

ZETA potencijal tekstilnih materijala: pregled

Dr.sc. **Thomas Luxbacher**

Prof.dr.sc. **Tanja Pušić**

Hermína Bukšek, dipl.ing.

Doc.dr.sc. **Irena Petrinić**

¹ Anton Paar GmbH

Graz, Austrija

² Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju

Zagreb, Hrvatska

³ Sveučilište u Mariboru, Fakultet kemije i kemijskog inženjerstva

Maribor, Slovenija

e-mail: thomas.luxbacher@anton-paar.com

Prispjelo 5.10.2016.

UDK 677.014.27
Izlaganje na skupu*

Elektrostatske interakcije između površine materijala i tvari u vodenim otopinama imaju važnu ulogu u brojnim procesima obrade tekstilnih materijala poput oplemenjivanja i bojadisanja. Naboj površine tekstila je pokretač ovih elektrostatskih interakcija. On se može odrediti analizom zeta potencijala površina mjerenjem potencijala strujanja. U ovom radu je objašnjen princip analize zeta potencijala površina i doprinos mjerenja potencijala strujanja tekstilnih materijala. Rezultati dosadašnjih istraživanja primjene zeta potencijala tekstila koji su objavljeni u znanstvenoj literaturi, komplementarni su s istraživanjima ove skupine autora na problematici pletiva od mješavine pamučnih i modakrilnih vlakana, analizi brzine adsorpcije i desorpcije omekšivača na pletiva.

Ključne riječi: naboj površine, zeta potencijal, potencijal strujanja, pletiva

1. Uvod

Površinski naboj i naboj na granici faza kruto-voda se generiraju spontano ukoliko se kruta površina nađe u dodiru s vodenom otopinom. Raspodjela naboja na granici faza kruto-voda pokreće elektrostatske interakcije između krute površine i otopljenih tvari u vodenoj otopini. Za male čestice ili sitna vlakna u disperzijama, površinski naboj se može direktno odrediti potenciometrijskom titracijom [1] ili pomoću detektora nabo-

*Izlaganje na međunarodnoj konferenciji 8th INTERNATIONAL TEXTILE, CLOTHING & DESIGN CONFERENCE – Magic World of Textiles, 2.-5.10.2016., Dubrovnik, Hrvatska

ja čestica [2]. Za bilo koji drugi kruti materijal, analiza površinskog naboja je ograničena na indirektno određivanje zeta potencijala. Osim praćenja naboja površine i naboja na granici faza kruto-tekuće, zeta potencijal se može koristiti kao pokazatelj za osjetljive interakcije između otopljenih tvari sadržanih u vodenoj otopini i krute površine. Takvi procesi su važni u tekstilu i obuhvaćaju fenomene adsorpcije: tenzida (npr. omekšivači, sredstva za pranje), bojila, polielektrolita, pa i nanočestica.

U ovom radu su dati primjeri kako se zeta potencijal koristi kao pokazatelj promjene naboja tekstila tijekom obrade ili nakon njegove modifikacije.

2. Površinski zeta potencijal

Zeta potencijal u koloidnim disperzijama i emulzijama određuje se mjerenjem elektroforetske pokretljivosti ili elektroakustičnih efekata [3], u prvom redu radi ocjene stabilnosti takvih koloidnih sustava. Zeta potencijal krutih makroskopskih površina se izračunava iz izmjerenih potencijala strujanja ili struje strujanja [4], kao svrsishodna veličina za karakterizaciju naboja površine i funkcionalnih skupina na površini. Teoretska osnova zeta potencijala je uobičajena za koloide i krutine i temelji se na elektrokemijskom dvosloju (EDL) na granici kruto-tekuće. Na sl.1 je she-

