

DOBIJANJE MEDICINSKOG TEKSTILA NA BAZI VISKOZE I HITOZANA SA ISTOVREMENO POBOLJŠANIM SORPCIONIM I ANTIBAKTERIJSKIM SVOJSTVIMA PRIMENOM DIELEKTRIČNOG BARIJERNOG PRAŽNENJA

Matea Korica¹, Ana Kramar^{1,2}, Zdenka Peršin³, Bratislav Obradović⁴,
Milorad Kuraica⁴, Lidija Fras Zemljič³, Mirjana Kostić^{5*}

¹ Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd, Srbija,

² Univerzitet Carlos III u Madridu, Departman za nauku o materijalima,
inženjerstvo i hemijsko inženjerstvo, Leganés, Madrid, Španija

³ Univerzitet u Mariboru, Institut za inženjerstvo i dizajn materijala,
Mašinski fakultet, Maribor, Slovenija

⁴ Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Beograd, Srbija

⁵ Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija

* e-mail: kostic@tmf.bg.ac.rs

Scientific paper

UDC: 677-037:678.7:613.4

doi: 10.5937/tekstind2104046K



Apstrakt: Cilj ovog istraživanja bio je dobijanje tekstila na bazi viskoze i hitozana sa istovremeno poboljšanim sorpcionim i antibakterijskim svojstvima. Iz tog razloga, pre funkcionalizacije hitozanom, viskozna tkanina je modificirana neravnotežnom plazmom dobijenom dielektričnim barijerenim pražnjenjem (eng. DBD) kako bi se u njenu strukturu uvele funkcionalne grupe koje su pogodne za poboljšanu adsorpciju hitozana. Sadržaj funkcionalnih grupa nemodifikovane i DBD modifikovane viskozne tkanine određen je kalcijum-acetatnom metodom, dok je njihov uticaj na površinsko naelektrisanje, kao i uspešnost funkcionalizacije viskoznih tkanina hitozanom, određena merenjem zeta potencijala. Nemodifikovana i DBD modifikovana viskozna tkanina, pre i posle funkcionalizacije hitozanom, okarakterisane su sa aspekta morfoloških svojstva primenom skenirajuće elektronske mikroskopije, sorpcionih svojstava primenom metode kapilarnosti, i antibakterijskih svojstava primenom standardne test metode ASTM E 2149-01: 2001. Dobijeni rezultati pokazali su da je primena DBD doprinela istovremenom poboljšanju sorpcionih i antibakterijskih svojstava viskozne tkanine funkcionalizovane hitozanom čineći je pogodnom za izradu medicinskog tekstila visoke dodatne vrednosti.

Keywords: Viskoza, hitozan, dielektrično barijereno pražnjenje, sorpciona svojstva, antibakterijska svojstva, medicinski tekstil.

OBTAINING OF MEDICAL TEXTILES BASED ON VISCOSE AND CHITOSAN WITH SIMULTANEOUSLY IMPROVED SORPTION AND ANTIBACTERIAL PROPERTIES BY USING DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE

Abstract: This study aimed to obtain textile based on viscose and chitosan with simultaneously improved sorption and antibacterial properties. For that reason, before functionalization with chitosan, the viscose fabric was modified by nonthermal gas plasma of dielectric barrier discharge (DBD) to introduce into its structure functional

groups suitable for improved adsorption of chitosan. Functional groups' content of unmodified and DBD modified viscose fabric was determined by the calcium acetate method, while their influence on the surface charge, as well as the success of the functionalization of viscose fabrics with chitosan, was evaluated by measuring the zeta potential. Morphological, sorption and antibacterial properties of unmodified and DBD modified viscose fabrics, before and after functionalization with chitosan, were characterized by scanning electron microscopy, capillary rise method, and standard test method ASTM E 2149-01: 2001, respectively. The obtained results showed that the treatment with DBD contributed to the simultaneous improvement of sorption and antibacterial properties of viscose fabric functionalized with chitosan, making it suitable for the production of high value-added medical textiles.

Keywords: Viscose, chitosan, dielectric barrier discharge, sorption properties, antibacterial properties, medical textiles.

1. UVOD

Prvi zapisi o upotrebi medicinskog tekstila datiraju još iz antičkog doba, dok njegova zvanična upotreba počinje s pojavom sanitetskih službi. Od tada je prolazio kroz neprekidan razvoj s ciljem poboljšavanja svojstava i kvaliteta. Poslednjih decenija taj razvoj napreduje zadivljujućom brzinom što je dovelo do dizajniranja medicinskog tekstila širokog spektra svojstava omogućavajući njegovu primenu u gotovo svim granama medicine [1-2].

