



პოლიმერული კომპოზიციის ელექტროკინეტიკური პოტენციალის დამოკიდებულება მიღებული მყარი აბკის გალწევადობასთან

¹ლიანა ებანოიძე, ²გიორგი ბიბილეიშვილი, ³ელენე კაკაბაძე, ³ზაზა ჯავაშვილი, ⁴მზია კეყერაშვილი, ⁵თინათინ ბუთხუზი

¹ ქიმიის აკადემიური დოქტორი, უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი - e-mail l.ebanoidze@gtu.ge ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-9232-3515>

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

აბსტრაქტი

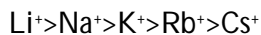
ნაშრომში წარმოდგენილია ცვალებადი კონცენტრაციის პოლიმერული ხსნარის Z-პოტენციალის დადგენა სინათლის გაბნევის დინამიური (სინათლის გაბნევის ელექტროფორეტული) მეთოდით ანალიზატორზე Zetasizer Nano Zen 3690, ორმაგი ელექტრული შრის თვისებების შესაფასებლად, პოტენციალთა სხვაობის -30mV-დან +30mV-ის ფარგლებში. შესწავლილია პოლისულფონურ ხსნარებზე KCl-ის კონცენტრაციის გავლენა ხსნარის აგრეგატულ მდგრადობაზე. ელექტროკინეტიკური ζ-პოტენციალის სიდიდის მიხედვით შეფასებულია სისტემის აგრეგატული მდგრადობა, რომელიც დიდწილად განსაზღვრავს დასასხმელი ხსნარიდან დამზადებული მემბრანის ხვედრით წარმადობას. დადგენილია, რომ პოლიმერის ხსნარის აგრეგატული მდგრადობა შეიძლება მოდიფიცირებულ იქნას ელექტროლიტის განსაზღვრული რაოდენობით, რაც გავლენას ახდენს პოლიმერული კომპოზიციის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლებზე, განაპირობებს ფაზური ინვერსიის პროცესის მსვლელობას და მიღებული მემბრანის ხვედრითი წარმადობის ასიმპტოტურ მნიშვნელობას.

საკვანძო სიტყვები: ζ-პოტენციალი, პოლიმერი, მემბრანა, ხვედრითი წარმადობა

პოლიმერული ხსნარები მოლეკულურ-დისპერსიული სისტემებია და თერმოდინამიკურად წონასწორულ მდგომარეობაში იმყოფებიან. გამხსნელის ბუნების, დანამატების მოქმედების და აგრეგატული მდგრადობის მიხედვით გააჩნიათ როგორც ჭეშმარიტი, ასევე კოლოიდური ხსნარის თვისებები. მათთვის დამახასიათებელია ისეთი ზედაპირული მოვლენები, როგორიცაა ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნა, კოაგულაცია, ადსორბცია და ადჰეზია.

პოლიმერულ ხსნარზე ელექტროლიტის დიდი რაოდენობით დამატებისას ირღვევა სისტემის აგრეგატული მდგრადობა, ადგილი აქვს ხსნარიდან პოლიმერის გამოყოფას,

რომელიც პრინციპულად არ განსხვავდება გამომარილებისაგან, შეუქცევადი პროცესია და არ ემორჩილება შულცე-ჰარდის წესს. პოლიმერის გამოყოფაზე მოქმედების უნარის მიხედვით ელექტროლიტის კათიონები იგივე ლიოტროპულ რიგში ლაგდება, როგორც კოლოიდური სისტემების კოაგულაციის შემთხვევაში



პოლიმერის გამოყოფის პროცესი მიმდინარეობს ჰომოგენური სისტემის გადასვლით ჰეტეროგენურში, რომლის მყარი ფაზა შედგება ბირთვისგან, ხოლო თხევადი ფაზა - საწინააღმდეგო იონების ორმაგი ელექტრული (აღსორბციული და დიფუზიური) შრისაგან.

სისტემის მოთავსებისას მუდმივ ელექტრულ ველში ხდება ორმაგი ელექტრული შრის გახლეჩვა დიფუზიური შრის სრიალის სიბრტყეში და ფაზათა გამყოფ საზღვარზე პოტენციალთა სხვაობის (ელექტროკინეტიკური - ζ-პოტენციალი) წარმოქმნა.