matski prikaz raspodjele naboja na granici faza kruto-voda. Naboj površine koji se generira, npr. interakcijom vode s funkcionalnim skupinama, djelomično se kompenzira u mirujućem sloju vode i suprotno nabijenih iona. Potpuna kompenzacija naboja površine zahtijeva dodatne suprotno nabijene ione koji su akumulirani u difuznom sloju. Raspodjela suprotno nabijenih iona (kationi na sl.1) i ko-ioni (anioni na sl.1) u difuznom sloju razlikuje se od raspodjele iona u preostaloj tekućoj fazi. Relativno gibanje između krute i tekuće faze dovodi do elektrokinetičkog efekta. Mjerenje prethodno spomenutih parametara, elektroforetske pokretljivosti ili potencijala strujanja, ubrajaju se u elektrokinetičke efekte. Potencijal strujanja nastaje kad tekućina prolazi kroz kapilaru načinjenu od krutog materijala. Razlika tlakova između krajeva takve kapilare je pokretač protoka tekućine kroz kapilaru. Preraspodjela naboja na granici faza dovodi do pomaka kompenzirajućih iona u difuznom sloju u smjeru protoka tekućine.

Višak određenog naboja čiji je predznak određen površinskim nabojem je prisutan, što dovodi do razdvajanja naboja i generiranja električnog potencijala. Ovaj potencijal strujanja U_{str} je ovisan o razlici tlakova Δp prema jednadžbi (1) i o zeta potencijalu ζ kao predstavniku krute površine.

$$dU_{str} = \zeta \times \frac{\epsilon \times \epsilon_0}{\eta \times \kappa_B} \times d\Delta p \quad (1)$$

U jednadžbi (1), ϵ_0 je permitivnost vakuuma, ϵ je dielektrični koeficijent a η viskoznost vode, i κ_B je elektrovodljivost vodene otopine. Prema EDL modelu, analiza potencijala strujanja je moguća na temelju nekoliko graničnih uvjeta, koje uzorci tehničkih materijala teško mogu ispuniti. Unutar ove skupine je potrebno uvesti ravnu površinu s beskonačnim proširenjem. To svakako nije moguće za tekstilne materijale. Drugo, krute površine moraju biti neporozne i nevodljive. Otvorena struktura i određeni stupanj bubrivosti su svojstva prirodnih vlakana i tekstilnih materijala, koji su također proturječni ovom zahtjevu.

Ipak je moguća primjena zeta potencijala kao indikatora naboja površine i procesa na granici faza kruto-voda, poput adsorpcije i desorpcije u sustavu tekućina-kruta površina.

Ograničenja EDL modela se uglavnom odnose na izračun zeta potencijala. Određena proširenja su dobivena putem Helmholtz i Smoluchowski teorije, koja se temelji na mjerenju potencijala strujanja ili struje strujanja iz kojih se izračunava zeta potencijal. Fairbrother i Mastin su 1920. [5] uveli jednostavan pristup na temelju kojeg je potrebno načiniti korekciju zeta potencijala iz izmjerenog potencijala strujanja vlaknatih

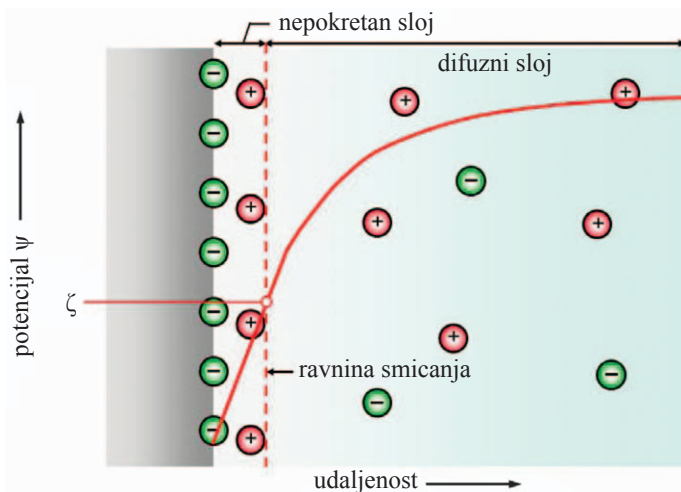
uzoraka uvođenjem utjecaja površine ili granične elektrovodljivosti. Oni su sugerirali mogućnost smanjenja utjecaja površinske elektrovodljivosti određivanjem konstante vlaknatog čepa u ćeliji u otopinama visoke ionske jakosti. Međutim, nisu uzeli u obzir je li dodatna ionska elektrovodljivost posljedica poroznosti prirodnih vlakana [6] koja se mijenja s ionskom jakošću vodene otopine.

