

$V_{NaOH}$  - zapremina NaOH uzeta za titraciju, cm<sup>3</sup>

$V_{HCl}$  - zapremina HCl utrošena za titraciju, cm<sup>3</sup>

$c_{NaOH}$  - molarna koncentracija rastvora NaOH, mol/dm<sup>3</sup>

$c_{HCl}$  - molarna koncentracija rastvora HCl, mol/dm<sup>3</sup>

$m$  - masa vlakana, g ;  $w$  - sadržaj vlage, %

Na bazi dobivenih vrednosti i odnosa koncentracije COOH grupa alkalizovanih i neobrađenog uzorka, urađen je grafik relativnog povećanja koncentracije karboksilnih grupa modifikovanih poliestarskih tkanina u odnosu na neobrađenu tkaninu.

Radi procene kvašljivosti tkanina korišćen je test sa kapljicom vode prema AATCC standardu [16]. Prema AATCC 39-1980 test metodu vreme kvašenja određeno je stavljanjem jedne kapi vode na zategnuti uzorak tkanine iz birete sa odstojanja od 1 cm od tkanine. Vreme potrebno za nestajanje vodenog ogleдалa sa površine uzorka (tj. vreme koje je potrebno da kapljica vode izgubi snagu refleksije) izmereno je kao vreme kvašenja (u sekundama). Rezultati su prosek od najmanje 5 merenja.

Ispitivanje moći upijanja vode tekstilnih proizvoda apsorpcijom određena je prema standardu SRPS F.S2.041. Prema ovoj metodi izmeri se masa uzorka (10x10 cm) pre potapanja u vodu ( $m_s$ ), a zatim se uzorak potopi u destilovanu vodu u vremenu 60 s. Nakon ceđenja uzorka u toku 120 s u kosom položaju, izmeri se masa mokrog uzorka ( $m_m$ ) i na osnovu mase uzorka

pre i posle potapanja u vodu izračunava se moć upijanja vode apsorpcijom, prema sledećoj jednačini:

$$\text{Apsorpcija} = \frac{(m_m - m_s)}{m_s} \cdot 100[\%] \quad (5)$$

Kapilarna metoda je takođe korišćena za ocenu poboljšanja upijanja vode i rezultati su obrađeni na bazi odnosa za opštu kvašljivost [17].

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 1 prikazan je uticaj temperature na brzinu hidrolize poliestarske tkanine za različite koncentracije alkalije. Produženjem vremena reakcije proporcionalno se povećava gubitak mase i veći je ukoliko je veća koncentracija alkalije. Na višim temperaturama, naročito iznad temperature ostakljivanja poliestra, kada se vlakno nalazi u termoplastičnom stanju difuzija hidroksilnih jona je veća tako da je i gubitak mase veći [18]. Reakcija alkalija sa poliestrom je tipična površinska reakcija, koja se odvija tako što alkalije deluju na periferne slojeve vlakna. Kada se poliestarski materijal obrađuje u vodenom rastvoru natrijum hidroksida, dolazi do gubitka u masi jer poliestar podleže

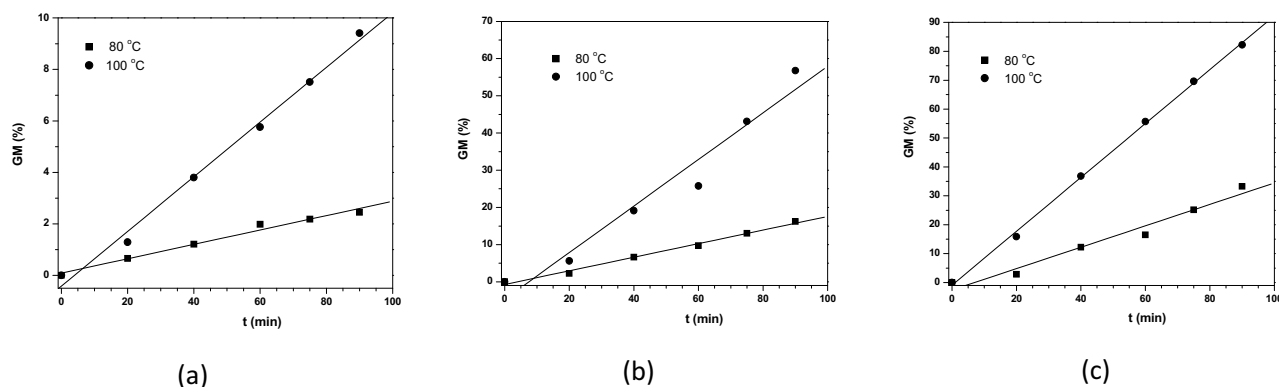
nukleofilnoj supstituciji i hidrolizuje se vodenim rastvorom alkalije. Hidroksilni joni napadaju ugljenikove atome iz karbonilne grupe koji su deficitarni elektronima tj. estarsku grupu, kao slabu tačku u lancu polimera tako da dolazi do stvaranja vodorastvornih produkata koji sa vlakna prelaze u rastvor za obradu. Ova reakcija se dešava na površini vlakna i u zavisnosti od radnih uslova, nadmolekulske strukture poliestra i strukturnih parametara materijala koji se obrađuje dolazi ili do nasumičnog kidanja unutar polimernih lanaca, ili na kraju lanaca uz izdvajanje dinatrijum tereftalata i etilen glikola.