მემბრანული კომპოზიციის მიღებისას ζ-პოტენციალის საშუალო მნიშვნელობის დადგენა და მისი ვარირება აუცილებელ პირობას წარმოადგენს პოლიმერის გახსნის პროცესის კონტროლის, პოლიმერული ხსნარის სიბლანტის რეგულირების, სისტემის სტაბილურობის პროგნოზირებისა და შენახვის ვადის ოპტიმიზაციისათვის [1-5].

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ცვალებადი კონცენტრაციის პოლიმერული ხსნარის Z-პოტენციალის დადგენა სინათლის გაბნევის დინამიური (სინათლის გაბნევის ელექტროფორეტული) მეთოდით ანალიზატორზე Zetasizer Nano Zen 3690, ზედაპირული მოვლენების ინტერპრეტაციის მიზნით და ორმაგი ელექტრული შრის თვისებების შესაფასებლად, პოტენციალთა სხვაობის -30 mV-დან +30 mV-ის ფარგლებში.

პოლიმერული ხსნარები მიღებულია პოლიმერის, გამხსნელის და არაორგანული დანამატით, რაც განაპირობებს პოლიმერის ხსნარის სტაბილურობას, სიმღვრივეს, სიბლანტეს და კონცენტრაციას.

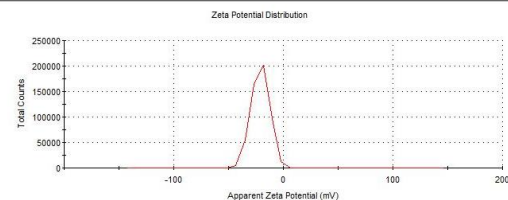
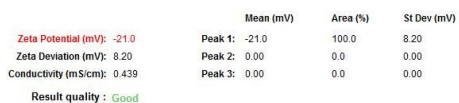
მემბრანაწარმოქმნელ პოლიმერულ მასალად გამოყენებულია მყარი ამორფული პოლიმერი - პოლისულფონი (PS), რომლის გამხსნელად შერჩეულია - დიმეთილაცეტამიდი (DMAc), ხოლო არაორგანულ დანამატად გამოყენებულია განსხვავებული კონცენტრაციის კალიუმის ქლორიდი (KCl).

პოლისულფონური ხსნარები შესწავლილია ნანონაწილაკების მზომ ანალიზატორზე Zetasizer Nano ZN3690, რომლის საშუალებით ფოტოდოდურ დეტექტორზე რეგისტრირდება ბროუნის მოძრაობაში მყოფი ნაწილაკების მიერ გაბნეული სხივის ფლუქტუაცია და ინტენსივობა, ხოლო ციფრული ავტოკორელატორით გენერირდება მათი ცვლილება. ექსპერიმენტის მსვლელობისას M3-PALS-ის მეთოდიკით დაპატენტებულმა „Zetasizer Software 6.2“ პროგრამამ ავტოკორელაციური ფუნქციიდან ერთი ანალიზის პირობებში განახორციელა ელექტროკინეტიკური მახასიათებლის - ζ-პოტენციალის საშუალო მნიშვნელობის გაზომვა და მისი პროცენტული განაწილება -200 mV-დან +200 mV-მდე ინტერვალში. კვლევისას გამოყენებულია U-ს ფორმის კაპილარული კიუვეტი მოოქროვილი ელექტროდებით, ხოლო ანალიზატორის სინათლის წყაროდ - ჰელიუმ-ნეონის ლაზერი (გაბნევის კურთხით 173°, ტალღის სიგრძით 633 ნმ და 4 mW სიმძლავრით). ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდით მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობა (გაღწევადობა) დადგენილია

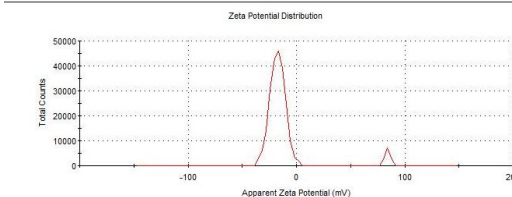
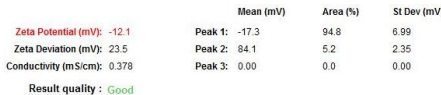
ლაბორატორიულ მემბრანულ დანადგარზე MTSI-JM-5. ექსპერიმენტული შედეგები მოყვანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. პოლიმერული ζ-პოტენციალი საშუალო მნიშვნელობა, მისი პროცენტული თანაფარდობა და მემბრანული ფირების ხვედრითი წარმადობა

