



## ტურბულენტური ნაკადის განხორციელების გზით ტანგენციალური ბარომემბრანული პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა

<sup>1</sup>ლიანა ყუფარაძე, <sup>2</sup>გიორგი ბიბილეიშვილი, <sup>3</sup>ზზია კეჭერაშვილი, <sup>4</sup>ზაზა ჯავაშვილი, <sup>5</sup>ლიკა ებანოძე, <sup>5</sup>თინათინ ბუთხუზი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი  
<sup>1</sup>დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, - e-mail: [Lianakuparadze@gmail.com](mailto:Lianakuparadze@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-6786-5669>; <sup>2</sup>ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, - e-mail: [75bibileishvili@gmail.com](mailto:75bibileishvili@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-7712-2436>

**რეზიუმე:** ნაშრომში წარმოდგენილია ულტრაფილტრაციული პროცესისათვის ტურბულენტური ნაკადის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა ცვალებადი გეომეტრიის სადაწნეო საკნისათვის. ორი ექსპერიმენტალური სადაწნეო საკნისათვის თეორიულად დადგინდა ტურბულენტური ნაკადის დინების სიჩქარეების დიაპაზონი სადაწნეო საკნის ცვალებადი სიმაღლეებისთვის. სადაწნეო საკნის სხვადასხვა გეომეტრიის პირობებში ექსპერიმენტები ჩატარდა გამოხდილ წყალზე. მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ულტრაფილტრაციული პროცესისათვის ტურბულენტური რეჟიმის დროს. რაც უფრო ნაკლებია სადაწნეო საკნის სიმაღლე, მით უფრო მეტია ხვედრითი წარმადობის მნიშვნელობა.

**საკვანძო სიტყვები:** წნევის კამერა, სპეციფიკური პროდუქტიულობა, ტურბულენტური რეჟიმი

**შესავალი** ადამიანის ჯამრთელობის უსაფრთხოებისათვის ბუნებრივი წყლებისაგან ISO-სტანდარტის სასმელი წყლის მისაღებად გამოიყენება მემბრანული ტექნოლოგიები და მემბრანული ტექნიკა. მაღალი წარმადობის ნანოსისტემების შექმნა და ექსპლოატაციის გახანგრძლივება ერთ-ერთი უმთავრესი ამოცანაა მემბრანულ ტექნოლოგიაში. მემბრანულ მოწყობილობებში მნიშვნელოვანია ჰიდროდინამიკური პროცესების როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული კვლევები.

**ანალიზი** ულტრაფილტრაციული პროცესისათვის სითხის ტურბულენტური ნაკადის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა გულისხმობს განსხვავებული გეომეტრიის სადაწნეო საკნის პირველადი მაჩვენებლების თეორიულ გამოვლენას და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე ოპტიმალური ჰიდროდინამიკური პარამეტრების შერჩევას [ 1-5 ].

ამ მიზნით თეორიული კვლევები ჩატარდა ორ სადაწნეო საკანზე: პირველი ექსპერიმენტული საკნის სიგანე  $B=9\text{მმ}=9 \times 10^{-3}\text{მ-ს}$ , სიგრძე  $l = 30\text{მმ} = 30 \times 10^{-3} \text{ მ} - \text{ს}$ . მეორე ექსპერიმენტული საკნის სიგანე  $B = 12\text{მმ} = 12 \times 10^{-3}\text{მ} - \text{ს}$ , სიგრძე  $l = 32\text{მმ} = 32 \times 10^{-3} \text{ მ} - \text{ს}$ . ორივე სადაწნეო საკნისათვის განხილულია სიმაღლის სამი მნიშვნელობა:  $0,2\text{მმ} = 0,2 \times 10^{-3}\text{მ}$ ;  $0,4\text{მმ}=0,4 \times 10^{-3} \text{ მ}$ ;  $0,6\text{მმ}=0,6 \times 10^{-3} \text{ მ}$ . წყლის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი  $20^{\circ}\text{C-ზე}$  შეადგენს  $\nu = 1,004 \text{ მმ}^2/\text{წმ} = 1,004 \times 10^{-6} \text{ მ}^2/\text{წმ}$

ცხრილში 1 მოყვანილია პირველი სადაწნეო საკნის ცვალებადი გეომეტრიის შემთხვევაში თეორიული გაანგარიშების შედეგად მიღებული Re რიცხვისა და ტურბულენტური ნაკადის სიჩქარის კრიტიკული მნიშვნელობები და შესასვლელ კვეთში წყლის ხარჯი Q.