Jedno od najpoželjnijih svojstava medicinskog tekstila je velik sorpcioni kapacitet tečnosti koji omogućava uklanjanje eksudata različitog porekla [3]. Upravo to svojstvo je razlog zbog kojeg se viskoza tradicionalno koristi u izradi medicinskog tekstila [4]. Međutim, velik sorpcioni kapacitet tečnosti sam po sebi više nije dovoljan benefit koji se zahteva od savremenog medicinskog tekstila [5]. Veoma je važno da medicinski tekstil poseduje i dobra antibakterijska svojstva imajući u vidu masovne nozokomijalne bakterijske infekcije. Naime, medicinski tekstil predstavlja potencijalni izvor bakterijskih infekcija zbog toga što se na njega mogu preneti patogene bakterije sa obolelih pacijenta, medicinskog osoblja ili nekog drugog izvora, pa u kontaktu sa kontaminiranim medicinskim tekstilom može doći do daljeg prenošenja patogenih bakterija. Na ozbiljnost ovog problema ukazala su i neka istraživanja kojima je pokazano da je više od 60 % uniformi medicinskog osoblja i 40 % zavesa koje se koriste u medicinskom okruženju kontaminirano patogenim bakterijama [6].

Interesovanje za funkcionalizacijom viskoze primenom netoksičnih, biorazgradivih, bioobnovljivih i biokompatibilnih resursa, poput hitozana, postaje sve veće s obzirom da se tekstilna industrija sve više orijentiše ka ekološkim tehnologijama. Iako je poznato da se hitozan pored antibakterijskih odlikuje i izvanrednim sorpcionim svojstvima, sorpciona svojstva

viskoze funkcionalizovane hitozanom nisu masovno poučavana kao antibakterijska [3], [7-15]. Istraživanjima je utvrđeno da se uvođenjem karboksilnih i aldehidnih grupa u viskoznu postiče poboljšano vezivanje hitozana za njenu površinu [7-10]. Karboksilne i aldehidne grupe mogu se uvesti u strukturu viskoze raznim postupcima modifikovanja [9], [10], [16] ali, usled pomenute aktuelne orijentacije ka ekološkim tehnologijama i činjenice da mokri postupci prouzrokuju ozbiljne ekološke probleme, sve više se radi na uvođenju ovih grupa suvim postupcima poput dielektričnog barijerenog pražnjenja (DBD) kao trenutno najperspektivnijom tehnikom dobijanja plazme na atmosferskom pritisku [16].

U ovom radu, u cilju poboljšanja sorpcionih i antibakterijskih svojstava viskozna tkanina je pre funkcionalizacije hitozanom modifikovana neravnotežnom plazmom dobijenom DBD-em radi uvođenja novih funkcionalnih grupa odnosno poboljšane adsorpcije hitozana. Ispitan je uticaj DBD na hemijska, elektrokinetička, morfološka, sorpciona i antibakterijska svojstva viskozne tkanine pre i posle funkcionalizacije hitozanom. Tkanine su okarakterisane određivanjem sadržaja karboksilnih i aldehidnih grupa, merenjima zeta potencijala, skenirajućom elektronskom mikroskopijom, metodom kapilarnosti i antibakterijskim testiranjem prema standardu ASTM E 2149-01 (2001).

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Materijal

Viskozna tkanina (IGR Agence, Celje, Slovenija), 75 %-85 % deacetilovan hitozan niske molekulske mase, (Sigma-Aldrich, Beč, Austrija), 37% hlorovodonična kiselina (Sigma-Aldrich, Beč, Austrija), 5 μm PTFE filter (Kinesis, Cheshire, Velika Britanija), natrijum-hidroksid (Sigma-Aldrich, Beč, Austrija), kalcijum-acetat dekahidrat (Sigma-Aldrich, Beč, Austrija), natrijum-hlorit (Sigma-Aldrich, Beč, Austrija), sirćetna kiselina (Si-

gma-Aldrich, Beč, Austrija), 0,1 M titrival natrijum-hidroksida (Mol d.o.o., Stara Pazova, Srbija), fenolftealein (Kemika, Zagreb, Hrvatska), kalijum-hlorid (Sigma-Aldrich, Beč, Austrija), *n*-heptan (Sigma-Aldrich, Beč, Austrija), Tripton soja bujon (Torlak, Beograd, Srbija), Kvaščeč ekstrakt (Torlak, Beograd, Srbija), Agar (Torlak, Beograd, Srbija).

2.2. Pripremanje rastvora hitozana

0,5 % rastvor hitozana dobijen je rastvaranjem hitozana u destilovanoj vodi sa prethodno podešenim pH na 2,5 uz upotrebu 37% hlorovodonične kiseline. Dobijeni rastvor mešan je tokom 24 h na sobnoj temperaturi nakon čega je isfiltriran kroz 5 µm PTFE filter. Konačni pH 0,5 % rastvora hitozana podešen je na 5,5 uz upotrebu 0,5 M natrijum-hidroksida.