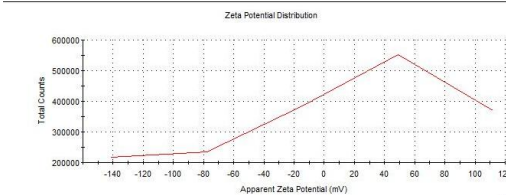
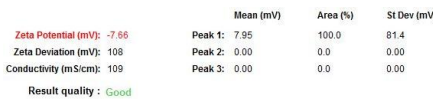
მემბრანა	კომპოზიციის ქიმიური შედგენილობა	პიკი 1, mV	%	პიკი 2, mV	%	პიკი 3, mV	%	Zeta Potential, mV	მემბრანული ფირების ხვ. წარმადობა, J, ლ/მ ² სთ
M1	უდანამატო კომპოზიცია	-21.0	100	-	-	-	-	-21.0	2300
M2	კომპოზიცია+1%KCl	-17.3	94.8	81.1	5.2	-	-	-12.1	3100
M3	კომპოზიცია+3%KCl	7.95	100	-	-	-	-	-7.66	3735
M5	კომპოზიცია+5%KCl	-7.40	99.9	71.9	0.1	-	-	-7.31	945
M6	კომპოზიცია+10%KCl	10.1	100	-	-	-	-	-2.55	810
M7	კომპოზიცია+20%KCl	45.5	75.4	-141	24.6	-	-	-0.456	675
M8	კომპოზიცია+40%KCl	0.798	100	-	-	-	-	9.75	150



სურათი 1.ა. უდანამატო პოლისულფონური ხსნარის ζ-პოტენციალის განაწილების მრუდი



სურათი 1.ბ. პოლისულფონური ხსნარის ζ-პოტენციალის განაწილების მრუდი 1%-იანი KCl-ის დამატებით



სურათი 1.გ. პოლისულფონური ხსნარის ζ-პოტენციალის განაწილების მრუდი 3%-იანი KCl-ის დამატებით

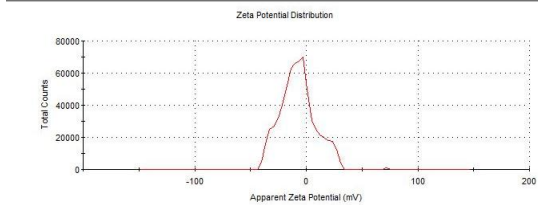
ექსპერიმენტით მიღებული პოლისულფონური ხსნარების ელექტროფორეტული განაწილების მრუდების შესწავლით გამოვლენილია მრუდებს შორის განსხვავება. სურათზე 1. და 2. გამოსახული პოლიმერული ხსნარების ζ -პოტენციალის განაწილების მრუდების შედარებამ აჩვენა, რომ უდანამატო პოლისულფონის ხსნარზე განსხვავებული კონცენტრაციის KCl-ის ერთი და იგივე რაოდენობის დამატების შემთხვევაში ადგილი აქვს მრუდების გადანაცვლებას.

სურათის 1.ა. მიხედვით უდანამატო პოლისულფონის ხსნარის ζ -პოტენციალის საშუალო მნიშვნელობა -21.1 mV-ია. მყარი ფაზის უარყოფით ზედაპირულ მუხტს განაპირობებს პოლიმერის სულფონური (SO_2^-) ჯგუფი. მაღალი უარყოფითი მუხტი განაპირობებს ძლიერ ელექტროსტატიკურ განზიდვას და სისტემის აგრეგატულ მდგრადობას.

სურათზე 1.ბ და გ. წარმოდგენილი მრუდებიდან ჩანს, რომ KCl-ის დამატებამ შეამცირა ζ -პოტენციალის უარყოფითი მნიშვნელობა -21.1 mV-დან -12.1 mV-მდე. ζ -პოტენციალის უარყოფითი მნიშვნელობის ვარდნა გამოწვეულია სადისპერსიო არიდან მყარი ფაზის ზედაპირზე ელექტროლიტის (K^+) იონთა სპეციფიკური ადსორბციით და განსხვავებული მუხტის ნაწიკალებს შორის ელექტროსტატიკური მიზიდვის ძალებით. უარყოფითი მუხტის მქონე ნაწილაკებს შორის ელექტროსტატიკური განზიდვის ძალების სიჭარბის გამო არ ხდება პოლიმერის ნაწილაკების გამხსვილება და სისტემა არის მაქსიმალურად მდგრადი.