Čak i za porozne materijale, poput tekstilnih s makroskopski ravnom površinom, gdje se može primijeniti struja strujanja, utjecaj struje strujanja unutar porozne strukture takvih uzoraka je razmatran tek nedavno [7]. Za analizu naboja površine i površinskih funkcionalnih skupina površina složenih materijala preporučuje se primijeniti mjerne parametre potencijala strujanja ili struje strujanja [8], umjesto izračunatog zeta potencijala.

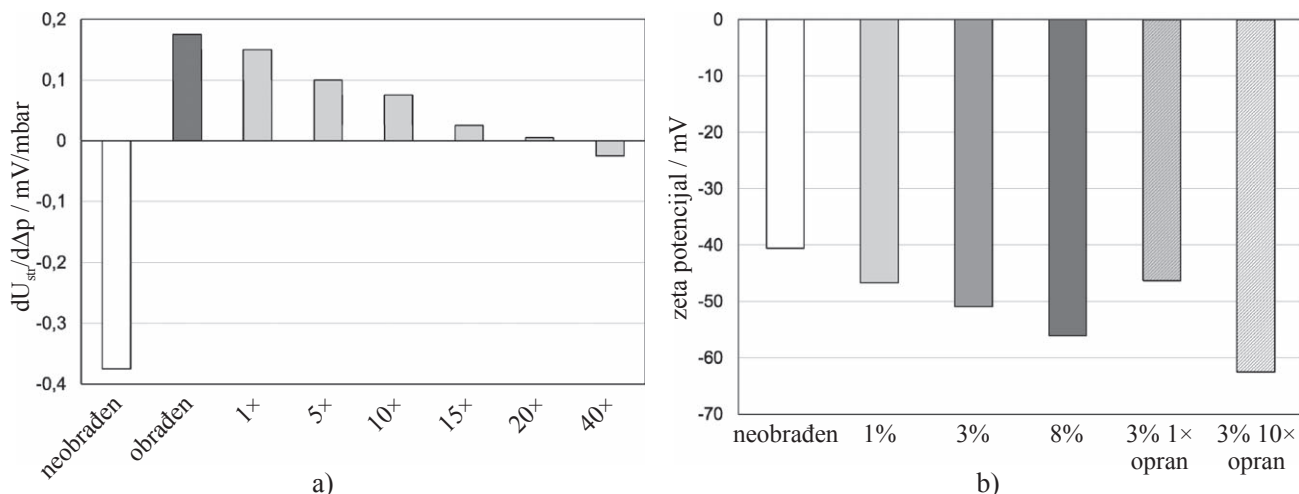
3. Eksperimentalni dio

Svrha ovoga rada je dati pregled rezultata prethodnih i nedavnih istraživanja i analize zeta potencijala tekstilnih materijala. Mjerenja potencijala strujanja tekstilnih uzoraka su provedena na instrumentima tvrtke Anton Paar iz Austrije: EKA (elektrokinetički analizator - *Electro Kinetic Analyzer*, dostupan u razdoblju 1990.-2005.) ili SurPASS (dostupan u razdoblju 2006.-2015.). Prije dostupnosti komercijalnih instrumenata za analizu zeta potencijala površina, razne istraživačke skupine su koristile samostalno izrađene aparate za karakterizaciju površine tekstilnih vlakana. Cilindrična ćelija je korištena za ulaganje uzorka, čiji dizajn se također razlikuje za EKA i SurPASS instrumente.