Osim grafički određena je i stvarna brzina hidrolize, tako što je ukupan gubitak mase (%) podeljen sa ukupnim vremenom obrade (min). Vrednosti stvarnih ( $V_s$ ) i grafički ( $V_G$ ) dobijenih brzina hidrolize i odnosi stvarnih brzina hidroliza na različitim temperaturama prikazane su u tabeli 1.

Na slici 2 prikazani su snimci površine netretiranog i alkalizovanog poliestarskog vlakna. Neobrađena poliestarska vlakna (slika 2a) imaju prilično glatku površinu sa prisutnim manjim nesavršenostima od tragova ekstruzije, ali na kojoj se uočava veliki broj malih belih čestica. Ove čestice mogu biti oligomeri

**Tabela 1.** Stvarna i grafički dobivena brzina hidrolize PES tkanine

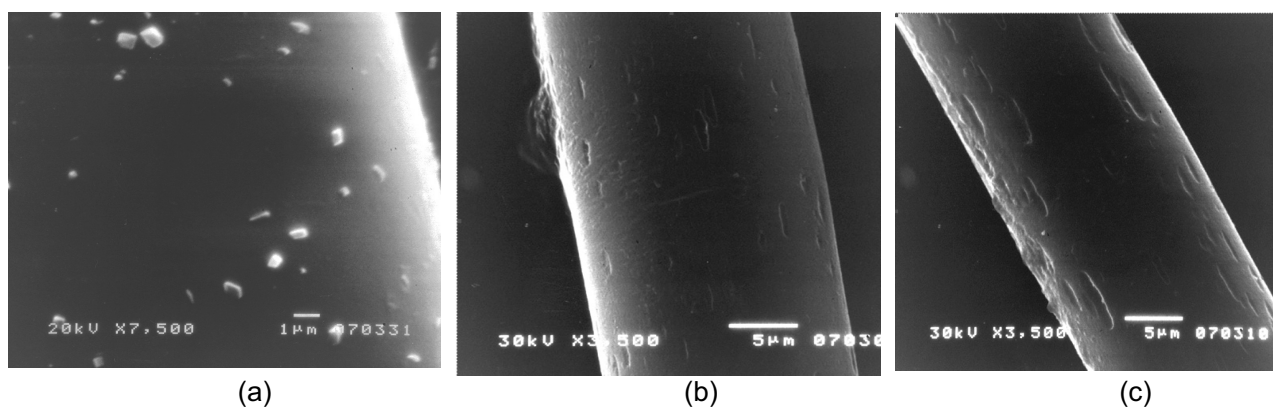
Temperatura °C	Konc. NaOH g/dm <sup>3</sup>	Stvarna brzina hidrolize, $V_s$ % min <sup>-1</sup>	Grafički dobivena brzina hidrolize, $V_G$ % min <sup>-1</sup>	Odnos brzina $V_{s_{100}}/V_{s_{80}}$
80	15	0,030	0,028	3,23
	50	0,168	0,183	3,14
	80	0,316	0,370	2,89
100	15	0,097	0,106	-
	50	0,528	0,623	-
	80	0,913	0,932	-



