

Robert Šoster, prof. fiz.

Nika Veronovski, dipl. inž. teks.

dr. **Lidija Tušek**, univ. dipl. inž. teks.

izr. prof. dr. **Karin Stana-Kleinschek**, univ. dipl. inž. teks.

doc. dr. **Simona Strnad**, univ. dipl. inž.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Inštitut za tekstilno kemijo, ekologijo in koloristiko,

Laboratorij za obdelavo in preskušanje polimernih materialov, Smetanova 17, Maribor,

e-pošta: robert.soster@uni-mb.si; karin.stana@uni-mb.si; simona.strnad@uni-mb.si

red. prof. dr. **Volker Ribitsch**

Karl-Franzes Universität Graz, Institut für Chemie, Rheology und Kolloidforschung, Graz, Avstrija,

e-pošta: volker.ribitsch@kfunigraz.ac.at

Zeta potencial PA 6

V raziskavi smo preučevali elektrokinetične lastnosti poliamida 6 v obliki (a) folije in (b) tekstilnega filameta ob uporabi dveh merilnih celic. Merili smo potencial zaradi pretoka in iz tega določili zeta potencial (ζ) v odvisnosti od pH vrednosti medija. Meritve na posameznem materialu smo preučevali s stališča ponovljivosti. S tem namenom smo opravili meritve na 10 preskušancih istega vzorca. Določili smo osnovne statistične pokazatelje ponovljivosti za ζ pri pH 3 in 9 ter izoelektrično točko. Metodo smo optimirali glede na čas nabrekanja v raztopini elektrolita pred meritvijo in maso materiala v cilindrični celici.

Meritve v 0,001 M KCl na obeh vrstah materiala kljub različni nadmolekularni in površinski strukturi dobro sovpadajo. Krivulje $\zeta = \zeta(\text{pH})$ imajo pričakovan potek. PA 6 kaže amfoterno naravo zaradi vsebnosti amino in karboksilnih skupin. V alkalnem mediju disociirajo karboksilne skupine, kar povzroči negativen ζ (folija: $(-32,9 \pm 1,6)$ mV, filament: $(-35,2 \pm 2,0)$ mV pri pH 9). V kislem mediju kaže PA kationski značaj zaradi disociacije amino skupin (folija: $(24,5 \pm 1,7)$ mV, filament: $(15,1 \pm 1,1)$ mV pri pH 3). Izoelektrična točka, kjer je ζ enak 0, se nabaja za folijo pri pH vrednosti $4,7 \pm 0,1$, za filament pa pri $4,9 \pm 0,1$.

***Ključne besede:** poliamid 6, elektrokinetične lastnosti, potencial zaradi pretoka, zeta potencial, filament, folija*

Zeta Potential of PA 6

This paper investigates electrokinetic properties of polyamide 6 in a form of (a) foil and (b) textile filament using two measurement cells. The streaming potential was measured and the zeta potential (ζ) as a function of the pH value of medium was determined. The reproducibility of measurements was determined with 10 samples of each material. The basic statistics regarding ζ at pH of 3 and 9 and isoelectric point (IEP) were determined. Furthermore, the wetting time in the electrolyte solution before the measurement and the mass of material in cylindrical cell were optimized.

The measurements in 0.001 M KCl on both materials coincide with each other quite well in spite of different supermolecular and surface structure. The ζ -pH curves show the expected form. PA 6 is amphoteric due to presence of the amino and carboxyl groups. In the alkaline environment the carboxyl groups dissociate thus the ζ is negative (foil: (-32.9 ± 1.6) mV, filament: (-35.2 ± 2.0) mV at pH of 9). In the acid environment PA 6 shows a cationic nature due to the dissociation of the amino groups (foil: (24.5 ± 1.7) mV, filament: (15.1 ± 1.1) mV at pH of 3). The isoelectric point, where ζ is equal to 0, was found for foil at pH value of (4.7 ± 0.1) and for filament at (4.9 ± 0.1) , respectively.

