



## ტურბულენტური ნაკადის პირობებში ულტრაფილტრაციული პროცესების კვლევა ჰიდროდინამიკური რეჟიმული პარამეტრების ოპტიმიზაციისათვის

<sup>1</sup> მზია კეჟერაშვილი, <sup>2</sup>გიორგი ბიბილეიშვილი, <sup>3</sup>ლიანა ყუფარაძე, <sup>4</sup>ნანა გოგესაშვილი, <sup>5</sup>ზაზა ჯავაშვილი, <sup>5</sup>ელენე კაკაბაძე

<sup>1</sup>დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, სტუ-ის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი- e-mail: [Kezherashvilimzia@gmail.com](mailto:Kezherashvilimzia@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9491-7949>

<sup>2</sup>ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, სტუ-ის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი- e-mail: [75bibileishvili@gmail.com](mailto:75bibileishvili@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-7712-2436>

### რეზიუმე

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შესწავლილია წყლის ულტრაფილტრაციული გაყოფის პროცესის რეჟიმული პარამეტრები ტურბულენტური ნაკადის პირობებში. მემბრანული აპარატის სადაწნეო საკნის 0,1მმ, 0,2მმ, 0,4მმ, 0,6მმ, 1მმ სიმაღლის პირობებში ექსპერიმენტული შედეგების თეორიულ კვლევებთან შედარებამ აჩვენა, რომ გარდამავალ ტურბულენტურ რეჟიმში სადაწნეო საკნის სიმაღლესა და ხვ. წარმადობის მნიშვნელობებს შორის დამოკიდებულება მრუდწირულია, ხვ. წარმადობა იზრდება სადაწნეო საკნის სიმაღლის დიაპაზონში 0,1მმ-0,6მმ, ხოლო კლებადია 0,6მმ-1მმ ფარგლებში. განვითარებულ ტურბულენტურ რეჟიმში სადაწნეო საკნის სიმაღლესა და ხვ. წარმადობის მნიშვნელობებს შორის დამოკიდებულება სწორხაზობრივია, ხვ. წარმადობა მცირდება საკნის სიმაღლის ზრდასთან ერთად.

**საკვანძო სიტყვები:** ულტრაფილტრაცია; მემბრანა; სადაწნეო საკანი; ტურბულენტური რეჟიმი;

**შესავალი** წყლის რესურსების მდგრადობა და მართვა მნიშვნელოვანია საზოგადოების უსაფრთხოების, სოციალური, ეკონომიკური, ეკოლოგიური პროგრესის შესანარჩუნებლად. გლობალური დათბობა, გარემოსდაცვითი ცვლილებები, შეუსაბამო და ქაოტური ურბანული დაგეგმარება ქმნის სუფთა სასმელი წყლის დეფიციტს მსოფლიოში, რაც დღის წესრიგში აყენებს შემუშავდეს ადეკვატური ტექნოლოგიები და მიდგომები წყლის რესურსების მდგრადი მართვისთვის [1-2]. ამ მიმართებით მემბრანული ტექნოლოგიის გამოყენება მნიშვნელოვანია სხვადასხვა წარმოშობის ბუნებრივი წყლების დასამუშავებლად და მათგან მაღალი ხარისხის სასმელი წყლის მისაღებად [3].

სამუშაოს მიზანი და ანალიზი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ბუნებრივი წყლების ულტრაფილტრაციული გაყოფის პროცესების ეფექტურად წარმართვისათვის მემბრანულ აპარატებში სადაწნეო საკნის გეომეტრიული კონფიგურაციის კვლევა, რომელიც უზრუნველყოფს ჰიდროდინამიკური რეჟიმული პარამეტრების ოპტიმიზაციას ტურბულენტური ნაკადის პირობებში. ჩატარებულია თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ინსტიტუტში შექმნილ ტანგენციალურ პრინციპზე მომუშავე ლაბორატორიული მემბრანული მოდულზე [4-5]. დანადგარის მუშა კვანძის გეომეტრიული დაგეგმარებისათვის სითხის ნაკადის დინების ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების თეორიული შესწავლისათვის გამოთვლილი იქნა რეინოლდსის რიცხვი, რომელიც განისაზღვრა სხვადასხვა სიჩქარით მოძრავი სითხისა ( $\nu$ , მ/წმ) და გეომეტრიის საკნისათვის (სიგანე  $B=12$ მმ, სიგრძე  $L=32$ მმ, სიმაღლე- 0,2მმ; 0,4მმ, 0,6 მმ, 1 მმ). თეორიული გათვლებით დადგინდა სადაწნეო საკანში გარდამავალი და განვითარებული ტურბულენტური რეჟიმით მოძრავი წყლის ნაკადის სიჩქარის დიპაზონი საკნის მოცემული სიმაღლეების პირობებში. შედეგები ასახულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. სითხის ნაკადის სიჩქარე სადაწნეო საკნის სხვადასხვა სიმაღლეებისათვის ტურბულენტური ნაკადისათვის