2.3. Modifikovanje viskozne tkanine DBD

U ovom radu, korišćeno je dielektrično barijerno pražnjenje sa paralelnim elektrodama na atmosferskom pritisaku. Pražnjenje je generisano u DBD uređaju koji se sastoji iz para plan-paralelnih aluminijskih elektroda (20,0 × 8,0 cm²) prekrivenih slojem dielektrika Al₂O₃ debljine 0,70 mm.

Rastojanje između naslojenih elektroda fiksirano je staklenim držačem kako bi se obezbedio razmak od 3 mm. Da bi se izbegao problem sa vlažnošću i omogućilo homogeno pražnjenje, korišćene su granule zeolita. Detaljan opis izvora dielektričnog barijernog pražnjenja može se pogledati u literaturi [17].

Uzorci viskozne tkanine pravougaonog oblika (19,5 × 7,5 cm², u pravcu osnove) tretirani su DBD pri sledećim uslovima: 300 Hz, 600 s. Kao radni gas korišćen je vazduh.

2.4. Funkcionalizovanje viskoznih tkanina hitozanom

Nemodifikovana i DBD modifikovana viskozna tkanina potopljene su u 0,5 % rastvor hitozana tokom 30 min, na sobnoj temperaturi, pri odnosu kupatila 1:50 i 100% upijanju. Višak tečnosti uklonjen je na laboratorijskom fulardu (Rapid, Istanbul, Turska) pod pritiskom od 2 bara. Nakon toga tkanine su sušene tokom 30 min, na 40°C u laboratorijskoj sušnici (Instrumentaria, Zagreb, Hrvatska).

Pre daljih analiza uzorci tkanina dovedeni su u standardno stanje prema standardu SRPS EN ISO 139:2007 (T=20±2 °C; RV=65±4%).

Oznake dobijenih uzoraka viskoznih tkanina prikazane su u Tabeli 1.

Tabela 1: Opisi i oznake uzoraka viskoznih tkanina

Opis uzorka	Oznaka uzorka
Nemodifikovana viskozna tkanina	VIS
DBD modifikovana viskozna tkanina	DBD VIS
VIS funkcionalizovana rastvorom hitozana	VIS/HIT
DBD VIS/ funkcionalizovana rastvorom hitozana	DBD VIS/HIT

2.5. Određivanje sadržaja karboksilnih i aldehidnih grupa

Po 0,5 g uzorka tkanine potopljeno je u 100 ml 0,01 M hlorovodonične kiseline tokom 1 h, a nakon toga isprano destilovanom vodom. Nakon toga, uzorci su mešani tokom 2 h na sobnoj temperaturi u 30 ml 0,25 M kalcijum-acetata i 50 ml destilovane vode. Od ukupnih 80 ml odvojeno je po 30 ml za titraciju koja je vršena uz primenu 0,01 M natrijum-hidroksida i fenolftealeina kao indikatora. Sadržaj karboksilnih grupa izračunat je po formuli:

$$COOH = \frac{80 \cdot 0,01 \cdot V(NaOH)}{m(1 - \frac{w}{100})}, \text{ mmol/g celuloze} \quad (1)$$

gde je:

0,01 molaritet rastvora natrijum-hidroksida korišćenog za titraciju,

V zapremina rastvora natrijum-hidroksida utrošena za titraciju (ml),

m masa uzorka koji se tretira (g),

w sadržaj vlage uzorka (%).

Sadržaj aldehidnih grupa uzoraka određen je prevođenjem aldehidnih grupa u karboksilne prema Parks i Hebert-ovoj metodi [18]. Po 1 g uzorka mešano je tokom 48 h na sobnoj temperaturi u 50 ml destilovane vode, 10 ml 5 M sirćete kiseline i 0,905 g natrijum-hlorita, a nakon toga isprano destilovanom vodom i osušeno na vazduhu do konstantne mase. Sadržaja karboksilnih grupa određen je prema prethodno opisanoj metodi. Ovako dobijene vrednosti predstavljaju sadržaj karboksilnih grupa nastao prevođenjem svih aldehidnih grupa u karboksilne. Vrednosti sadržaja aldehidnih grupa dobijene su oduzimanjem vrednosti sadržaja karboksilnih grupa prisutnih u uzorcima pre oksidacije natrijum-hloritom od vrednosti sadržaja karboksilnih grupa prisutnih u uzorcima nakon oksidacije natrijum-hloritom.

2.6. Merenje zeta potencijala

Zeta potencijal određen je metodom potencijala strujanja pomoću SurPASS elektrokinetičkog analizatora (Anton Paar GmbH, Grac, Austrija) na pravougaonim uzorcima tkanine dimenzija 8 cm × 2 cm. Da bi se izbegao uticaj bubrenja uzoraka na zeta potencijal, uzorci su pre merenja potopljeni u dejonizovanu vodu tokom 30 minuta. Nakon toga uzorci su montirani u cilindričnu ćeliju tako da se formira propusni čep. Za svaki uzorak izvršena su četiri merenja, a standardna devijacija bila je manja od 5%. Kao elektrolit korišćen je 0,001 M rastvor kalijum-hlorida, a početni pH podešen je na pH 10 dodatkom natrijum-hidroksida. Tokom automatskih titracija snižavanje pH vrednosti postignuto je dodavanjem 0,05 M hlorovodonične kiseline.