***Keywords:** polyamide 6, electrokinetic properties, streaming potential, zeta potential, filament, foil*

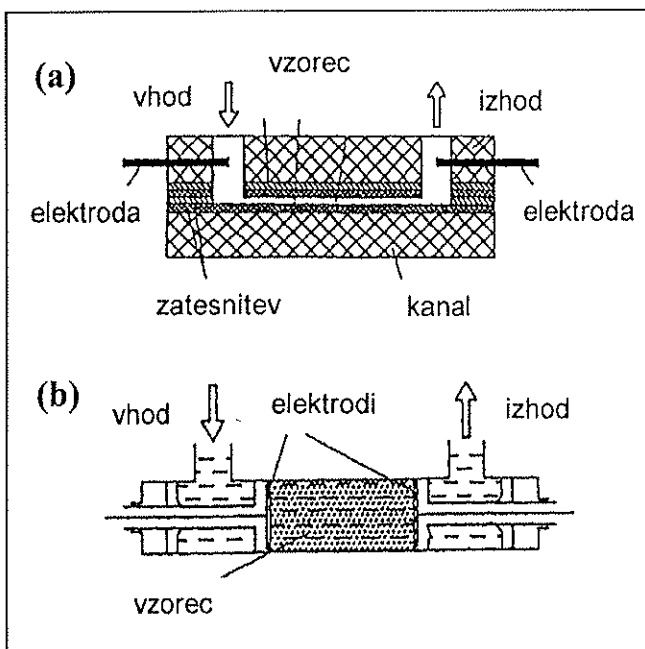
1.0 UVOD

Površine polimerov se v vodnih raztopinah elektrolitov električno nabijejo. Površinski naboj je posledica disociacije funkcionalnih skupin polimera in specifične adsorpcije prisotnih ionov in je odvisen od ionske moči ter vrste elektrolita in pH vrednosti medija. Ker procese kemijskega plemenjenja vlaknotvornih polimerov izvajamo v vodnem mediju, nam lahko poznavanje elektrokinetičnih lastnosti materiala nudi pomembno informacijo o dostopnosti in reaktivnosti polimera ter pomaga predvideti uspešnost adsorpcijskih procesov na teh materialih.

V teoretičnem delu prispevka podrobneje opišemo Gouy-Chapman-Stern-Grahamov model nabite površine in predstavljamo elektrokinetične pojave, na katerih temelji določanje zeta potenciala. V eksperimentalnem delu smo na dveh vzorcih iz PA 6 določali zeta potencial v odvisnosti od pH medija ter na osnovi 10 meritev določili osnovne statistične pokazatelje ponovljivosti meritev. Poliamidi so najpogosteje uporabljeni inženirski termoplasti, dajejo pa tudi odlična tekstilna vlakna [1], zato smo za analizo izbrali PA 6 v dveh oblikah: (a) folijo in (b) monofilament.

Zeta potencial je definiran kot električni potencial na strižni površini med premikajočim se in stacionarnim delom električnega dvojnega sloja in ga določimo posredno z elektrokinetičnimi metodami, kot so: elektroforeza, elektroosmoza, sedimentacijski potencial in potencial zaradi pretoka [2, 3, 4].

Zeta potencial (ζ) določimo po Helmholtz-Smoluchowski enačbi [7, 8] z merjenjem potenciala zaradi pretoka U_s , ki nastane zaradi toka raztopine elektrolita po kanalu merilne celice ob hidrodinamski tlačni razliki Δp .



Slika 1: Merjenje potenciala zaradi pretoka: (a) ploščata in (b) cilindrična celica

Različne izvedbe merilnih celic, prikazane na sliki 1, omogočajo določanje ζ polimerov v različnih oblikah. S ploščato celico analiziramo ploščate tvorbe (folije, tkanine), s cilindrično pa polimerne delce in kapilarne sisteme (vlakna).

2.0 GOUY-CHAPMAN-STERN-GRAHAMOV MODEL

Model nabite površine v raztopini elektrolita običajno opišemo z izrazom, kako je gostota naboja v raztopini elektrolita odvisna od oddaljenosti od nabite površine. To odvisnost preko elektrostatske zveze (Poissonova enačba) prevedemo na električni potencial, ki je lažje merljiva količina.