სადაწნეო საკნის სიმაღლე, (მმ)	სადაწნეო საკანში სითხის ნაკადის სიჩქარე, $\nu$ , მ/წმ	
	გარდამავალი ტურბულენტური რეჟიმი	განვითარებული ტურბულენტური რეჟიმი
0,1	18	28
0,2	9	14
0,4	4,5	7,2
0,6	3,07	4,85
1	1,9	2, 991

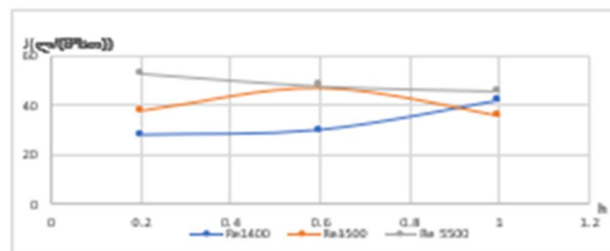
თეორიულმა კვლევამ აჩვენა, რომ ულტრაფილტრაციული პროცესის დროს ტურბულენტური რეჟიმის განვითარებისათვის არ არის რეკომენდირებული სადაწნეო საკანი, რომლის სიმაღლეა 0,1 მმ და 0,2მმ, რადგან ასეთი გეომეტრიის საკანში ტურბულენტური ნაკადის განხორციელებისათვის საჭიროა სითხის ნაკადის მაღალი სიჩქარის გარდამავალი 4,5მ/წმ-დან 18 მ/წმ-მდე და განვითარებული 7,2მ/წმ-დან 28 მ/წმ-მდე აწევა, რაც დიდ ენერგოდანახარჯებს მოითხოვს. ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების თეორიული მონაცემების ექსპერიმენტული მონაცემებთან შედარება განხორციელდა რეინოლდსის რიცხვის იმ მნიშვნელობის მიხედვით, რომელიც უზრუნველყოფს გარდამავალ და

განვითარებულ ტურბულენტურ რეჟიმებს წყლის ნაკადის ოპტიმალური სიჩქარის და 0,1მკმ ფორის ზომის მემბრანის პირობებში. კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში-2.

ცხრილი 2. ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემები 0,6მმ და 1მმ სადაწნეო საკნის სიმაღლისათვის ტურბულენტური ნაკადის პირობებში

Re	3500	5500
$h=0,6\text{მმ}$ $F=B \times h = 12 \times 0,6=7,2\text{მმ}^2 = 7,2 \times 10^{-6}\text{მ}^2$ ; $\chi=2B+2h=24+1,2=25,2\text{მმ}$ $R=$ $\frac{F}{\chi} = \frac{7,2}{25,2} \approx 0,28541\text{მმ} = 0,28541 \times 10^{-3}\text{მ}$ ; $d=4 \times R = 1,1428\text{მმ} = 1,14164 \times 10^{-3}\text{მ}$ ;		
vd, მ <sup>2</sup> /წმ	$3,514 \times 10^{-3}$	$5,522 \times 10^{-3}$
v, მ/წმ	3,07	4,85
Q, მ <sup>3</sup> /წმ	$22,13 \times 10^{-6}$	$34,7832 \times 10^{-6}$
რეჟიმები	გარდამავალი ტურბულენტური	განვითარებული ტურბულენტური
J, ლ/მ <sup>2</sup> სთ	<b>37</b>	<b>48</b>
$h=1\text{მმ}$ $F=B \times h = 12 \times 1=12\text{მმ}^2 = 12 \times 10^{-6}\text{მ}^2$ ; $\chi=2B+2h=24+2=26\text{მმ} = 26 \times 10^{-3}$ ; $R=$ $\frac{F}{\chi} = \frac{12}{26} \approx 0,4615\text{მმ} = 0,4615 \times 10^{-3}\text{მ}$ ; $d=4 \times R = 1,84615\text{მმ} = 1,846153 \times 10^{-3}\text{მ}$ ;		
vd, მ <sup>2</sup> /წმ	$3,514 \times 10^{-3}$	$5,522 \times 10^{-3}$
v, მ/წმ	1,9	2,991
Q, მ <sup>3</sup> /წმ	$22,84 \times 10^{-6}$	$35,89 \times 10^{-6}$
რეჟიმები	გარდამავალი ტურბულენტური	განვითარებული ტურბულენტური
J, ლ/მ <sup>2</sup> სთ	<b>24</b>	<b>34</b>

შესწავლილია ბუნებრივი წყლის ულტრაფილტრაციის პროცესში ხვ. წარმადობას და სადაწნეო საკნის სხვადასხვა სიმაღლეს შორის დამოკიდებულება, რომლის გრაფიკული გამოსახულება მოცემულია ნახაზზე 1.