2.7. SEM analiza

Uzorci tkanina prvobitno su napareni zlatom na uređaju za napanje IONSPUTTER, JEOL, model JFC-1100E (JEOL, Tokijo, Japan). Nakon toga, analiza morfologije njihove površine izvršena je na skenirajućem elektronskom mikroskopu JEOL JSM-5300 (JEOL, Tokijo, Japan)

2.8. Određivanje količine sorbovane tečnosti u ravnotežnom stanju i ugla kvašenja metodom kapilarnosti

Metode koje su zasnovane na merenjima kapilarnosti široko se primenjuju za karakterizaciju sorpcionih svojstava tekstilnih materijala [5].

Najjednostavniji način analize rezultata dobijenih ovom tehnikom je preko *Washburn*-ove jednačine [19]:

$$h^2 = \frac{r\gamma\cos\Theta}{2\eta}t \quad (2)$$

gde je:

h visina (mm) koju tečnost dostiže za vreme t (s),
 r prečnik kapilare (mm),
 γ površinski napon tečnosti (N/m),
 η viskoznost tečnosti (Pa s), i
 Θ ugao kvašenja (°) [19].

Uprošćavanjem *Washburn*-ove jednačine dobija se jednačina koja je upotrebljena u ovom radu za analizu rezultata dobijenih metodom kapilarnosti [5]:

$$\frac{m^2}{t} = \frac{c\rho\gamma\cos\Theta}{\eta} \quad (3)$$

u kojoj

$$c = \frac{1}{2}\pi^2\tau\overline{(r)}^5n^2 \quad (4)$$

gde je:

m masa sorbovane tečnosti (g),
 ρ gustina tečnosti (g/cm³),
 n broj kapilara,
 τ faktor tortuoznosti,
 c koeficijent difuzije povezan sa uzorkom i fizičko-hemijskim svojstvima tečnosti (cm⁵), i
 srednji prečnik kapilara u celoj ispitivanoj zapremini materijala (mm) [5].

U uprošćenoj *Washburn*-ovoj jednačini figurišu dva nepoznata parametra: c i Θ . Uobičajeno je da se c definiše upotrebom tečnosti koja u potpunosti kvasi čvrstu supstancu ($\Theta = 0$). U tu svrhu korišćen je *n*-heptan. Uzorci tkanina su isečeni na komade pravougaonog oblika (2 cm x 5 cm) i nakon toga su pričvršćeni u držač tenziometra K12 (Krüss, Hamburg, Nemačka).

Nakon određivanja konstante c , metoda kapilarnosti primenjena je na uzorcima tkaninama upotrebom Milli-Q vode uz merenje priraštaja mase tokom penjanja tečnosti i izračunavanje ugla kvašenja.

Za svaki uzorak tkanine izvršeno je najmanje 10 merenja u cilju dobijanja statistički značajnih rezultata.

2.9. Određivanje antibakterijske aktivnosti

Antibakterijska aktivnost tkanina ispitivana je prema Gram-pozitivnoj bakteriji *S.aureus* ATCC 25923 (*S.aureus*) i prema Gram-negativnoj bakteriji *E.coli* ATCC 25922 (*E.coli*) primenom standardne test metode ASTM E 2149-01 (2001). Inicijalni broj ćelija ili kolonija je iznosio 9,0 · 10⁶ CFU/ml za *S.aureus* i 9,4 · 10⁶ CFU/ml za *E.coli*.

Procenat bakterijske redukcije (R,%) je izračunat upotrebom sledeće jednačine:

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (5)$$

gde je:

C_0 početni broj ćelija ili kolonija u kontrolnom uzorku, odnosno VIS, (CFU/ml);
 C broj ćelija ili kolonija u ispitivanom uzorku, (CFU/ml).

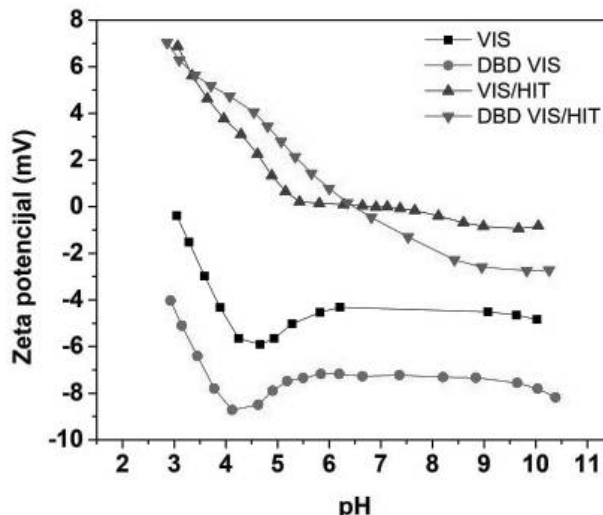
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Dielektrično barijereno pražnjenje dovelo je do oksidacije hidroksilnih i aldehidnih grupa VIS u karboksilne grupe. Sadržaj karboksilnih grupa povećan

je sa 0,064 mmol/g celuloze za VIS na 0,085 mmol/g celuloze za DBD VIS, pri čemu je sadržaj aldehidnih grupa smanjen sa 0,018 mmol/g celuloze za VIS na 0,009 mmol/g celuloze za DBD VIS.