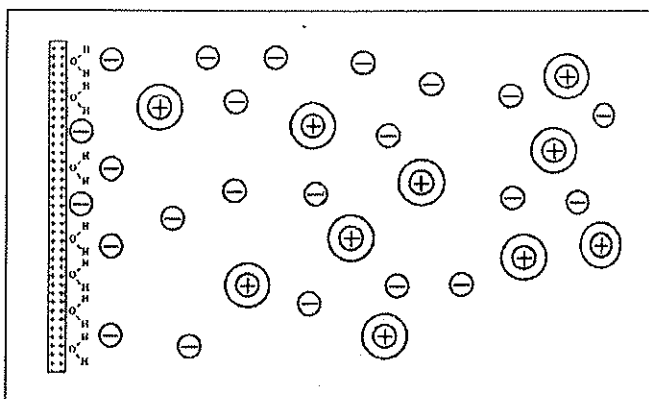
V toku zgodovine se je pogled na to, kako površinski naboj vpliva na ione v raztopini elektrolita, spreminjal, torej razvijal in dopolnjeval, in tako poznamo več modelov, ki so predpostavili različno razporeditev naboja v raztopini elektrolita. Helmholtz-Perrinov model predpostavi, da se na nabito površino adsorbira plast nasprotno nabitih ionov iz raztopine elektrolita. Ploskovna gostota naboja adsorbirane plasti je nasprotno enaka ploskovni gostoti naboja na površini, zato površinski naboj ne vpliva na raztopino elektrolita. Ob tem modelu se je udomačil izraz dvojna plast, ki se nanaša na naboje na površini in naboje iz raztopine elektrolita. Potek električnega potenciala v adsorbirani plasti je linearen, kot v ploščnem kondenzatorju. Gouy-Chapmanov model, ki je nastal približno deset let kasneje, pa predpostavi, da je razporeditev ionov elektrolita ob nabiti površini Boltzmannova. To plast imenuje difuzijska plast. V tej plasti so ioni elektrolita podvrženi termičnemu gibanju, potek električnega potenciala v njej pa je eksponenten. Razdalja, na kateri se potencial zmanjša za faktor e (osnova naravnega logaritma) od svoje začetne vrednosti, se imenuje Debye-Hücklova razdalja (κ^{-1}) in znaša običajno nekaj nanometrov, parameter κ pa se imenuje Debye-Hücklov parameter. Leta 1924 je Stern združil Helmholtz-Perrinov in Gouy-Chapmanov model tako, da je predpostavil adsorbirano plast ionov, ki pa ne zasenči popolnoma površinskega naboja, ob njej pa difuzijsko plast. Najpomembnejša pridobitev Sternovega modela je, da ionov več ne obravnava kot točkastih teles, ampak jim pripiše neko končno dimenzijo, upošteva pa tudi, da se lahko ion adsorbira na površino tudi zaradi neelektrostatskih interakcij.

Podrobneje bo predstavljen sodobnejši Gouy-Chapman-Stern-Grahamov model, ki je zasnovan na zgodnejših modelih Gouya, Chapmana in Sterna, ki jih je dopolnil Grahame. Ta model danes najpogosteje srečamo pri obravnavi modela nabite površine v raztopini elektrolita. Od Sternovega modela se razlikuje po tem, da upošteva tudi lastnosti in strukturo vodnih molekul v raztopini. Sternovo plast razdeli v dva dela, ki se imenujeta notranja Helmholtzova plast (ang. *IHP* – *Inner*

Helmholtz Plane) in zunanja Helmholtzova plast (ang. *OHP – Outer Helmholtz Plane*).

Notranjo Helmholtzovo plast sestavlja enojna plast vodnih molekul tik ob površini, ki zaradi naboja površine niso naključno razporejene, ampak so urejene tako, da je njihova interakcijska energija s površinskim nabojem minimalna. Vodne molekule ob površini se orientirajo kot dipoli glede na predznak naboja na površini; v primeru, da je površina nabit pozitivno, se ob površino postavijo s kisikovim atomom (negativen del dipola), sicer pa z vodikoma (pozitiven del dipola). V notranji Helmholtzovi plasti pa so tudi ioni, ki so bolj gibljivi in so zaradi tega prednostno adsorbirani, kar je posledica delovanja disperzijskih sil. Ker ta model upošteva strukturo vode, predpostavi hidratiranost ionov; ioni so torej obdani z vodnimi molekulami. Kot posledica prostorskih omejitev so kationi, ob katere se vodne molekule postavijo s kisikovimi atomi, bolj hidratirani kot anioni; tj. anione pri gibanju v raztopini omejuje manj »prilepljenih« vodnih molekul kot katione, pogosto pa sploh niso hidratirani. Zato so v notranji Helmholtzovi plasti ne glede na predznak naboja na površini prednostno adsorbirani anioni; ker je to posledica manjše hidratiranosti anionov glede na katione, se interakcija, ki povzroči prednostno adsorpcijo anionov v notranjo Helmholtzovo plast, imenuje tudi hidrofobna interakcija. To poimenovanje s stališča fizike sicer ni korektno, saj je ta interakcija posledica delovanja Londonovih disperzijskih sil, omenjeno je le zaradi tega, ker ga v literaturi s področja kemije in fizikalne kemije pogosto srečamo.

Zunanja Helmholtzova plast je v bistvu Sternova plast, ki jo sestavljajo adsorbirani ioni, ki so nasprotnega predznaka kot naboj na površini. Model prikazuje slika 2.