ნახაზი 1. ხვ. წარმადობას და სადაწნეო საკნის სხვადასხვა სიმაღლეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

**შედეგი და დასკვნა** ამრიგად, ტანგენციალურ პრინციპზე მომუშავე ლაბორატორიული მემბრანული მოდულზე წყლის ულტრაფილტრაციის ექსპერიმენტული შედეგების თეორიულ კვლევებთან შედარებამ 0,1 მმ, 0,2მმ, 0,4მმ, 0,6მმ და 1მმ სიმაღლის მქონე სადაწნეო საკნის პირობებში გვიჩვენა, რომ გარდამავალ ტურბულენტურ რეჟიმში სადაწნეო საკნის სიმაღლესა და ხვ. წარმადობის მნიშვნელობებს შორის დამოკიდებულება მრუდწირულია, ხვ. წარმადობა იზრდება სადაწნეო საკნის სიმაღლის დიაპაზონში 0,2მმ-0,6მმ, ხოლო კლებადია 0,6მმ-1მმ ფარგლებში. განვითარებულ ტურბულენტურ რეჟიმში სადაწნეო საკნის სიმაღლესა და ხვ. წარმადობის მნიშვნელობებს შორის დამოკიდებულება სწორხაზობრივია, ხვ. წარმადობა მცირდება საკნის სიმაღლის ზრდასთან ერთად.

ლიტერატურა:

- 1.H. Mokarizadeh, A. Raisi; Industrial wastewater treatment using PES UF membranes containing hydrophilic additives: Experimental and modeling of fouling mechanism; Environmental Technology and Innovation, vol. 23, p. 101701, 2021.
2. Nunes, S.P.; Culfaz-Emecen, P.Z.; Ramon, G.Z.; Visser, T.; Koops, G.H.; Jin, W.; Ulbricht, M. Thinking the future of membranes: Perspectives for advanced and new membrane materials and manufacturing processes. J. Membr. Sci. 2020, 598.
3. Y. L. Thuyavan, N. Anantharaman, G. Arthanareeswaran, and A. F. Ismail, "Impact of solvents and process conditions on the formation of polyethersulfone membranes and its fouling behavior in lake water filtration," Journal of Chemical Technology and Biotechnology, vol. 91, no. 10, pp. 2568–2581, 2016.
- 4.G. Bibileishvili, L. Kuparadze. The analysis of experimental data obtained by microfiltration of natural water. Journal of Progressive Sciences and Technologies, 2020, Vol.23, No.2, pp.421-428.
5. G. Bibileishvili, M. Kezherashvili, N. Gogesashvili, L. Kuparadze, L. Ebanoidze, Effect of the Temperature of the Non-Solvent on the Morphology of the Polymeric Membrane. // European Journal of Scientific Research (EJSR), 2022, vol.161,1, pp.5-15.

# Research of ultrafiltration processes under turbulent flow conditions for optimization of hydrodynamic regime parameters

<sup>1</sup>Mzia Kezherashvili, <sup>2</sup>George Bibileishvili, <sup>3</sup>Liana Kuparadze, <sup>4</sup>Nana Gogesashvili, <sup>5</sup>Zaza JavaSvili, <sup>6</sup>Elene Kakabadze

## SUMMARY

On the basis of theoretical and experimental studies, the regime parameters of the ultrafiltration water separation process under turbulent flow conditions have been studied. Under conditions of 0.1 mm, 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm, 1 mm height of the pressure cell of the membrane device. Comparison of experimental results with theoretical studies showed that in the transient turbulent regime, the relationship between the pressure cell height and the specific performance values is curvilinear, the specific performance increases in the pressure cell height range of 0.1mm-0.6mm, and decreases in the range of 0.6mm-1mm. In the developed turbulent regime, the relationship between the height of the pressure cell and the performance values is linear, the specific performance decreases with the increase of the cell height.

**Keywords:** ultrafiltration; membrane; pressure cell; turbulent regime;