Eksperimentalni uvjeti mogu odstupati od standardnih protokola primjene razrijeđene vodene otopine 1:1 elektrolita kao što je NaCl ili KCl ionske jakosti 0,001 mol/l. Odstupanja od ovih uvjeta je potrebno navesti. Uobičajeni pristup je određivanje ovisnosti površinskog naboja o pH, što se postiže dodavanjem razrije-



Sl.1 Model elektrokemijskog dvosloja (EDL model) na površini granice faza kruto-tekuće



Sl.2 Utjecaj ciklusa pranja na postojanost: a) pozitivno nabijenih nanočestica na pamuku (pH 6) [13] i b) zeta potencijal poliamidne čarape obrađene mikrokapulama (pH 9) [14].

đene kiseline ili lužine u koncentraciji 0,05-0,1 mol/l u mjernu otopinu. Ovisnost zeta potencijal o pH dovodi do izoelektrične točke na granici faza materijal-voda, tj. pH vodene otopine u kojima $\zeta = 0$ mV, čime se granični naboj smanjuje.

4. Rasprava

U fokusu prvih primjena potencijala strujanja za tekstilna vlakna i karakterizaciju tekstilnih materijala bilo je u prvom redu praćenje procesa kao što je adsorpcija tenzida [9] ili predobrada pamuka, npr. iskuhavanje i mercerizacija [2, 10, 11]. Rezultati zeta potencijala ovako tretiranih tekstilnih materijala su objavljeni [12]. U novije vrijeme u težišta istraživanja su na uvođenju funkcionalnih skupina na površine tekstilnih materijala.

4.1. Adsorpcija nanočestica

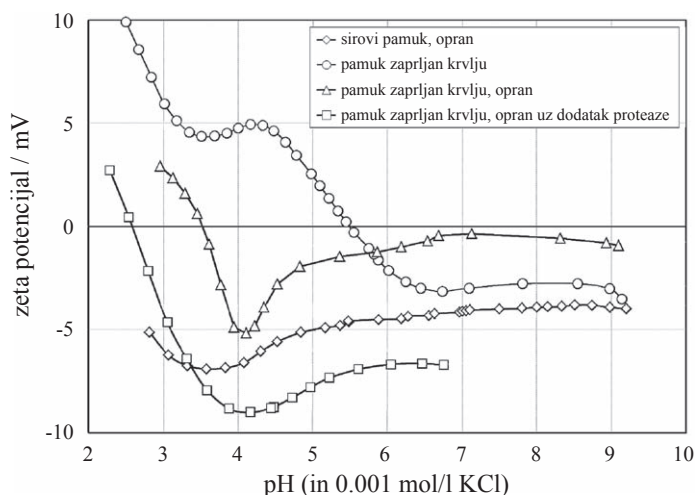
Mogući način postizanja novih funkcionalnih svojstava tekstilnih materijala je vezanje nanočestica ili mikrokapsula na njihove površine. Ripoll i suradnici su koristili potencijal strujanja kao indikator za procjenu kinetike adsorpcije pozitivno nabijenih nanočestica na pamučne i poliamidne tkanine [13]. Nakon modifikacije ovih tkanina nanočesticama, ispitivali su njihovu postojanost tijekom niza ciklusa pranja. Slična istraživanja proveli su Luxbacher i suradnici,

pratili su otpuštanje mikrokapsula iz uzoraka poliamidnih čarapa nakon 1, 3 i 10 ciklusa pranja [14]. Na sl.2 prikazani su rezultati tog istraživanja. Upotreba nanočestica s jakim kationskim funkcionalnim skupinama, prema Ripollu i suradnicima [13], kroz analizu zeta potencijala u širokom pH rasponu, potvrđuje otpuštanje nanočestica tijekom pranja. Međutim, negativan naboj mikrokapsula i uzoraka poliamidnih čarapa zahtijeva praćenje zeta potencijala u ovisnosti o pH vrijednosti da bi se utvrdili uvjeti mjerenja pri kojima će biti dobivene najznačajnije razlike između uzoraka. Zeta potencijal je određen pri pH 9. Treba napomenuti da je utvrđeno

da pranje kroz 10 ciklusa utječe na promjenu elektrokinetičkih svojstava poliamidne čarape.