Slika 2: Gouy-Chapman-Stern-Grahamov model nabite površine v raztopini elektrolita

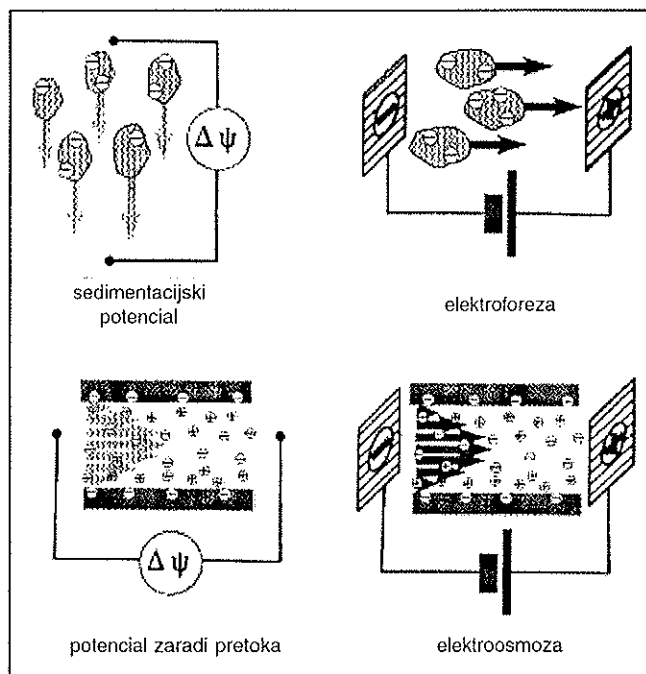
Ugotovitev znanstvenika Grahama, prvič predstavljena v okviru tega modela, je bila, da se v notranjo Helmholtzovo plast vedno prednostno adsorbirajo anioni, tudi, če je površina negativno nabit; ta ugotovitev jasno pokaže, da so v obravnavanem sistemu po-

leg elektrostatskih interakcij zelo pomembne tudi ostale interakcije, ki jih je Sternov model sicer že nekoliko upošteval, ostali, zgodnejši modeli pa so jih povsem zanemarili. Ugotovitev je posledica upoštevanja lastnosti in strukture vode, ki je v okviru Grahamovega modela upoštevana prvič.

3.0 ELEKTROKINETIČNI POJAVI

Kot že ime pove, zajemajo elektrokinetični pojavi procese, v katerih je prisotno gibanje nabitih delcev. Spadajo med navzkrižne pojave, saj lahko neka gonilna sila povzroči tok, ki ji ni neposredno konjugiran in obratno. Tokova, ki ju srečujemo pri elektrokinetičnih pojavih, sta električni tok in volumski tok raztopine, gonilni sili pa sta razlika v električnem potencialu oziroma električna napetost in tlak. Čista kinetična koeficienta sta električna prevodnost in hidrodinamska prepustnost, navzkrižna koeficienta pa sta po Onsagerjevem postulatenu enaka.

V okviru obravnave nabite površine oziroma nabitih delcev v raztopini elektrolita poznamo štiri elektrokinetične pojave: sedimentacijski potencial, elektroforeza, potencial zaradi pretoka in elektroosmoza [10]. Naštete pojave prikazuje slika 3.



Slika 3: Elektrokinetični pojavi

Elektrokinetične pojave ločimo med seboj po dveh kriterijih:

- giblje se lahko raztopina elektrolita ali nabita površina,
- vzrok gibanja je razlika v električnem potencialu, nastane tlačna razlika ali obratno; tlačna razlika povzroči gibanje, kar vodi do nastanka razlike v električnem potencialu.

Kadar je vzrok gibanja nabitih delcev zunanja sila, na primer gravitacijski potencial, govorimo o sedimentacijskem potencialu. Sedimentacijski potencial je električna napetost, ki nastane kot posledica gibanja nabitih delcev, ki pa niso ioni iz raztopine elektrolita, ampak večji delci – na primer delci v koloidih, ... Zaradi volumskega toka se nabiti delci akumulirajo vzdolž pretoka, zaradi tega nastane električna napetost, torej električno polje, ki požene električni tok v nasprotni smeri – v primeru sedimentacijskega potenciala torej navzgor. V smislu Onsagerjeve obravnave neravnovesne termodinamike je ravnovesno stanje doseženo, ko se oba toka med seboj izenačita.