ცხრილი 1 თეორიული გაანგარიშების შედეგები პირველი სადაწნეო საკნისათვის

| სადაწნეო საკნის სიმაღლე h, მმ | რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობები $Re_{კრ}$ | ტურბულენტური ნაკადის სიჩქარის კრიტიკული მნიშვნელობა $v_{კრ}$ , მ/წმ | შესასვლელ კვეთში წყლის ხარჯი Q, (მ <sup>3</sup> /წმ) |
|-------------------------------|--|---|--|
| 0,6                           | 2325   | 2,074   | $11,19 \times 10^{-6}$                               |
| 0,4                           | 2325   | 3,07  | $10,96 \times 10^{-6}$                               |
| 0,2                           | 2325   | 5,965   | $10,73 \times 10^{-6}$                               |

ცხრილში 2 მოყვანილია მეორე სადაწნეო საკნის ცვალებადი გეომეტრიის შემთხვევაში თეორიული გაანგარიშების შედეგად მიღებული Re რიცხვისა და ტურბულენტური ნაკადის სიჩქარის კრიტიკული მნიშვნელობები და შესასვლელ კვეთში წყლის ხარჯი Q.

ცხრილი 2. თეორიული გაანგარიშების შედეგები მეორე სადაწნეო საკნისათვის

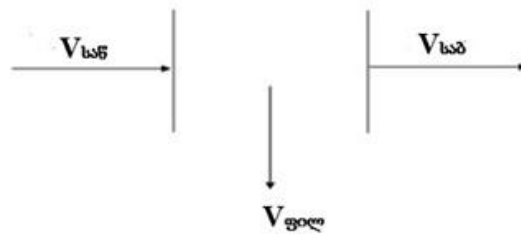
| სადაწნეო საკნის სიმაღლე h, მმ | რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობები $Re_{კრ}$ | ტურბულენტური ნაკადის სიჩქარის კრიტიკული მნიშვნელობა $v_{კრ}$ , მ/წმ | შესასვლელ კვეთში წყლის ხარჯი Q, (მ <sup>3</sup> /წმ) |
|-------------------------------|--|---|--|
| 0,6                           | 2325   | 2,023   | $14,7 \times 10^{-6}$                                |
| 0,4                           | 2325   | 3,015   | $14,47 \times 10^{-6}$                               |
| 0,2                           | 2325   | 5,935   | $14,24 \times 10^{-6}$                               |

სადაწნეო საკნის სხვადასხვა სიმაღლის შემთხვევაში ნაკადის დინების ტურბულენტური რეჟიმი მყარდება სადაწნეო საკნის ცვალებადი სიმაღლისა და სიჩქარის დროს : პირველი ექსპერიმენტალური საკნისათვის ცხრილი 1-ის მიხედვით 1)  $h = 0,2\text{მმ} = 0,2 \times 10^{-3}\text{მ}$   $v \geq 5,965 \text{ მ/წმ}$ , 2)  $h = 0,4\text{მმ} = 0,4 \times 10^{-3}\text{მ}$   $v \geq 3,07 \text{ მ/წმ}$ , 3)  $h = 0,6\text{მმ} = 0,6 \times 10^{-3}\text{მ}$   $v \geq 2,074 \text{ მ/წმ}$ , მეორე