4.2. Njega tekstila

Postojanost obrade površina je zahtjev koji se može ocijeniti pomoću zeta potencijala površine. S druge strane, mogućnost praćenja uklanjanja depozita (čestica) s tekstilnog materijala je važna za procjenu učinkovitosti deterdženata u pranju. Luxbacher i suradnici [15] su utvrdili promjene zeta potencijala površine pamučnih tkanina zaprljanih krvlju da bi pokazali učinak standardnog deterdženta i poboljšani učinak pranja na 60 °C. Zeta potencijal stan-

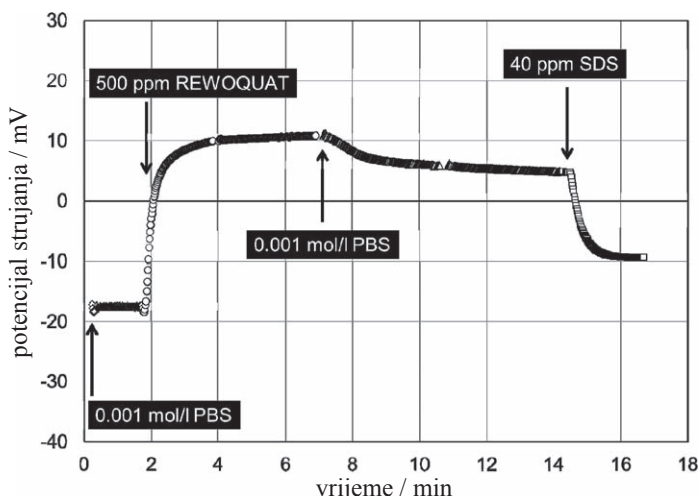


Sl.3 Ovisnost zeta potencijala pamučnih tkanina o pH - usporedba sirovih tkanina i tkanina zaprljanih krvlju nakon pranja deterdžentom bez proteaze i s proteazom [15]

dardne tkanine od sirovog pamuka (EMPA testmaterials, Švicarska) je korišten za usporedbu sa zeta potencijalom tkanine od sirovog pamuka zaprljane krvlju nakon pranja.

Na sl.3 prikazan je zeta potencijal netretiranih i krvlju zaprljanih sirovih pamučnih tkanina nakon pranja standardnim deterdžentom pri temperaturi 60 °C u ovisnosti o pH. Unatoč malom rasponu vrijednosti zeta potencijala ovih tkanina (± 10 mV) mogu se jasno razlikovati svojstva površine različitih uzoraka. Zaključeno je da je uklanjanje mrlja od krvi nakon pranja djelomično jer standardni deterdžent ne sadrži enzim proteazu, koja je ključni sastojak za uklanjanje proteinskih mrlja. Usporedbom zeta potencijala sirove i bijeljene pamučne tkanine [11] uočeno je da deterdžent uklanja ne samo mrlje od krvi, već i necelulozne primjese sirove pamučne tkanine.

Sljedeća mogućnost primjene zeta potencijala u njezi tekstila je proces omekšavanja. Luxbacher i suradnici [16] su pratili promjenu naboja pletiva od mješavine pamuka i modakrila. Promjene naboja površine pletiva u procesu adsorpcije omekšivača su praćene tijekom vremena. Potencijal strujanja generiran kroz razliku tlakova između krajeva čepa načinjenog od tekstila, može se primijeniti za praćenje kinetike adsorpcije esterkvata (omekšivača). S obzirom na to da kationski tenzid, čak pri niskoj koncentraciji, utječe na pH razrijeđene vodene otopine 0,001 mol/l KCl, dodan je fosfatni pufer (PBS) za stabilizaciju pH otopine. Promjene potencijala strujanja stoga su isključivo ovisne o vezivanju esterkvata na površinu pletiva od mješavine pamuka i modakrila. Na sl.4 je prikazana tipična analiza procesa adsorpcije i desorpcije esterkvata na pletivu od mješavine pamuka i modakrila 60/40 %. Nakon stabiliziranja uzorka pletiva u fosfatnom puferu, dodaje se 500 ppm esterkvata u otopinu. U početku slijedi brz proces adsorpcije esterkvata, koji se zatim usporava i nakon 2 min približava ravnotežnom stanju. Ispi-