Kadar pa se nabiti delci pričnejo gibati zaradi zunanje električne napetosti, govorimo o elektroforezi. Zaradi gibanja delcev nastane razlika v tlaku, ki povzroči volumski tok delcev. Ustvarjena električna napetost torej povzroči nastanek tlačne razlike, električni tok pa povzroči nastanek volumskega toka. Sedimentacijski potencial in elektroforeza sta konjugirana pojavi, ki govorita o gibanju nabitih delcev, ki so dovolj veliki, da imajo električno dvojno plast.

Potencial zaradi pretoka in elektroosmoza sta prav tako medsebojno konjugirana pojava, pri katerih nabita površina miruje, giblje se raztopina elektrolita. Pri potencialu zaradi pretoka gre za to, da vzdolž nabite površine ustvarimo tlačno razliko, ki povzroči volumski tok raztopine ob nabiti površini. Volumski tok raztopine povzroči kopičenje ionov v smeri volumskega toka. Zato nastane električno polje (električna napetost), ki požene električni tok v nasprotni smeri volumskega toka. Ravnovesno stanje je doseženo, ko se ob tokova izenačita. Ustvarjena tlačna razlika povzroči torej nastanek električne napetosti, ki jo imenujemo potencial zaradi pretoka, ustvarjen volumski tok pa povzroči električni tok v nasprotni smeri volumskega toka.

Pri elektroosmozi ustvarimo električno napetost, ki povzroči gibanje ionov v raztopini. Ker so ioni v raztopini, pomeni njihovo gibanje volumski tok raztopine. Ustvarjena električna napetost torej ne povzroči le električnega toka (gibanje ionov), ampak tudi volumski tok in s tem nastanek tlačne razlike.

Opazovanje elektrokinetičnih pojavov podaja številne informacije o opazovanem sistemu, kot je na primer predznak naboja gibajočih se delcev ali mirujoče površine, gostota naboja, hidrofilnost ali hidrofobnost površine in intenzivnost adsorpcije. V okviru tega prispevka se bomo nekoliko podrobneje seznanili s potencialom zaradi pretoka.

3.1 Potencial zaradi pretoka

Pomembna količina v okviru elektrokinetičnih pojavov je zeta potencial oziroma elektrokinetični potencial. Obstaja več načinov, kako ga določiti, ponavadi ga izračunamo preko izmerjenih količin v okviru elektro-

kinetičnih pojavov. Najpogosteje ga izračunamo iz izmerjenega potenciala zaradi pretoka.

Potencial zaradi pretoka je električna napetost, ki jo merimo vzdolž nabite površine in nastane zaradi volumskega toka raztopine elektrolita vzdolž nabite površine v merilni celici. Nastane kot posledica ustvarjene tlačne razlike in običajno znaša nekaj 10 mV.

V merilni celici v pretočnem kanalu se začne povečevati tlak kot funkcija upora toka. Dobljena potencialna razlika se zaznava z merilnimi elektrodami, ki so umeščene na obeh koncih pretočnega kanala. Zeta potencial (ζ) je povprečna vrednost potenciala na meji med stacionarnim in difuznim slojem in se lahko izračuna iz izmerjenega potenciala zaradi pretoka U_s , po Helmholtz-Smoluchowski-jevi enačbi:

$$\zeta = \frac{U_s}{\Delta p} \frac{\mu}{\epsilon_r \epsilon_0} \frac{1}{R} \frac{l}{q}, \quad (1)$$

kjer je Δp razlika hidrodinamičnega tlaka, η je viskoznost tekočine, ϵ_r je relativna dielektričnost tekočine, ϵ_0 je influenčna konstanta, R je električni upor, l je dolžina celice in q je prečni prerez površine celice.

Tok zaradi pretoka pa je izražen kot:

$$I_s = \frac{\zeta \epsilon_r \epsilon_0 q \Delta p}{\mu l}. \quad (2)$$

Enačba je primerna za večino praktičnih sistemov. Poleg potenciala zaradi pretoka se meri tudi temperatura, pH in prevodnost, ζ pa izračunamo. Podrobnejše informacije je moč najti v literaturi [3–6].

4.0 EKSPERIMENTALNI DEL

4.1 Materiali in priprava vzorcev

V raziskavi smo uporabili dve vrsti PA 6 preskušancev: (a) folijo debeline 100 μm proizvajalca BASF in (b) monofilament premera 53 μm proizvajalca Bemberg.