	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): -7.31	Peak 1: -7.40	99.9	15.5
Zeta Deviation (mV): 15.7	Peak 2: 71.9	0.1	0.00
Conductivity (mS/cm): 3.63	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

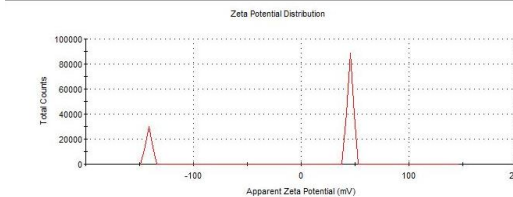
Result quality : See result quality report



სურათი 2.ა. პოლისულფონის ხსნარის ζ -პოტენციალის განაწილების მრუდი 5%-იანი KCl-ის დამატებით

	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): -0.456	Peak 1: 45.5	75.4	2.58
Zeta Deviation (mV): 80.5	Peak 2: -141	24.6	2.51
Conductivity (mS/cm): 0.00988	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

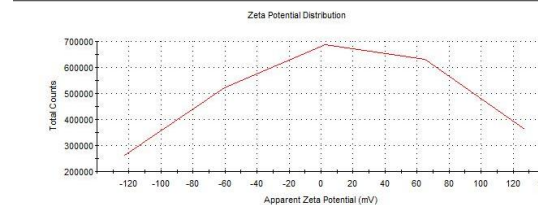
Result quality : See result quality report



სურათი 2.გ. პოლისულფონის ხსნარის ζ -პოტენციალის განაწილების მრუდი 20%-იანი KCl-ის დამატებით

	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): -2.55	Peak 1: 10.1	100.0	75.8
Zeta Deviation (mV): 119	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 155	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

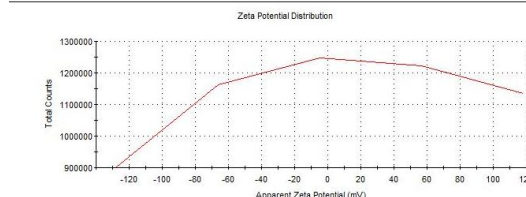
Result quality : Good



სურათი 2.ბ. პოლისულფონის ხსნარის ζ -პოტენციალის განაწილების მრუდი 10%-იანი KCl-ის დამატებით

	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): 9.75	Peak 1: 0.798	100.0	83.6
Zeta Deviation (mV): 161	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 253	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality : Good



სურათი 2.დ. პოლისულფონის ხსნარის ζ -პოტენციალის განაწილების მრუდი 40%-იანი KCl-ის დამატებით

სურათზე 2. წარმოდგენილ ელექტროფორეტული განაწილების მრუდებზე დაფიქსირებულია ζ -პოტენციალის უარყოფითი (-7.31 mV), ნულოვანი (-0.456 mV) და დადებითი (+9.75 mV) მნიშვნელობები. ელექტროკინეტიკური პოტენციალის სიდიდის მზარდი დინამიკა ნაწილაკების გამსხვილების ტენდენციაზე მიუთითებს.

KCl-ის მაღალი კონცენტრაციის პირობებში იკვეთება ხსნარის იზოელექტრული და არამდგრადი მდგომარეობა. 20%-იანი KCl-ის დამატების შემთხვევაში ხსნარი იზოელექტრულ მდგომარეობაშია ($\zeta=0$), რომლის ζ -პოტენციალის მნიშვნელობა ნულთან მიახლოებულია (-0.456 mV). იზოელექტრული მდგომარეობაში დიფუზური შრე ქრება, საწინააღმდეგო იონები მთლიანად გადადის ადსორბციულ შრეში, უარყოფითი მუხტი დადებით კომპენსირდება და წარმოიქმნება გამსხვილებული ნაწილაკები. 40%-იანი KCl-ის დამატებისას ხსნარის ζ -პოტენციალი +9.75 mV-ია, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ გამსხვილებული ნაწილაკები - გამოლექილია და სისტემა - არამდგრადია. ნალექიდან ელექტროლიტის მოშორების შემდეგ (დიალიზი, დეკანტაცია) მაღალმოლეკულური ნაერთი კვლავ იწყებს გახსნას.