Sl.4 Brzina adsorpcije i desorpcije omekšivača na bazi esterkvata na pletivu od mješavine pamuka i modakrila praćena promjenom potencijala strujanja [16]

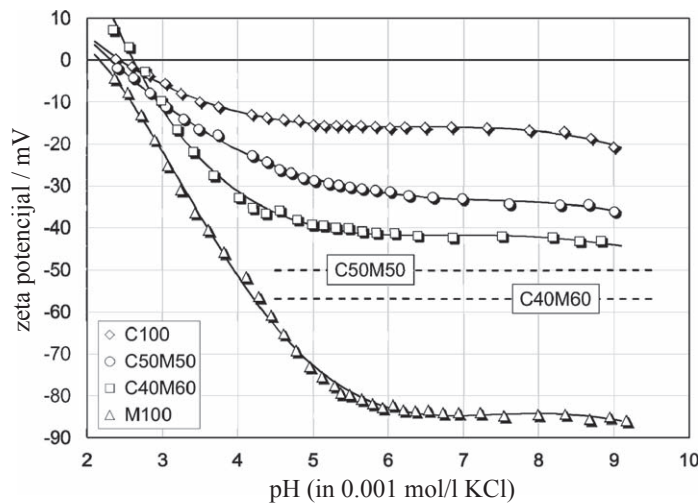
ranje svježom otopinom kojoj je dodan pufer uvjetuje djelomično uklanjanje esterkvata. Dodana koncentracija očito nije dostatna za promjenu naboja površine uzorka s obzirom na činjenicu da je pletivo obrađeno omekšivačem zadržalo pozitivan naboj sve dok nije uslijedila obrada anionskim tenzidom, natrijevim dodecilsulfatom (SDS) koji je izazvao učinkovitije uklanjanje. Čak i nakon ispiranja s PBS otopinom koja sadrži 40 ppm SDS, potencijal strujanja se nije vratio na početnu vrijednost koju je imao neobrađeni uzorak od mješavine pamuka i modakrila.

4.3. Površine heterogenih materijala

Analiza adsorpcije omekšivača pomoću zeta potencijala površine uključila je istraživanje utjecaja sastava mješavina vlakana. Značajno različita svojstva površine pamuka (prirodnog celuloznog vlakana) i modakrila (sintetskog vlakna), omogućuje jasno razlikovanje naboja na granici faza vlakno-voda. Pamučna vlakna imaju kisele funkcionalne skupine, kao što su hidroksilna i karboksilna, porozna su, hidrofilna i bubriva u vodi. Modakrilna vlakna imaju suprotna svojstva. Ona su neporozna, hidrofobna i nemaju značajan broj funkcionalnih skupina. Razlike ovih površina vidljive su i u različitom zeta potencijalu. Pamuka ima negativan zeta po-

tencijal, koji je jako nizak ako se računa po jednadžbi (1). Sintetska vlakna često imaju vrlo negativan zeta potencijal zbog nakupljanja iona vode (hidroksidni i hidronium ioni) na granici faze polimer-voda [17].

Na sl.5 je prikazana ovisnost zeta potencijala pletiva različitog udjela pamuka i modakrila o pH vrijednosti. U ovom slučaju se veće razlike negativnog zeta potencijala ispitivane tkanine uočavaju kod srednje i visoke pH vrijednosti nego kod IEP. Osim eksperimentalnih podataka, točkaste crte na sl.5 pokazuju predviđene rezultate za mješavine pamuka i modakrila, C50M50 (50/50 % pamuka i modakrila) i C40M60 (40/60 % pamuka i modakrila) uz pretpostavku da je podjednak utjecaj pamuka i modakrila na zeta potencijal površine. Očito je da pamučna vlakna u mješavini pamuka i modakrila dominiraju u vrijednostima zeta potencijala. Ovaj rezultat je objašnjen povećanom površinom poroznih pamučnih vlakana u usporedbi s modakrilnim vlaknima. Iako veličina površina ne utječe na analizu zeta potencijala kada se gleda na pojedinačnu površinu materijala (z se odnosi na gustoću naboja na granici faza), omjer odgovarajućih površina mora se uzeti u obzir za istraživanje uzoraka heterogenih konfiguracija koje se sastoje od dva ili više materijala.