Folijo smo narezali na kose 12,5 cm x 5 cm, monofilament pa navili na valje iz nerjaveče kovine. Vse vzorce smo oprali v hladni vodni raztopini, ki je vsebovala 1 g/l neionskega pralnega sredstva in 1 g/l natrijevega karbonata in nato spirali z destilirano vodo do konstantne prevodnosti. Oprane vzorce smo posušili najprej na zraku, potem pa še 24 ur pri 25 °C v vakuumskem sušilniku.

4.2 Izvedba meritev

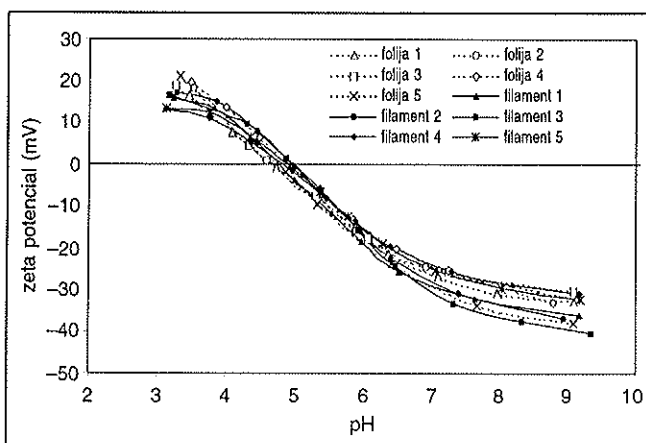
Meritve potenciala zaradi pretoka smo opravili na napravi EKA proizvajalca Anton Paar (Avstrija). Določali smo ζ v odvisnosti od pH. Kot elektrolit smo uporabili 0,001 M KCl, pH pa smo spreminjali z 0,1 M NaOH oz. 0,1 M HCl. ζ smo določili iz potenciala zaradi

pretoka z upoštevanjem enačbe (1). Vzorce smo pred meritvijo pustili nabrekati v 0,001 M KCl 24 ur, razen če ni drugače navedeno.

V raziskavi smo uporabili dve različni merilni celici, ki sta shematsko prikazani na sliki 1.

5.0 REZULTATI Z RAZPRAVO

Potek krivulj ζ v odvisnosti od pH za 5 preskušancev PA 6 folije in 5 preskušancev PA 6 filameta je prikazan na sliki 4. Na sliki smo zaradi preglednosti izločili polovico vzorcev, katerih krivulje se nahajajo znotraj prikazanega območja. Podatki o ζ pri pH 3 in 9 ter izoelektričnih točkah vseh meritev so zbrani v preglednici 1.

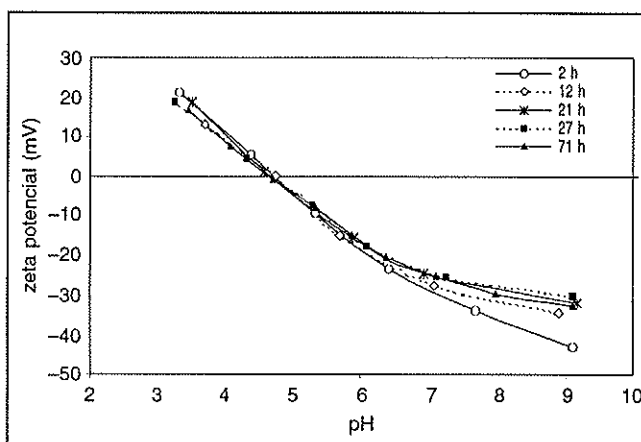


Slika 4: Zeta potencial PA 6 vzorcev kot funkcija pH

Meritve v 0,001 M KCl pri izbranih eksperimentalnih parametrih na obeh vrstah materiala kljub različni nadmolekulski in površinski strukturi, dobro sovpadajo. Krivulje ζ -pH imajo pričakovan potek. PA 6 kaže amfo-

terno naravo zaradi vsebnosti amino in karboksilnih skupin. V alkalnem mediju disociirajo karboksilne skupine, kar povzroči negativen ζ (folija: $-32,9 \pm 1,6$ mV, filament: $-35,2 \pm 2,0$ mV pri pH 9). V kislem mediju kaže PA kationski značaj zaradi disociacije amino skupin, kar se kaže v pozitivnem ζ (folija: $24,5 \pm 1,7$ mV, filament: $15,1 \pm 1,1$ mV pri pH 3). Izoelektrična točka, kjer je ζ enak 0, se nahaja za folijo pri pH vrednosti $4,7 \pm 0,1$, za filament pa pri $4,9 \pm 0,1$.