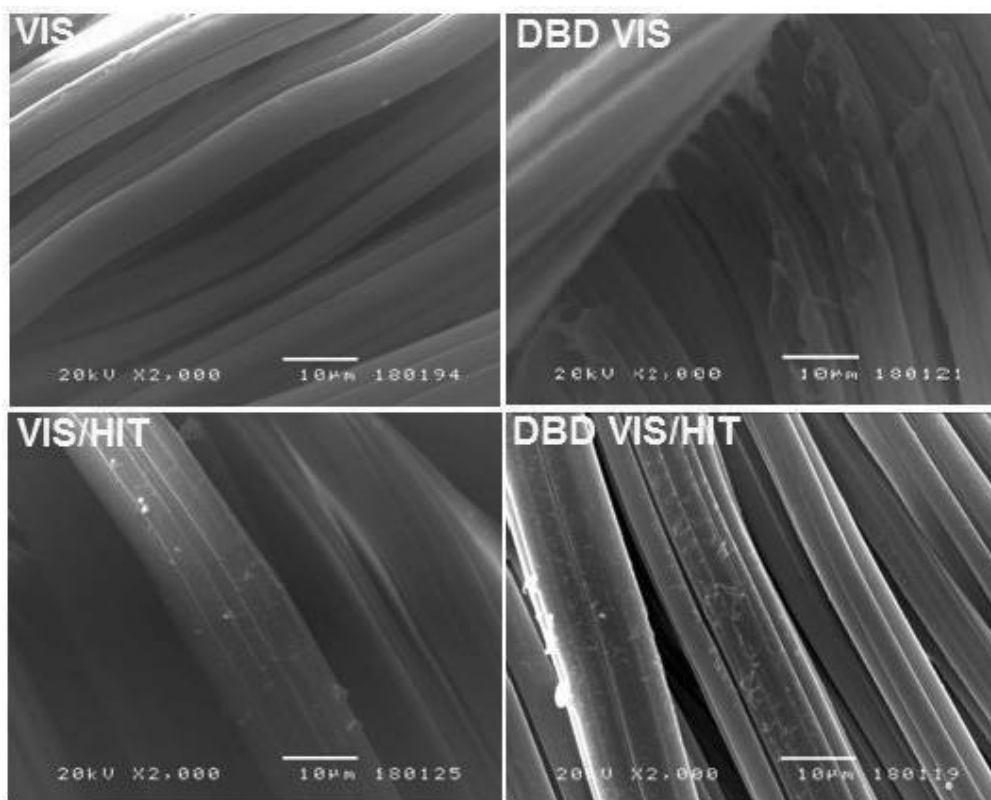
Novonastale funkcionalne grupe uticale su na promenu elektrokinetičkih svojstava DBD VIS. Sa Slike 1 može se uočiti fazno pomeranje krive zavisnosti zeta potencijala od pH za DBD VIS ka nižim vrednostima zeta potencijala u odnosu na krivu zavisnosti zeta potencijala od pH za VIS, kao i pomeranje izoelektrične tačke za DBD VIS na niže pH vrednosti u odnosu na izoelektričnu tačku za DBD VIS. Ove promene ukazuju na negativnije površinsko naelektrisanje DBD VIS, čineći je pogodnijom za funkcionalizaciju sa katjonskim molekulima kao što je hitozan.

Nakon funkcionalizacije hitozanom došlo je do pomeranja krivih zavisnosti zeta potencijala od pH, kako za VIS, tako i za DBD VIS ka višim vrednostima zeta potencijala i pomeranja njihovih izoelektričnih tački na više pH vrednosti. Manje negativne vrednosti zeta potencijala na višim pH ukazuju na manji broj slobodnih hidroksilnih, karboksilnih i aldehidnih grupa na površini VIS/HIT i DBD VIS/HIT usled adsorbovanih molekula hitozana, dok pozitivnije vrednosti zeta potencijala na nižim pH ukazuju na potisnutu disocijaciju slobodnih hidroksilnih, karboksilnih i aldehidnih grupa uz istovremenu protonizaciju slobodnih amino



Slika 1: Zeta potencijal nemodifikovane i DBD modifikovane viskozne tkanine pre i posle funkcionalizacije hitozanom. Deo prikazanih rezultata publikovan je u [8]

grupa adsorbovanih molekula hitozana na površini VIS/HIT i DBD VIS/HIT. Niže vrednosti zeta potencijala VIS/HIT u odnosu na DBD VIS/HIT u području nižih pH vrednosti posledica su manje količine slobodnih amino grupa molekula hitozana na VIS/HIT u odnosu na DBD VIS/HIT tj. manje količine molekula hitozana na VIS/HIT u odnosu na DBD VIS/HIT.