**Slika 1.** Gubitak mase poliestarske tkanine u zavisnosti od temperature pri koncentraciji NaOH 15 g/dm<sup>3</sup> (a), 50 g/dm<sup>3</sup> (b) i 80 g/dm<sup>3</sup> (c)

koji su migrirali i kristalisali na površini tokom istežanja vlakana i termičke obrade. Iako se kod proizvodnje poliestarskih vlakana pokušalo uticati na smanjenje nastanka oligomera, to se pokazalo nemogućim, jer se tokom sinteze polimera uspostavlja ravnoteža između kratkih i dugih molekula [19], tako da je nemoguće proizvesti poliestarska vlakna sa manje od 0,5% cikličnih trimeri i manje od 1% ukupnih oligomera. Pri niskom nivou hidrolize (slika 2b) na površini vlakna dolazi do blagih promena tako što se stvaraju risevi, pukotine i elipsoidne rupice u podužnom smeru vlakana, koje mogu biti prouzrokovane dejstvom alkalije na površinama gde su se nalazili ostaci sredstava za matiranje ili katalizatora iz proizvodnje polimera. Umereni nivoi hidrolize (slika 2c) ima za rezultat dalje produbljivanje i širenje stvorenih jamica i hrapavljenje površine vlakana.

denom rastvoru alkalije na povišenoj temperaturi poliestarsko vlakno nalazi se u viskoelastičnom stanju kada se povećava energetska stanje makromolekula zbog čega se delimično prekidaju intermolekulske veze, tako da segmenti makromolekula menjaju konformacioni položaj. Paralelno sa premeštanjem segmenata odvija se destrukcija polimera, najverovatnije u područjima u kojima voda može da difunduje, tj. u amorfim područjima. U tom pogledu u zavisnosti od morfologije vlakana i procesnih parametara moguće je da osim uklanjanja niskomolekularnih derivata hidrolize, odigra se i preuređenje segmenata sa kratkim lancima koji imaju dovoljnu pokretljivost tako da se obrazuje nova kristalna struktura. Ovaj proces je dodatno afirmisan novostvorenim hidrofilnim grupama (OH i COOH) koje povećavaju hidratacioni efekat i mobilnost makromolekula, a samim tim i mogućnost



**Slika 2.** Skenirajući mikrograf netretiranog PES-a (a) i PES-a modifikovanog alkalnim rastvorom GM=9,92%(b) i GM=16,14%(c)

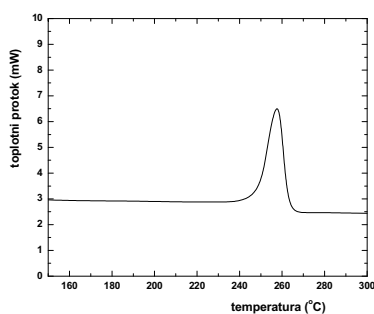
Tekstilni materijali prolaze kroz drugi proizvodni proces uključujući i termičke i hidrotermičke obrade. Pod dejstvom toplote i vlage tokom proizvodnog procesa dolazi do promena u mikrostrukturi termoplastičnih vlakana, koje su intenzivnije na temperaturama većim od temperature ostakljivanja  $T_g$ . U zavisnosti od uslova obrade promene mogu biti fizičke – kada se modifikuje kompaktnost polimera, tj. stepen kristalnosti i/ili orijentisanost makromolekula, i hemijske – kada se menja hemijski sastav polimera tako što se npr. uvode nove funkcionalne grupe. Kada su termičke i hidrotermičke obrade dovoljno intenzivne procesi reorganizacije praćeni sekundarnom kristalizacijom mogu se proučavati diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom (DSC). Različiti režimi termičke i hidrotermičke obrade poliestra modifikuju mikrostrukturu vlakna tako da se na termogramima pojavljuju endotermni pikovi, koji daju informaciju o <sup>2</sup>termičkoj<sup>2</sup> prošlosti uzorka, jer čak i jednočasovno kuvanje poliestra u destilovanoj vodi povećava stepen kristalnosti za više od 5% [20]. U vo-

boljeg pakovanja tokom plastificiranja usled hidrotermičke obrade kakva je obrada u vrućem rastvoru alkalije. Na slici 3 prikazani su termogrami netretirane poliestarske tkanine i alkalizovanih tkanina. Entalpija topljenja, i maksimalni endotermni pik prvobitnog i probnih uzoraka se značajno razlikuju. Entalpija topljenja je mera za energiju povezanosti unutar morfološkog sistema vlakna ili jednostavnije mera kohezije energije (energija međumolekulskih interakcija). Ukoliko je koheziona energija veća, smanjuje se unutrašnja pokretljivost makromolekula i entalpija topljenja je veća. Niske vrednosti entalpije sugerišu na veliku fleksibilnost lanaca i mogućem velikom broju konformacija. Polimeri se razlikuju od nepolimera i po tome što nemaju izraženu tačku topljenja, već se tope u određenom temperaturnom intervalu. Razlog za ovakvo ponašanje pri topljenju je polidisperznost veličine makromolekula i veličine kristala, i zbog toga se interval topljenja može uzeti kao indikator polidisperznosti kristalne faze.