S slike 5 je razviden vpliv časa nabrekanja folij (v 0,001 M KCl) pred meritvijo. Brez predhodnega namakanja meritev ni mogoče izvesti, saj kljub nazivni hidrofobnosti PA 6 folije kažejo relativno močno nabrekanje v elektrolitu in povečajo svoje dimenzije za približno 5 %, kar vpliva na vrednosti zeta potenciala v platoju, pri vrednosti pH 9.



Slika 5: Vpliv časa nabrekanja folij pred meritvijo na ζ

Če folijo pustimo nabrekati samo 2 uri, dobimo najvišjo absolutno vrednost ζ . Ta ima pri pH 9 vrednost $-43,1$ mV in pri pH 3 vrednost 22 mV. Z daljšanjem

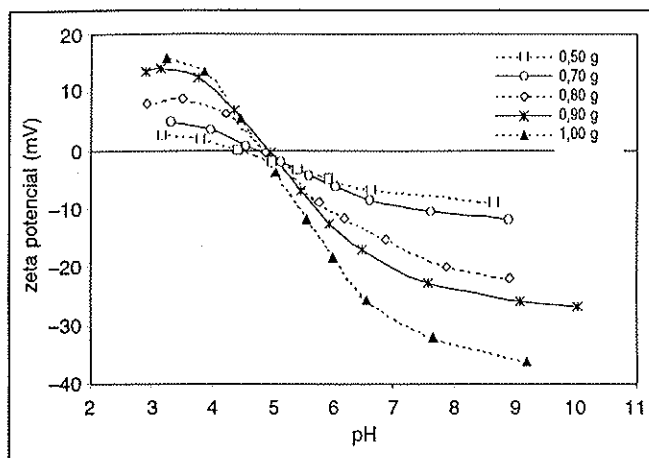
Preglednica 1: Vrednosti ζ pri pH 3 in 9 ter izoelektrične točke (IET) in pokazatelji ponovljivosti (\bar{x} - povprečna vrednost, s - standardni odklon, CV - variacijski koeficient, S - meje zaupanja povprečne vrednosti pri 95 % zaupanju)

Vzorec	ζ_9 [mV]	ζ_3 [mV]	IET
folija 1	-33,0	23,3	4,7
folija 2	-32,1	27,2	4,7
folija 3	-30,8	22,6	4,7
folija 4	-34,1	24,0	4,9
folija 5	-37,8	26,5	4,8
folija 6	-30,4	23,1	4,7
folija 7	-35,0	26,9	4,7
folija 8	-32,9	24,2	4,7
folija 9	-32,9	27,0	4,7
folija 10	-30,3	20,2	4,7
\bar{x} folija	-32,9	24,5	4,7
s	2,3	2,3	0,07
CV (%)	7,0	9,5	1,57
S	1,6	1,7	0,1

Vzorec	ζ_9 [mV]	ζ_3 [mV]	IET
filament 1	-35,9	16,0	4,8
filament 2	-37,8	17,3	5,0
filament 3	-39,2	16,8	5,0
filament 4	-30,4	13,8	4,8
filament 5	-31,7	13,5	4,9
filament 6	-33,1	12,9	4,9
filament 7	-36,0	16,5	4,9
filament 8	-37,0	14,2	4,8
filament 9	-34,4	15,3	4,8
filament 10	-36,0	14,5	4,9
\bar{x} filament	-35,2	15,1	4,9
s	2,7	1,5	0,08
CV (%)	7,8	10,1	1,54
S	2,0	1,1	0,1

časa nabrekanja se absolutna vrednost ζ niža. To razložimo z odebelitvijo stacionarne plasti ob površini folij, ki je posledica adsorpcije vodnih molekul v notranjo Helmholtzovo plast. Z naraščajočim časom nabrekanja je Helmholtzova plast vedno bolj zasičena, zato so razlike med izmerjenimi vrednostmi ζ vedno manjše. Krivulje 21, 27 in 72 h relativno dobro sovpadajo (koeficient variacije je manjši od 5 %), zato smo se odločili vzorce pred meritvijo pustiti nabrekati 24 ur.

Za razliko od ploščate celice, v kateri smo opravili meritve na folijah, ki imajo predpisane dimenzije, lahko v cilindrični celici spreminjamo maso preskušanca (filamenta) in razdaljo med elektrodama (slika 1). Na sliki 6 je prikazan vpliv mase filameta v cilindrični celici na potek ζ -pH krivulj. Ker smo v vseh primerih nastavili razdaljo med elektrodama 1 cm, smo torej spreminjali gostoto zloženosti preskušanca.