პოლიმერული ხსნარის ჰომოგენურობა და აგრეგატული მდგრადობა დიდწილად განსაზღვრავს დასახმელი ხსნარიდან დამზადებული მემბრანის ხვედრით წარმადობას. ცხრილის 1 მონაცემების მიხედვით ხვედრითი წარმადობის მაქსიმალური მაჩვენებელი (5735 ლ/მ²სთ) გააჩნია M3 მემბრანას, რომელიც მიღებულია 5%-იანი კალიუმის ქლორიდის დამატებით. KCl-ის მაღალმა (40%) კონცენტრაციამ მემბრანის ხვედრითი წარმადობა 150 ლ/მ²სთ-მდე შეამცირა. [6-7]

კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ პოლიმერის ხსნარის აგრეგატული მდგრადობა შეიძლება მოდიფიცირებულ იქნას ელექტროლიტის განსაზღვრული რაოდენობით, რაც გავლენას ახდენს პოლიმერული კომპოზიციის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლებზე, განაპირობებს ფაზური ინვერსიის პროცესის მსვლელობას და მიღებული მემბრანის ხვედრითი წარმადობის ასიმპტოტურ მნიშვნელობას.

ლიტერატურა

1. მ. რაზმაძე, ნ. აბულაძე. კოლოიდური ქიმია, II გადაამუშავებული ნაწილი. სტუ. 2017. გვ.186-219;
2. Yehia Manawi, Viktor Kochkodan, Ebrahim Mahmoudi, Daniel J. Johnson, Abdul Wahab Mohammad, Muataz Ali Atieh. Characterization and Separation Performance of a Novel Polyethersulfone Membrane Blended with Acacia Gum. Scientific Reports. Vol.7, 2017. pp.523-547;
3. Matias Ernst, Alexander Bismarck, Gurgen Springer, Martin Jekel. Zeta-Potential and Rejection Rates of Polyethersulfone Nanofiltration Membrane in Single Salt Solution. Journal of Membrane Science, Vol.165(2), 2016. pp.251-259;
4. Sema Solgin, Ugur Salgur Salgin, Nagihan Soyer. Streaming Potential Measurements of Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes to Determine Salt Effects on Membrane Zeta Potential. [International Journal of Electrochemical Science](#) 8(3), 2013. pp.4073-4084;

5. A. Marti, F. Marti, J. Malfeiro, L. Polacio, P. Prodanos. Zeta Potential of Membranes as a function of pH: Optimization of Isoelectric Point Evaluation. [Journal of Membrane Science](#). Vol. 213, 2003. pp.225-230;
6. [Obtaining of Natural Water Microfiltration Membranes Based on Polyethersulphone With PEG 300, PEG600 and LiCl Additives](#). Oxidation Communication, V.47(3), 2024. pp.543–550;
7. ბიბილეიშვილი გ.ვ., ებანოიძე ლ.ო., გოგესაშვილი ნ.ნ., კეჭერაშვილი მ.გ., გოგბერძე ი.ბ. კომპოზიციაში პოლიმერის კონფორმაციული მდგომარეობის და ორგანული დანამატების გავლენის კვლევა ხსნარის სიმღვრივეზე. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, ტ.98, №2, 2023, გვ.59-61.

The dependence of the electrokinetic potential of the polymer composition with the resulting solid tape impregnation

¹Liana Ebanoidze, ²Giorgi bibileishvili, ³Elene Kakabadze, ⁴Zaza Javashvili, ⁵Mzia Kezherashvili, ⁶Tinatin Butkhuzi

The paper presents the determination of ζ -potential of polymer solution of different concentration by dynamic light scattering (electrophoretic light scattering) method on Zetasizer Nano Zen 3690 analyzer to evaluate the properties of electric double layer in the range of potential difference from -30 mV to +30 mV. The effect of KCl concentration in polysulfone solutions on the aggregate stability of the solution was studied. It was found that the magnitude of aggregate stability of the electrokinetic potential largely determine the specific performance of the membrane made from the poured solution. It was found that the aggregate stability of the polymer solution can be changed by a certain amount of electrolyte, which affects the physical-chemical parameters of the polymer composition, determines the phase inversion process and the asymptotic value of the specific productivity of the obtained membrane.

Keywords: ζ -potential, Polymer, Membrane, ხვედრითი წარმადობა