Sl.5 Ovisnost zeta potencijala mješavina pamuka i modakrila s različitim udjelom (Točkaste linije pokazuju procjenu zeta potencijala mješavine pamuka i modakrila pod pretpostavkom da je podjednak doprinos pamučnih i modakrilnih vlakana)

5. Zaključak

Analize zeta potencijala u ovom radu pokazuje razvoj njegove primjene u karakterizaciji tekstila, počevši od klasičnih procesa predobrade do vlakana i površine materijala kao krajnjih proizvoda. Danas se povećava opseg ovih istraživanja kroz primjenu tekstila u procesima membranske filtracije ili biomaterijala. Osim provjere modifikacije površine i površinskih obrada, zeta potencijal je značajan pokazatelj za adsorpcijske procese. Praćenje interakcija otopljene tvari, od molekula do nanočestica, s površinama tkanine uvodi zanimljive aplikacije u analizi zeta potencijala površina. Interakcije proteina s tekstilnim nosačima u tkivnom inženjerstvu ili s tkaninama za obloge za rane, ili taloženje tvari koje začepuju (pore) površine tkanina za obradu vode su tipični primjeri za sadašnja i buduća istraživanja. (Prevela T. Pušić)

Literatura:

- [1] Ristić T. et al: A study on the interaction of cationized chitosan with cellulose surfaces, *Cellulose* 21 (2014) 2315-2325, ISSN 0969-0239
- [2] Grancarić, A.M., A. Tarbuk, T. Pušić: Electrokinetic properties of textile fabrics, *Coloration Technology*, 121 (2005) 4, 221-227, ISSN 1472-3581
- [3] Delgado A.V. et al: Measurement and interpretation of electrokinetic phenomena, *Pure and Applied Chemistry*, 77 (2005) 10, 1753-1805, ISSN 0033-4545
- [4] Luxbacher T.: The ZETA Guide – Principles of the streaming potential technique, Anton Paar GmbH, ISBN 978-3-200-03553-9, Graz, Austria, (2014)
- [5] Fairbrother F., H. Mastin: Studies in electro-endosmosis. Part I., *Journal of the Chemical Society* 125 (1924) 2319-2330, ISSN 1862-1877
- [6] Hubbe M.A.: Sensing the electrokinetic potential of cellulosic fiber surfaces, *Bioresources* 1 (2006) 1, 116-149, ISSN 1930-2126
- [7] Yaroshchuk A., T. Luxbacher: Interpretation of electrokinetic measurements with porous films: Role of electric conductance and streaming current within porous structure, *Langmuir* 26 (2010) 13, 10882-10889, ISSN 0743-7463
- [8] Zimmermann R. et al: Electrokinetics of a poly(N-isopropylacrylamid-co-carboxyacrylamid) soft thin film: Evidence of diffuse segment distribution in the swollen state, *Langmuir* 26 (2010) 23, 18169-18181, ISSN 0743-7463
- [9] Espinosa-Jimenez M., E. Gimenez-Martin: The sorption of N-cetylpyridinium chloride on leacril fibers. Electrokinetic properties, *Acta Polymerica* 47 (1996) 181-187, ISSN 1521-4044
- [10] Ribitsch V., K. Stana-Kleinschek, S. Jeler: The influence of classical and enzymatic treatment on the surface charge of cellulose fibres, *Colloid and Polymer Science* 274 (1996) 388-394, ISSN 0303-402X
- [11] Pušić T. et al: The effect of mercerisation on the electrokinetic potential of cotton, *Journal of the Society of Dyers and Colourists* 115 (1999) 1, 121-124, ISSN 1478-4408
- [12] Luxbacher T.: Electrokinetic properties of natural fibres, In *Handbook of natural fibres Vol. 2: Processing and applications*, Woodhead Publishing, ISBN 978-1845696979, Cambridge, UK, (2012), 185-214
- [13] Ripoll L. et al: Electrokinetic properties of bare or nanoparticle-functionalized textile fabrics, *Colloids and Surfaces A* 397 (2012) 1, 24-32, ISSN 0927-7757
- [14] Pušić T. et al: Microcapsule Durability on Polyamide-Knitted Fabrics Assessed by Streaming Potential Analysis, *AATCC review* 11 (2011) 5, 68-73, ISSN 1532-8813
- [15] Luxbacher T., T. Pušić, I. Petričić: Monitoring the washing efficiency of stained cotton fabrics by streaming potential measurement, *Proceedings of the 4th ITC&DC 2008*, Dragcevic, Z. (Ed.), 825-830, ISBN 978-953-7105-26-6, Dubrovnik, October 2008, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, (2008)
- [16] Luxbacher T. et al: Assessing the rate of adsorption of a softener on knitted fabrics by streaming potential measurement, *Proceedings of the 7th ITC&DC 2014*, Dragcevic, Z. (Ed.), 226-231, ISBN 1847-7275, Dubrovnik, October 2014, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, (2014)
- [17] Zimmermann, R. et al: Hydroxide and hydronium adsorption – A survey, *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 15 (2010) 3, 196-202, ISSN 1359-0294