Slika 6: Vpliv mase filameta v cilindrični celici pri oddaljenosti elektrod 1 cm na ζ

Pri najmanjši gostoti zloženosti (0,5 g) dobimo absolutno gledano najnižje vrednosti ζ ($\zeta_9 = -8,8$ mV in $\zeta_3 = 2,7$ mV). Z večanjem mase filameta v celici in s tem gostote zloženosti se absolutna vrednost ζ veča in doseže maksimum pri 1 g ($\zeta_9 = -35,9$ mV in $\zeta_3 = 18,5$ mV). Razlog za to je, da z večanjem mase vzorca narašča tudi gostota električnega naboja v merilni celici. Pri vseh ostalih nespremenjenih pogojih to pomeni višjo izmerjeno vrednost potenciala zaradi pretoka oziroma višjo izračunano absolutno vrednost ζ . Masa filameta 1 g je praktično največja možna masa, s katero lahko napolnimo celico pri razdalji med elektrodama 1 cm.

6.0 SKLEP

V predstavljeni raziskavi smo določali elektrokinetične lastnosti različnih oblik (folije, filamenti) PA 6 preskušancev in ugotovljali ponovljivost eksperimenta z vidika uporabljene merilne celice, časa nabrekanja vzorcev v 0.001 M KCl pred meritvijo ter mase (količine) vzorca v merilni celici.

Ugotovljeno je bilo, da oblika vzorca (filament, folija) ter njihova površinska morfologija in nadmolekulska struktura ne vplivajo bistveno na sam potek krivulje $\zeta = f(\text{pH})$. Razlike v legi izoelektrične točke so v okviru napake meritve. Čas nabrekanja do 24 ur vpliva na zmanjšanje absolutne vrednosti zeta potenciala, po tem času (čas nabrekanja 27 in 72 ur) pa se zeta potencial bistveno ne spreminja več. Med nabrekanjem prihaja do adsorpcije vodnih molekul v notranjo Helmholtzovo plast, ki pa se z naraščajočim časom nabrekanja zasiti. Ugotovljeno je bilo torej, da je optimalni čas nabrekanja vzorcev PA 6 24 ur.

Masa vzorca v cilindrični celici bistveno vpliva na vrednost zeta potenciala. S povečanjem mase in s tem količine vzorca v celici pri nespremenjeni razdalji med elektrodama se absolutna vrednost zeta potenciala povečuje. Razlog za to je povečana gostota naboja, do katere pride pri povečevanju mase vzorca v celici pri sicer konstantnih ostalih pogojih. Povečana gostota naboja povzroči višji izmerjeni potencial zaradi pretoka, zato je tudi izračunan zeta potencial višji. Ugotovljeno je bilo, da je najprimernejša količina vzorca v celici 1 g.

Elektrokinetične meritve so uporabna metoda za določanje površinskega naboja in posredno disociacijskih stanj polimerov (tako folij kot vlaken oz. filamentov).

Viri:

- [1] *Principles of Polymer Engineering*. Edited by N.G. McCrum, C.P. Buckley, C.B. Bucknall. Oxford: Oxford University Press, 1997.
- [2] *Surfaces, Interfaces, and Colloids: Principles and Applications*. D. Myers. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, 1991.
- [3] *Zeta potential in Colloid science. Principles and Applications*. R.J. Hunter. London: Academic Press, 1981.
- [4] RIBITSCH, V. in STANA-KLEINSCHKEK, K. Characterizing textile fiber surfaces with streaming potential measurements. *Textile Research Journal*, 1998, vol. 68, no. 10, p. 701-707.
- [5] STANA-KLEINSCHKEK, K., STRNAD, S. in RIBITSCH, V. The influence of structural and morphological changes on the electrokinetic properties of PA 6 fibres. *Colloids Surfaces, A Physicochemical Engineering Aspects*. [Print ed.], 1999, 159, p. 321-330.
- [6] STANA-KLEINSCHKEK, K. in RIBITSCH, V. Electrokinetic properties of processed cellulose fibers. *Colloids surfaces: A Physicochemical Engineering Aspects*. [Print ed.], 1998, 140, p. 127-138.
- [7] Von HELMHOLTZ, H. L. F. *Wied.*, 1879, 7, str. 337.
- [8] SMOLUCHOWSKI, M. *Bull. Intern. Acad. Sci Cracovie*, 184, 1903.
- [9] BRDIČKA, R. *Osnove fizikalne kemije*. Zagreb: Školska knjiga, 1969.
- [10] GLASER, R. *Biophysik*, 4. Auflage. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1996.

Prispelo/Received: 07-2003; sprejeto/accepted: 10-2003