Slika 2: SEM fotografije nemodifikovane i dielektrično barijeranim pražnjenjem modifikovane viskozne tkanine pre i posle funkcionalizacije hitozanom

Pored promena elektrokinetičkih svojstava DBD tretman je doveo i do promena morfologije površine vlakna viskoze. Poznato je da DBD tretmani usled tzv. efekta nagrizanja dovode do pojave pukotina i ablacije površine vlakana viskoze [16], što se jasno može uočiti na Slici 2.

Ovakve morfološke promene uz istovremeno povećanje sadržaja karboksilnih grupa generalno se smatraju veoma pogodnim u smislu poboljšanja sorpcionih svojstava vlakana [20]. Međutim, na osnovu dosadašnjih istraživanja utvrđeno je da u zavisnosti od primenjenog postupka tretiranja viskoze DBD može doći kako do povećanja njene hidrofilnosti tako i do povećanja hidrofobnosti [16], [21], [22]. DBD tretman primenjen u ovom radu uticao je na produženje vremena potrebnog za postizanje ravnotežnog stanja tokom sorpcije tečnosti (sa 144 s za VIS na ≤ 700 s za DBD VIS), smanjenje količine sorbovane tečnosti u ravnotežnom stanju (sa 0,5163 g tečnosti/g tkanine za VIS na 0,4138 g tečnosti/g tkanine za DBD VIS), i neznatno smanjenje ugla kvašenja (sa 81,05° za VIS na 80,11° za DBD VIS). Drugim rečima, dielektrično barijerno pražnjenje dovelo je do pogoršanja sorpcionih svojstava DBD VIS. Naknadna funkcionalizacija VIS hitozanom, uticala je na smanjenje vremena potrebnog za postizanje ravnotežnog stanja tokom sorpcije tečnosti (sa 144 s za VIS na 137 s za VIS/HIT), ali i na smanjenje količine sorbovane tečnosti u ravnotežnom stanju (sa 0,5163 g tečnosti/g tkanine za VIS na 0,4766 g tečnosti/g tkanine za VIS/HIT). Smanjenje količine sorbovane tečnosti u ravnotežnom stanju verovatno je posledica deponovanja hitozana u pukotine i pore koje se nalaze na površini VIS/HIT (Slika 2) čime je smanjena mogućnost penetracije tečnosti u amorfnu područja vlakana. S obzirom da je hitozan izuzetno hidrofilan molekul [23], prisustvo hitozana na površini VIS/HIT (Slika 2) dovelo je do smanjenja ugla kvašenja (sa 81,05° za VIS na 47,71° za VIS/HIT). Za razliku od VIS, funkcionalizacija DBD VIS hitozanom dovela je do istovremenog poboljšanja svih ispitivanih parametara sorpcionih svojstava tj. smanjenja vremena potrebnog za postizanje ravnotežnog stanja tokom sorpcije tečnosti (sa ≤ 700 s za DBD VIS na 35 s za DBD VIS/HIT), povećanja količine sorbovane tečnosti u ravnotežnom stanju (sa 0,4138 g tečnosti/g tkanine za DBD VIS na 0,5434 g tečnosti/g tkanine za DBD VIS/HIT), i smanjenja ugla kvašenja (sa 80,11° za DBD VIS na 22,19° za DBD VIS/HIT). Činjenica da je modifikovanje VIS dielektričnim barijerenim pražnjenjem dovelo do pogoršanja sorpcionih svojstava DBD VIS, a da je naknadna funkcionalizacija DBD VIS hitozanom dovela do poboljšanja sorpcionih svojstava DBD VIS/HIT nedvosmisleno ukazuje da na poboljšanje sorpcionih svojstava DBD VIS/HIT direktan uticaj nije imalo dielek-

trično barijereno pražnjenje već prisustvo hitozana. Dielektrično barijereno pražnjenje je imalo indirektan uticaj preko poboljšane adsorpcije hitozana (Slika 1). Uzimajući u obzir sve ispitivane parametre sorpcionih svojstava (Tabela 2), jasno je da DBD VIS/HIT ima značajno poboljšana sorpciona svojstva u odnosu na VIS/HIT, verovatno usled veće količine adsorbovanog hitozana (Slika 1), kao i u odnosu na ostale ispitivane tkanine.