Povećanje entalpije nije uvek praćeno i većim temperaturnim vrhom topljenja, što je u skladu sa ranijim tvrdnjama da ne postoji korelacija između temperature i entalpije topljenja, što znači da polimeri mogu imati visoke entalpije topljenja i niske temperature topljenja [21]. Na osnovu povećanih vrednosti entalpije topljenja obrađivanih uzoraka može se konstatovati da je strukturna reorganizacija alkalizovanih uzoraka, na bazi hemijskih i konformacionih promena povećala kompaktnost i stepen reda i orijentacije, što konačno

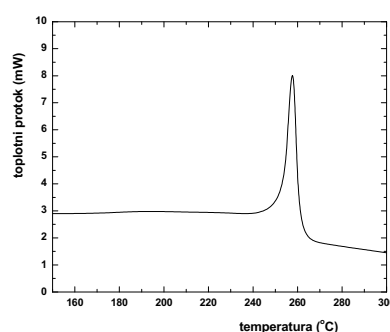
dovodi do povećanja kristalnosti (Tabela 2). Najveći interval topljenja ima netretirani uzorak kao znak za najveću polidisperznost kristala. Manji interval topljenja za alkalizovane uzorke dokazuje da oni imaju veću homogenost u strukturi kristalne faze. Povećanje kristalnosti za vreme procesa hidrolitičke razgradnje poliembra pod uticajem alkalija može se pripisati i tzv. procesu "hemikristalizacije", tako da povećanje kristalnosti može biti uzrokovano rastvaranjem jedinjenja niske molekulske mase i/ili hemikristalizacijom.

Vrh=258,17 °C; Entalpija topljenja=57,14 J/g



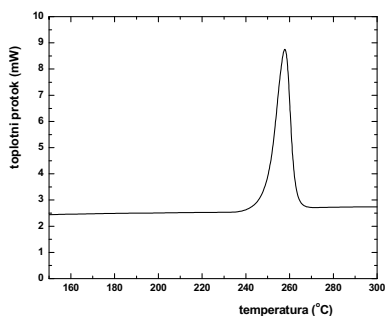
(a)

GM=9,41%; Vrh=257,90°C; Entalpija topljenja=61,69 J/g



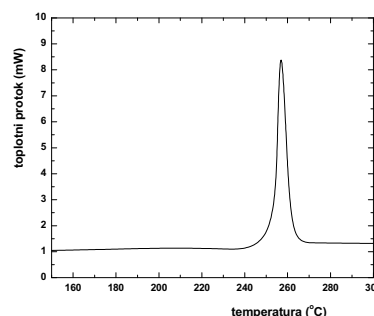
(b)

GM=16,23%; Vrh=258,22°C; Entalpija topljenja=64,14 J/g



(c)

GM=25,76%; Vrh=256,79°C; Entalpija topljenja=73,66 J/g



(d)

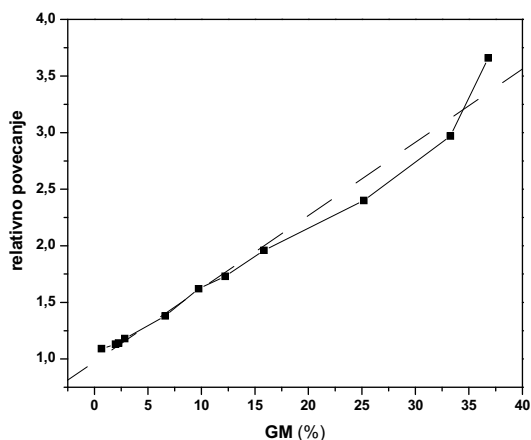
**Slika 3.** Termogrami netretiranog uzorka (a) i modifikovanih tkanina (b,c,d)

**Tabela 2.** Promene u nadmolekularnoj strukturi modifikovanih tkanina

Gubitak mase	Stepen kristalnosti	Promena stepena kristalnosti, %	Interval topljenja $x_2 - x_1$ , °C
0%	0,491	-	13,72
9,41%	0,524	h 6,72	9,14
16,23%	0,545	h 11	13,00
25,76%	0,626	h 27,5	9,81