ექსპერიმენტალური საკნისათვის ცხრილი 2-ის მიხედვით 1)  $h = 0,2\text{მმ} = 0,2 \times 10^{-3}\text{მ}$   $v \geq 5,935$  მ/წმ, 2)  $h = 0,4\text{მმ} = 0,4 \times 10^{-3}\text{მ}$   $v \geq 3,015$  მ/წმ, 3)  $h = 0,6\text{მმ} = 0,6 \times 10^{-3}\text{მ}$   $v \geq 2,023$ მ/წმ,

სადაწნეო საკნის სხვადასხვა სიმაღლის შემთხვევაში თეორიული კვლევების საფუძველზე გამოიკვეთა სადაწნეო საკნის შესასვლელი კვეთებისათვის რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობები და ტურბულენტური ნაკადისათვის განსხვავებული სიდიდის სიჩქარეები. დადგინდა, რომ სადაწნეო საკნის შესასვლელი კვეთის ფართის კლებამ განაპირობა რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობის გაზრდა, რაც ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლის ოპტიმიზაციის წინა პირობაა.

ნანოფილტრაციული პროცესისათვის ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში ექსპერიმენტები ჩატარდა დანადგარზე ,რომლის მემბრანული გაყოფის პრინციპული საანგარიშო სქემა წარმოდგენილია სურ.1-ზე.



სურ.1. მემბრანული დაყოფის პრინციპული საანგარიშო სქემა.

ექსპერიმენტების ჩასატარებლად გამოყენებული იყო გამოხდილ წყალი (გოსტი-67-09-72), რომლის ტემპერატურა იყო  $T = 20^{\circ}\text{C}$ , მემბრანაზე ფორის ზომით 2მკმ სითხის წნევა იყო  $P = 0,5$  ბარი , ხოლო სიჩქარე  $v = 1$  მ/წმ, ანათვლების დროის ინტერვალი იყო  $\Delta t = 1$  წთ. სადაწნეო საკნის ცვალებადი სიმაღლეებისთვის: 0,2 მმ; 0,4 მმ; 0,6 მმ, მემბრანის მუშა ფართობი  $\omega_{მემ} = 270$  მმ<sup>2</sup> =  $270 \times 10^{-4}\text{მ}^2$ .

ექსპერიმენტების გამართული მუშაობის უზრუნველყოფის შემდეგ ისაზღვრებოდა ფილტრატი  $V_{\text{ფილ}}$  და პერმიატი  $V_{\text{პერ}}$  მოცულობები. ექსპერიმენტის შედეგების ხვედრითი წარმადობის საანგარიშოდ გამოყენებულია შემდეგი ფორმულა:

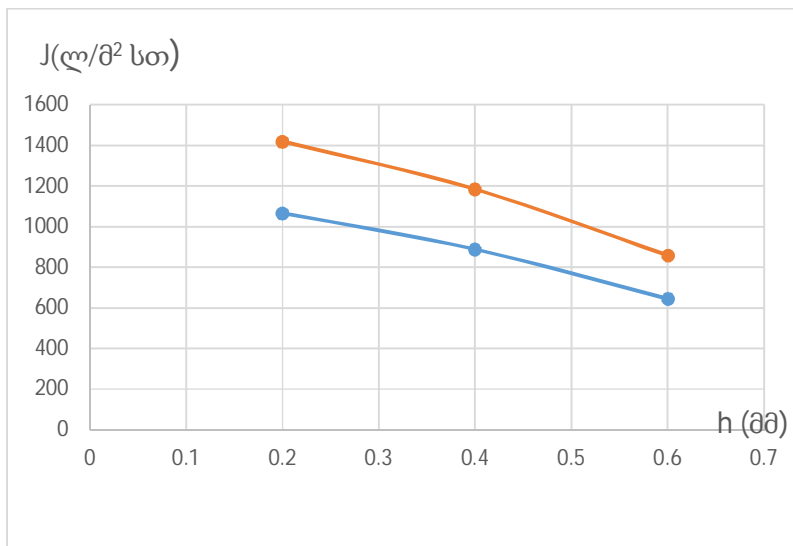
$$J = \frac{V_{\text{ფილ}}}{\Delta t \omega_{\text{მემ}}}$$

სადაც  $V_{\text{ფილ}}$  -გაფილტრული სითხის მოცულობაა  $\Delta t$  დროის განმავლობაში.