Tabela 2: Vreme potrebno za postizanje ravnotežnog stanja tokom sorpcije tečnosti, količina sorbovane tečnosti u ravnotežnom stanju i ugao kvašenja nemodifikovane i dielektrično barijerenim pražnjenjem modifikovane viskozne taknine pre i posle funkcionalizacije hitozanom. Deo prikazanih rezultata publikovan je u [8]

Oznaka uzorka	Ravnotežno stanje tokom sorpcije tečnosti, s	Količina sorbovane tečnosti, g tečnosti/g tkanine	Ugao kvašenja, °
VIS	144	0,5163	81,05
VIS/HIT	137	0,4766	47,71
DBD VIS	≤ 700	0,4138	80,11
DBD VIS/HIT	35	0,5434	22,19

S obzirom da sadrži nutrijente i izvore energije, viskoza predstavlja pogodan supstrat za rast mikroorganizama [4], što je potvrđeno i u ovom radu gde je primenom standardne metode za određivanje antimikrobne aktivnosti pod dinamičkim uslovima kontakta zabeležen rast *S.aureus* i *E.coli* na VIS. Iz Tabele 3 može se uočiti da je maksimalna redukcija *S.aureus* postignuta i sa VIS/HIT i sa DBD VIS/HIT, dok je maksimalna redukcija *E.coli* postignuta samo sa DBD VIS/HIT. U odnosu na DBD VIS/HIT, sa VIS/HIT postignuta je nešto niža redukcija *E.coli* verovatno usled manje količine adsorbovanog hitozana na šta ukazuju krive zavisnosti zeta potencijala od pH (Slika 1).

Tabela 3: Antibakterijska aktivnost nemodifikovane i dielektrično barijerenim pražnjenjem modifikovane viskozne taknine pre i posle funkcionalizacije hitozanom. Deo prikazanih rezultata publikovan je u [8]

Oznaka uzorka	Broj bakterijskih kolonija (CFU) i redukcija (%)			
	<i>E.coli</i> (CFU/ml)	<i>E.coli</i> (%)	<i>S.aureus</i> (CFU/ml)	<i>S.aureus</i> (%)
VIS	$2,40 \times 10^7$	0	$8,11 \times 10^7$	0
DBD VIS	$1,46 \times 10^7$	39,16	$3,00 \times 10^6$	87,50
VIS/HIT	$5,10 \times 10^5$	97,87	0	99,99
DBD VIS/HIT	$1,77 \times 10^5$	99,26	$9,00 \times 10^4$	99,62

4. ZAKLJUČAK

U ovoj studiji, modifikovanje viskozne tkanine dielektričnim barijernim pražnjenjem primenjeno je kako bi se u njenu strukturu uvele funkcionalne grupe koje su omogućile poboljšanu adsorpciju hitozana. Posledično, poboljšana adsorpcija hitozana uticala je na poboljšanje kako sorpcionih tako i antibakterijskih svojstava. U odnosu na nemodifikovanu viskoznu tkaninu funkcionalizovanu hitozanom, dielektričnim barijernim pražnjenjem modifikovana viskozna tkanina funkcionalizovana hitozanom postigla je ravnotežno stanje tokom sorpcije tečnosti za 102 s brže, imala povećanu količinu sorbovane tečnosti u ravnotežnom stanju za 0,0668 g tečnosti/g tkanine, manji ugao kvašenja za 25,52°, i veću redukciju *E.coli* za 1,39%. S obzirom na istovremeno poboljšana sorpciona i antibakterijska svojstva, dielektričnim barijernim pražnjenjem modifikovana viskozna tkanina funkcionalizovana hitozanom je proizvod visoke dodatne vrednosti koji može naći primenu u izradi medicinskog tekstila.

Zahvalnost

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Contract No. 451-03-9/2021-14/200135 and Contract No. 451-03-9/2021-14/200287). Autori se zahvaljuju dr Tanji Nikolić (prof. struk. stud. Akademije strukovnih studija Južna Srbija) na izvođenju analiza skenirajuće elektronske mikroskopije i dr Katarini Mihajlovski (naučnom saradniku Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu) na izvođenju analiza antimikrobnosti.