Tekstilne tkanine za odeću treba da imaju eksploataciona svojstva tako da pored estetske komponente poseduju izražena svojstva komfora. Propustljivost vazduha kroz tkaninu ubraja se u važnije karakteristike tkanine za odeću jer direktno utiče na osećaj udobnosti korisnika tekstilnog proizvoda. Sposobnost tkanine da zadržava i propušta vazduh utiče na termoizolaciona svojstva odeće, jer prisutan vazduh u odeći značajno povećava termičke osobine odevnog predmeta. U suštini "topli osećaj" proizvoda prvenstveno je posledica toplotne izolacije nastale zbog prisustva vazduha između vlakana u pređi i tkanini. Za povećanje propustljivosti vazduha u procesu dorade mogu se primeniti obrade kojima se menja debljina, poroznost i površinska struktura tkanine. U tom pogledu alkalna hidroliza poliestarskih tkanina na bazi površinskog rastvaranja vlakana može da fizički modifikuje tkaninu tako što povećava poroznost tkanine.

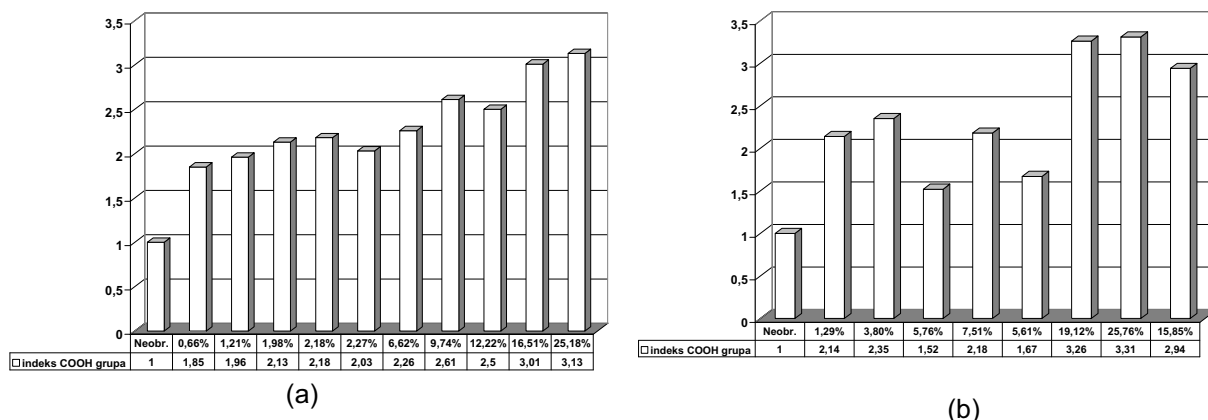
Na slici 4 prikazana je zavisnost relativnog povećanja propustljivosti vazduha od gubitka mase modifikovanih poliestarskih tkanina. Propustljivost vazduha linearno se povećava sa gubitkom mase do 20% i može se uzeti kao mera za ukupnu zapreminu "oslobođenog" prostora između vlakana i niti pređe. Već pri gubicima mase do 10% propustljivost se povećava preko 60%, da bi gubici od oko 20% prouzrokovali povećanje propustljivosti za više od 100%. Povećanjem gubitka mase više od 25% propustljivost vazduha eksponencijalno se povećava, i pri gubitku mase od oko 35% propustljivost vazduha je 3 puta veća, u odnosu na netretirani uzorak. Sa povećanjem gubitka mase smanjuje se prečnik vlakana i pređa a povećava veličina pora što se manifestuje kao veća propustljivost vazduha. Pokazalo se da obrada alkalnim rastvorima poboljšava neke fizičke karakteristike poliestarskih tkanina, što povoljno utiče na fiziološku udobnost odeće dobivene iz takvih tkanina.



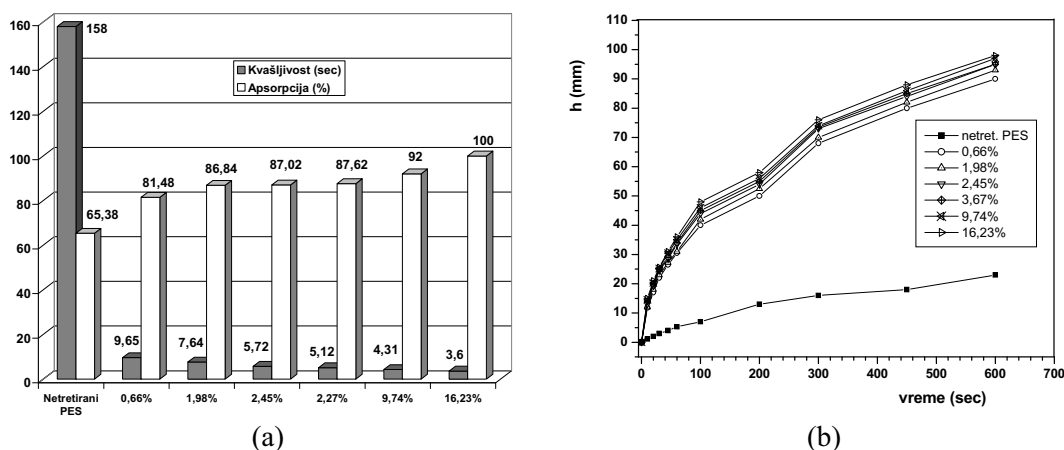
**Slika 4.** Relativno povećanje propustljivosti vazduha modifikovanih PES tkanina