ცხრილში 3 მოცემულია პირველ სადაწნეო საკანზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები როგორც ლამინარული, ისევე ტურბულენტური რეჟიმების დროს [6].

ცხრილი 3. ექსპერიმენტების შედეგები პირველ სადაწნეო საკანზე.

| სადაწნეო საკანის სიმაღლე h, მმ | წნევა P, ბარი | გასაფილტრი სითხის ტემპერატურა T, °C | ლამინარული                               | ტურბულენტური                             |
|--------------------------------|---------------|-------------------------------------|--|--|
|                                |               |                                     | ხვედითი წარმადობა J, ლ/მ <sup>2</sup> სთ | ხვედითი წარმადობა J, ლ/მ <sup>2</sup> სთ |
| 0,6                            | 0,5           | 20 <sup>0</sup>                     | 644                                      | 858                                      |
| 0,4                            |               |                                     | 888                                      | 1184                                     |
| 0,2                            |               |                                     | 1066                                     | 1420                                     |



სურ.2. ექსპერიმენტების შედეგების გრაფიკული ასახვა ლამინარული და ტურბულენტური რეჟიმების დროს სადაწნეო საკანის სხვადასხვა სიმაღლეების შემთხვევაში.

**დასკვნა** ხვედრითი წარმადობების მნიშვნელობები ტურბულენტური რეჟიმის დროს გაცილებით მეტია, ვიდრე ლამინარული რეჟიმის დროს. რაც უფრო ნაკლებია სადაწნეო საკანის სიმაღლე მით უფრო მეტია წარმადობის მნიშვნელობა.

**ლიტერატურა**

1. Altena, et al ., 1983; Belfort, et al ., 1979; Belfort и Marx, 1976
2. Christian R. Bouchard, Pierre J. Carreau, Takeshi Matsuura, S. Sourirajan. Modeling of ultrafiltration: Predictions of concentration polarization effects. Journal of Membrane Science, volume 97, 1994, pp 215-229.
3. Alexey Pervov, The influence of hydrodynamic factors, membrane surface properties and channel geometries on membrane performance and fouling mechanisms; MATEC Web of

Conferences 86, 0 (2016) DOI: 10.1051/mateconf/20168603006 IPICSE-2016

4. Dytnerky Yu.I., Orlov N.S. On the calculation of membrane working surface using mass transfer concept. // J. Membr. Sci.-1991.-v.58.-p.139-146.

5. Ключников А.И. «Научные основы интенсификации процессов микро и ультра -фильтрации технологических жидкостей пищевых производств» докторская диссертация, Воронеж, 2016.

6. გ. ბიბილეიშვილი, ლ. ყუფარაძე, ზ. ჯავაშვილი, თ ბუთხუზი „ბუნებრივ წყალზე მიკროფილტრაციით მიღებული ზოგიერი ექსპერიმენტული მონაცემთა ანალიზი“ საქართველოს ქიმიური ჟურნალი ტ.19 №1 2019.

რეფერატი

## Theoretical and experimental study of the tangential baromembrane process through the implementation of turbulent flow.

<sup>1</sup>Liana Kuparadze, <sup>2</sup>George Bibileishvili, <sup>3</sup>Mzia Kezherashvili, <sup>4</sup>Zaza Javashvili, <sup>5</sup>Lika EbanoidZe, <sup>6</sup>Tinatin Butkhuzi

Engineering Institute of Membrane technologies of Georgian Technical University

The paper presents a theoretical and experimental study of the turbulent flow for the ultrafiltration process for a pressure chamber of variable geometry. For two experimental pressure chamber, the range of turbulent flow velocities for varying heights of the pressure chamber was determined theoretically. Experiments were conducted on distilled water under different geometries of the pressure chamber. The obtained results showed us that for the ultrafiltration process, during the turbulent regime, when the height of the pressure chamber is lower, the specific productivity is higher.

**Keywords:** Pressure chamber, specific productivity, turbulent regime