SUMMARY

The zeta potential of textile fabrics: a review

T. Luxbacher¹, T. Pušić², H. Bukšek³, I. Petrinić³

The electrostatic interaction of a material surface with solutes in an aqueous solution plays an important role in many textile processes such as dyeing or finishing. The surface charge of textile fibers is driving this electrostatic interaction. Knowledge of the surface charge is accessible through the analysis of the surface zeta potential, which again is assessed by the measurement of the streaming potential. We explain the principle of the surface zeta potential analysis and highlight challenges in the streaming potential measurement of textile fabrics. A review of applications of the zeta potential in state-of-the-art textile research reported in the scientific literature is complemented by our recent results obtained for flame-retardant cotton-modacryl fabrics and the analysis of the adsorption and desorption kinetics of fabric softeners.

Key words: surface charge, zeta potential, streaming potential, knitted fabrics

¹*Anton Paar GmbH*

Graz, Austria

²*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Department of Textile Chemistry and Ecology*

Zagreb, Croatia

³*University of Maribor, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Laboratory for Water Biophysics and Membrane Processes*

Maribor, Slovenia

e-mail: thomas.luxbacher@anton-paar.com

Received October 5, 2016

Das Zeta-Potential von Textilien: ein Überblick

Die elektrostatische Wechselwirkung einer Materialoberfläche mit gelösten Substanzen in einer wässrigen Lösung spielt eine wichtige Rolle in vielen Textilprozessen wie Färben oder Veredlung. Die Oberflächenladung von Textilfasern treibt diese elektrostatische Wechselwirkung an. Kenntnisse über die Oberflächenladung kann man durch die Analyse des Oberflächenzeta potenzials erhalten, das seinerseits durch die Messung des Strömungspotentials beurteilt wird. In dieser Arbeit wird das Prinzip der Oberflächen-Zetapotentialanalyse erläutert und die Herausforderungen bei der Messung des Strömungspotentials von textilen Flächengebilden hervorgehoben. Ein Überblick über die Anwendungen des Zetapotenzials in der modernsten Textilforschung wird gegeben, worüber in der wissenschaftlichen Literatur berichtet wird. Durch die neuesten Ergebnisse über flammhemmende Baumwoll/Modacryl-Gewebe und durch die Analyse der Adsorptions- und Desorptionskinetik von Gewebehilfsmitteln dargestellt in dieser Untersuchung, werden die Kenntnisse über das Zeta-Potential von Textilien ergänzt.