Promena hemijskog sastava vlakna u tekstilnom materijalu uopšteno može da donese niz dobrobiti koje olakšavaju procese prerade vlakana, ali i performanse gotovog proizvoda tokom upotrebe i nege. U vodenom rastvoru alkalija dolazi do hidrolitičke razgradnje poliestarskog lanca izazivajući njegov prekid, tako da se stvaraju modifikovana degradaciona jedinjenja na čijim krajevima se nalazi karboksilna ili hidroksilna grupa. Na slici 5 prikazana je relativno povećanje broja krajnjih karboksilnih grupa u modifikovanim poliestarskim vlaknima. Kao što se vidi na histogramima kod svih uzoraka nađeno je povećanje broja karboksilnih grupa u odnosu na netretirani uzorak, nezavisno od procesnih parametara. Broj krajnjih karboksilnih grupa u uzorcima alkalno hidrolizovanih tkanina na temperaturi 80 °C veći je od 1,85 do 2,18 puta za koncentraciju alkalije 15 g/dm<sup>3</sup>. Za koncentracije alkalije od 50 i 80 g/dm<sup>3</sup> relativna povećanja su od 2,03 do 2,61 i 2,5 do 3,13 puta, respektivno. Principijelno pri svim koncentracijama NaOH broj COOH grupa blago se povećava sa vremenom. Na temperaturi od 100 °C broj karboksilnih grupa najveći je za proučavani asortiman uzoraka, i uopšteno na većoj temperaturi broj karboksilnih grupa bio je veći. Ne može se uspostaviti jednostavni odnos između broja krajnjih karboksilnih grupa i gubitka mase, niti se može pouzdano locirati mesto napada alkalije u polimernom lancu poliestra. Ovo zbog toga što se na osnovu gubitka mase može pretpostaviti da se napad dešava na krajevima lanca kada se izdvajaju tereftalni dianjon i etilen glikol. Sa druge strane broj krajnjih karboksilnih grupa se povećava kada se napad dešava na sredini polimernog lanca. Zbog toga se nameće zaključak da se alkalna hidrolitička razgradnja poliestra odvija i na krajnjim estarskim grupama i u sredini lanca, tj. proces razgradnje teče statistički-nasumično, što je saglasno sa ranije objavljenim rezultatima, do kojih je C. Samon sa saradnicima došao primenom FTIR analize [22].

Kvašljivost je pojava na granici faza i može se povećati promenom hemije i morfologije površinskog sloja vlakna. Opšta karakteristika hemijskih vlakana je sređenija struktura tankog površinskog sloja u odnosu na unutrašnje slojeve i jezgro vlakana. U vlaknima dobijenim iz rastopa tanki površinski sloj odlikuje se sitnokristalnom strukturom i najboljom orijentisanošću, dok su slojevi ispod njega nešto slabije orijentisani. Mali sadržaj površinskih polarnih grupa u nemođifikovanom poliestru i znatne razlike u površinskom naponu poliestra (43 mN/m) i vode (72 mN/m) bitno doprinose slaboj kvašljivosti poliestarskih materijala vodom, jer principijelno do brzog kvašenja dolazi kada je površinski napon materijala veći od površinskog napona tečnosti.



**Slika 5.** Relativno povećanje broja COOH na uzorcima alkalno hidrolizovanih PES tkanina na 80 °C (a) i 100 °C (b), za različite gubitke mase



**Slika 6.** Upijanje vode (a) i kapilarno podizanje alkalno hidrolizovanih PES tkanina (b), za različite gubitke mase

Na slici 6 prikazani su rezultati apsorpcije vodene kapi, količine vode zadržane posle potapanja tkanine u vodu i brzina kapilarnog podizanja vode za netretirani uzorak i seriju alkalno hidrolizovanih uzoraka.