REFERENCE

- [1] Zhezhova S., Jordeva S., Golomeova-Longurova S., Jovanov S. (2021). Application of technical textile in medicine. *Tekstilna industrija*, 69 (2), 21-29.
- [2] Morris H., Murray R. (2020). Medical textiles, *Textile Progress*, 52 (1-2), 1-127.
- [3] Naseri-Nosar M., Ziora Y. M. (2018). Wound dressings from naturally-occurring polymers: A review on homopolysaccharide-based composites, *Carbohydrate Polymers*, 189, 379-398.
- [4] Zhong W. (2013). *An Introduction to Healthcare and Medical Textiles*, DEStech Publications, Lancaster.
- [5] Peršin Z., Zaplotnik R., Stana Kleinschek K. (2013). Ammonia plasma treatment as a method promoting simultaneous hydrophilicity and antimicrobial activity of viscose wound dressings, *Textile Research Journal*, 84 (2), 140-156.
- [6] Lenjak A. (2017). Diplomski rad: *Određivanje antibakterijskih svojstava tekstilnih materijala*. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [7] Strnad S., Sauperl O., Fras-Zemljic L. (2010). Cellulose Fibres Functionalised by Chitosan: Characterization and Application, in *Biopolymers*, InTech, Rijeka, 181-200.
- [8] Korica M. (2020). Doktorska disertacija: *Dobijanje bioaktivnih nanostrukturnih materijala na bazi celuloze i hitozana*. Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [9] Fras Zemljič L., Peršin Z., Šauperl O., Rudolf A., Kostić M. (2018). Medical textiles based on viscose rayon fabrics coated with chitosan-encapsulated iodine: antibacterial and antioxidant properties, *Textile Research Journal*, 88 (22), 2519-2531.
- [10] Korica M., Peršin Z., Trifunovic S., Mihajlovski K., Nikolic T., Maletic S., Fras Zemljic L., Kostic M. M. (2019). Influence of different pretreatments on the antibacterial properties of chitosan functionalized viscose fabric: TEMPO oxidation and coating with TEMPO oxidized cellulose nanofibrils, *Materials*, 12 (19), 3144.
- [11] Korica M., Peršin Z., Fras Zemljič L., Mihajlovski K., Dojčinović B., Trifunović S., Vesel A., Nikolić T., Kostić M. M. (2021). Chitosan Nanoparticles Functionalized Viscose Fabrics as Potentially Durable Antibacterial Medical Textiles, *Materials*, 14 (13), 3762.
- [12] Fras Zemljic L., Sauperl O., But I., Zabret A., Lusicky M. (2011). Viscose material functionalized by chitosan as a potential treatment in gynecology, *Textile Research Journal*, 81 (11), 1183-1190.
- [13] Fras Zemljič L., Volmajer J., Ristić T., Bracic M., Sauperl O., Kreže T. (2013). Antimicrobial and antioxidant functionalization of viscose fabric using chitosan-curcumin formulations, *Textile Research Journal*, 84 (8), 819-830.
- [14] Kumar A., Kumar A. (2017). *Chitosan as a biomedical material: Properties and applications*, in *Biopolymers: Structure, Performance and Applications*, Nova Science Publishers, Inc., New York, 139-153.
- [15] Kumar M. N. V. R., Muzzarelli R. A. A., Muzzarelli C., Sashiwa H., Domb A. J. (2004). Chitosan Chemistry and Pharmaceutical Perspectives, *Chemical Reviews*, 104 (12), 6017-6084.
- [16] Kramar A. D. (2015). Doktorska disertacija: *Modifikovanje površine celuloznih vlakana primenom diel-*

- ektričnog barijernog pražnjenja. Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [17] Pejić B. M., Kramar A. D., Obradović, B. M., Kuraica M. M., Žekić A. A., Kostić, M. M. (2020). Effect of plasma treatment on chemical composition, structure and sorption properties of lignocellulosic hemp fibers (*Cannabis sativa L.*), *Carbohydrate Polymers*, 236, 116000.
- [18] Parks E. J., Hebert R. L. (1972). Thermal analysis of ion-exchange reaction products of wood pulps with calcium and aluminum cations, *Tappi Journal*, 55, 1510-1514.
- [19] Washburn E. W. (1921). The Dynamics of Capillary Flow, *Physical review*, 17 (3), 273-283.
- [20] Kramar A. D., Prysiazhnyi V., Dojcinovic B. P., Mihajlovski K. R., Obradovic B. M., Kuraica M. M., Kostic M. M. (2013). Antimicrobial viscose fabric prepared by treatment in DBD and subsequent deposition of silver and copper ions-Investigation of plasma aging effect, *Surface and Coatings Technology*, 234, 92-99.
- [21] Kramar A. D., Obradović B. M., Vesel A., Kuraica M. M., Kostić M. M. Preparation of hydrophobic viscose fabric using nitrogen DBD and copper ions sorption, *Plasma Processes and Polymers*, 12 (10), 1095-1103.
- [22] Peršin Z., Devetak M., Drevenšek-Olenik I., Vesel A., Mozetič M., Stana-Kleinschek K. (2013). The study of plasma's modification effects in viscose used as an absorbent for wound-relevant fluids, *Carbohydrate Polymers*, 97 (1), 143-151.
- [23] Korica M., Fras Zemljič L., Bračić M., Kargl R., Spirk S., Reishofer D., Mihajlovski K., Kostić M. (2019). Novel protein-repellent and antimicrobial polysaccharide multilayer thin films, *Holzforchung*, 73 (1), 93-103.
-
- Primljeno/Received on: 7.09.2021.
Revidirano/ Revised on: 21.11.2021.
Prihvaćeno/Accepted on: 21.11.2021.
-
- © 2021 Authors. Published by Union of Textile Engineers and Technicians of Serbia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)