Kvašljivost, apsorpcija i kapilarno podizanje vode netretirane tkanine su znatno slabije izraženi u poređenju sa uzorcima obrađenim u rastvoru NaOH. Vreme apsorpcije vodene kapi se jako smanjuje već kod najmanjeg nivoa hidrolize, dok se povećava količina zadržane vode posle potapanja tkanine u vodu. I kvašljivost i upijanje pogresivno se povećavaju sa povećanjem intenziteta hidrolize, ali je značajno da su mali nivoi hidrolize u znatnom obimu poboljšali hidrofilna svojstva tkanina što omogućuje da se u praktičnim sistemima regulacijom intenziteta hidrolize postigne poboljšana površinska kvašljivost poliestarskih tkanina uz minimalno oštećenje fizičkih osobina tkanine.

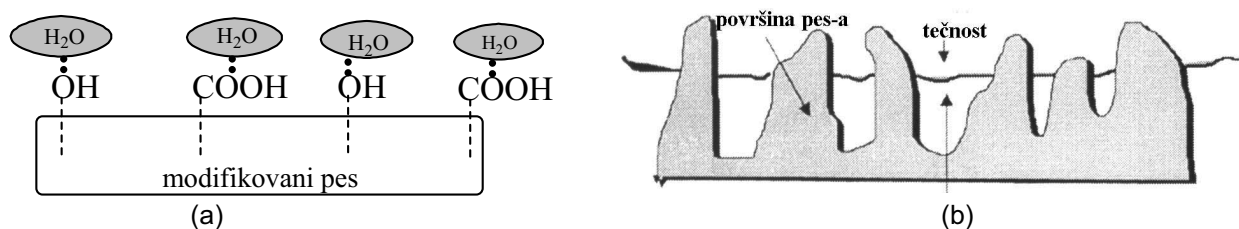
Uzimajući u obzir promene koje se dešavaju obradom poliestra u vodenom rastvoru alkalija više faktora mogu da doprinesu hidrofilnosti tkanina: a) povećanje broja hidrofilnih grupa na površini vlakna; b) pove-

ćanje hrapavosti površine; c) mogući povećani pristup raspoloživim hidrofilnim grupama na površini vlakna i d) povećanje poroznosti hidrolizovane tkanine. Verovatno doprinos pojedinih faktora poboljšanju hidrofilnih osobina zavisi od stepena hidrolize. Pri malom stepenu hidrolize, hrapavost površine minimalno je izražena i verovatno da su hidrofilne osobine prevažno funkcija hemijskih promena na površini vlakna. U tom smislu nemoguće je dati prednost bilo kojoj od prisutnih hidroksilnih ili karboksilnih grupa, pogotovu kada se uzme u obzir da imaju približne vrednosti za hidratacione brojeve (~ 4). Pri većem stepenu hidrolize može se smatrati da povećanoj hidrofilnosti, osim hidrofilnih grupa, izraženije doprinosi povećana hrapavost prikazana na slici 7.

#### 4. ZAKLJUČAK

Razvoj savremenih načina proizvodnje tekstila uslovljen je zahtevom kupaca za udobnim, trajnim, funkcionalnim i sigurnim tekstilnim proizvodima sa različitim svojstvima. U ovom radu istražene su fizičke





**Slika 7.** Uticaj površinskih hidrofilnih grupa (a) i hrapavosti (b) na kvašljivost hidrolizovanih poliestarskih tkanina

i hemijske promene u strukturi poliestarske tkanine nakon obrade u rastvoru alkalije. Pod uticajem alkalije dolazi do fizičkog i hemijskog površinskog modifikovanja poliestarskog vlakna i tkanine, tako što se menja površinska morfologija poliestarskog vlakna i u primarnu strukturu makromolekula ugrađuju se kiseonične funkcionalne grupe. Brzina hidrolize poliestarske tkanine zavisi od procesnih parametara, i za primenjene uslove ima vrednosti od 0,030 do 0,316 %min<sup>-1</sup> za 80 °C i 0,097 do 0,913 %min<sup>-1</sup> za 100 °C. Brzina hidrolize povećavala se sa povećanjem koncentracije NaOH i vremena obrade. Modifikovani uzorci tkanina imaju mekši opip i veću poroznost, tako da više propuštaju vazduh i bolje transportuju vlagu. Iz ovako modifikovanih tkanina mogu se dobiti proizvodi poboljšanih estetskih i higijenskih svojstava.

## LITERATURA

- [1] Novaković, M., Bizjak, M., Stanković, S. (2013). Dizajn pletenina u funkciji optimalnog toplotnog komfora, *Tekstilna industrija*, 61 (1), 30-36.
- [2] Getnet, M., Chavan, R.B. (2015). Catalyzation of alkaline hydrolysis of polyester by oxidizing for surface modification, *International journal of sciences: Basic and applied research*, 22(2), 232-252.
- [3] Montazer, M., Sadighi, A. (2006). Optimization of the hot alkali treatment of polyester/potton fabric with sodium hydrosulfite, *Journal of Applied Polymer Science*, 100(6), 5049-5055.
- [4] Yamashita, M., Mukai, H. (2011). Alkaline hydrolysis of polyethylene terephthalate at lower reaction temperature, *The science and engineering review do-shisha university*, 52(2), 51-56.
- [5] Kim, H.S., Shin, E.S., Lee, J.J. (2014). Alkali dissolution behaviour of sea-island type polyethylene terephthalate ultramicrofibre knitted fabrics, *Coloration Technology*, 130(5), 334-339.
- [6] Gorenšek, M., Pecelj, R. (2004). Mogućnost sprječavanja izlaženja oligomera iz PET vlakana, *Tekstil*, 53(2), 65-69.
- [7] Kao, C.Y., Cheng, W.H., Wan, B.Z. (1998). Investigation of alkaline hydrolysis of polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis, *Journal of Applied Polymer Science*, 70(10), 1939-1945.
- [8] Shalaby, S.E., Al-Balakocy, N.G., Beliakova, M.K., Abdel-Fatah, O.M., Elshafei, A.M. (2008). Antimicrobial finishing of regular and modified polyethylene terephthalate fabrics, *Journal of Applied Polymer Science*, 109(2), 942-950.
- [9] Ibrahim, N.A., Eid, B.M., Youssef, M.A., Ameen, H.A., Salah, A.M. (2012). Surface modification and smart functionalization of polyester-containing fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 42(4), 353-375.
- [10] Haji, A., Malek, R.M.A., Mazaheri, F. (2011). Comparative study of exhaustion and pad-staem methods for improvement of handle, dye uptake and water absorption of polyester/cotton fabric, *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 17(3), 359-365.
- [11] Nazir, A., Hussain, T., Zia, Q., Afzal, M.A. (2014). Improving thermo-physiological comfort of polyester/cotton knits by caustic and cellulases treatments, *Autex Research Journal*, 14(3), 200-204.
- [12] Kodrić, M., Đorđević, D., Konstantinović, S., Kostić, M. (2017). The modification of the polyester knitted fabric for more economic dyeing, *Advanced technologies*, 6 (2), 60-66.
- [13] Kodrić, M., Đorđević, D., Konstantinović, S., Kostić, M. (2018). Modelling of dyeing of modified polyester at lower temperature by ultrasound, *Tekstilec*, 61(1), 33-41.
- [14] Manich, A. M., Bosch, T., Carilla, J., Ussman, M.H., Maillou, J., Gacen, J. (2003). Thermal analysis and differential solubility of polyester fibers and yarns, *Textile Research Journal*, 73(4), 333-338.
- [15] Skundric, P., Medovic, A., Kostic, M. (2002). Fibrous systems with programmed biological-activity and

- their application in medical practice, *Autex Research Journal*, 2 (2), 78-84.
- [16] AATCC test method, 39-1980
- [17] Ferrero, F., (2003). Wettability measurements on plasma treated synthetic fabrics by capillary rise method, *Polymer Testing*, Vol 22, No 5, pp. 571-578.
- [18] Bukošek, V., Gorenšek, M. (2002). Fizikalno-mehanička svojstva PES-a nakon slijepog bojadisanja u kiselom i alkalnom medijumu, *Tekstil*, 51(9), 411-418.
- [19] Bansal, S., Raichurkar, P. (2016). Review on the manufacturing processes of Polyester-PET and Nylon-6 filament yarn, *International Journal on Textile Engineering and Processes*, 2(3), 23-28.
- [20] Cayuela, D., Gacén, J. (2004). Termički i hidrotermički obrađeni poliester i poliamid 6 – karakterizacija DSC analizom, *Tekstil*, 53(7), 343-348.
- [21] Tager, A. (1975). *Physical Chemistry of Polymers*, Mir Publishers, Moscow.
- [22] Sammon, C., Yarwood, J., Everall, N. (2000). An FT-IR study of the effect of hydrolytic degradation on the structure of thin PET Films, *Polymer Degradation and Stability*, 67(1), 149-158.
- 
- Rad primljen: 23.08.2019.  
Rad prihvaćen: 15.09.2019.