

მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

**2016 წლის
სამეცნიერო ანგარიში**

* სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი – ინსტიტუტის დირექტორი
გიორგი ბიბილეიშვილი

**I. საქართველოს სახელმწიფო ბიუჯეტის დაფინანსებით 2016 წლის გეგმით
შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები**

| № | შესრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით | პროექტის ხელმძღვანელი | პროექტის შემსრულებლები |
|---|---|--------------------------------------|--|
| 1 | <p>თემა-1. საქართველოს ზოგიერთი მინერალური წყლის, როგორც მოლეკულური და იონური სისტემების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა ბორჯომის მაგალითებზე, ეკოლოგიურად სუფთა, მაღალხარისხოვანი, სტერილური, სამკურნალო პროდუქციის მიღების მიზნით. ბორჯომის მინერალური წყლის სტერილური ფილტრაციისთვის მემბრანული ტექნოლოგიის დამუშავება და საწარმოო ნიმუშის დამზადება; მემბრანული პროცესების კვლევა და ნანოტექნოლოგიების</p> | <p align="center">გ.ბიბილეიშვილი</p> | <p align="center">მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება. განყოფილების უფროსი- მ. კეჟერაშვილი</p> |

| | დამუშავება | | |
|---|---|----------------|---|
| 2 | <p>თემა-2 მოლეკულური და იონური სისტემების დებაირება (Ba), დეფტორირების (F) ნანოქიმია, მემბრანული ნანოტექნოლოგიებისა და ნანოსისტემების დამუშავება-შექმნა და საწარმოო ნიმუშის დამზადება ბორჯომის მინერალური წყლის მაგალითზე;</p> <p>მემბრანული პროცესების კვლევა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავება</p> | გ.ბიბილეიშვილი | <p>მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება. განყოფილების უფროსი- მ. კეჟერაშვილი</p> <p>ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ლაბორატორია. ლაბორატორიის უფროსი- ე. კაკაბაძე</p> |
| <p>თემა 1. ბორჯომის მინერალური წყლის სტერილური ფილტრაციისთვის მიმდინარეობდა ბარომემბრანული პროცესების მიკრო- და ულტრაფილტრაციის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა. აღნიშნული განხილულია, როგორც მოლეკულური და იონური სისტემები. მოცემულია მათი დახასიათება და კლასიფიკაცია. მემბრანული ტექნოლოგიის გამოყენების საფუძველზე მიღებული საკვლევი მინერალური წყლის გრანულომეტრიული, მოლეკულური და იონური კომპონენტების შედგენილობა განსაზღვრულია ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, სიმღვრივის (Turb 555IR), ელ.გამტარობისა (KEL-IM2) და იონმზომი (I-160.IMP) ხელსაწყოების გამოყენებით.</p> <p>სურათი 1-ზე ნაჩვენებია ბორჯომის მინერალური წყლის ბურღ.-ის ნიმუშები (ბურღი 1, ბურღი 137 თბ, ცივი, ბურღი 41, ბურღი 37, ბურღი 25, ბურღი 9, ბურღი ლიკანი, ბურღი ცენტრ. პარკი), რომლებზეც მიმდინარეობდა ექსპერიმენტული კვლევები და გამოყენებული ქიმიური რეაქტივები(კალციუმის კარბონატი-CaCO₃, კალიუმის ნიტრატი- KNO₃, ბარიუმის ქლორიდი- BaCl₂.2H₂O, კალიუმის ქლორიდი- KCl, ნატრიუმის ქლორიდი- NaCl, ნატრიუმის აცეტატი- CH₃COONa, ნატრიუმის ციტრატი- NaC₆H₅O₇, ტრილონ ბ, კალციუმის ქლორიდი- CaCl₂, ექსიკატორში ნატრიუმის ფტორიდი- NaF, ნატრიუმის ჰიდროქსიდი-NaOH, რომლითაც დამზადდა საკალიბრო და ბუფერული ხსნარები ფთორის, ბარიუმის, კალციუმისა და ქლორის ქიმიური ანალიზისთვის.</p> | | | |



სურათი 1. ბორჯომის წყლის ბურღ. ნიმუშები და ქიმიური რეაქტივები

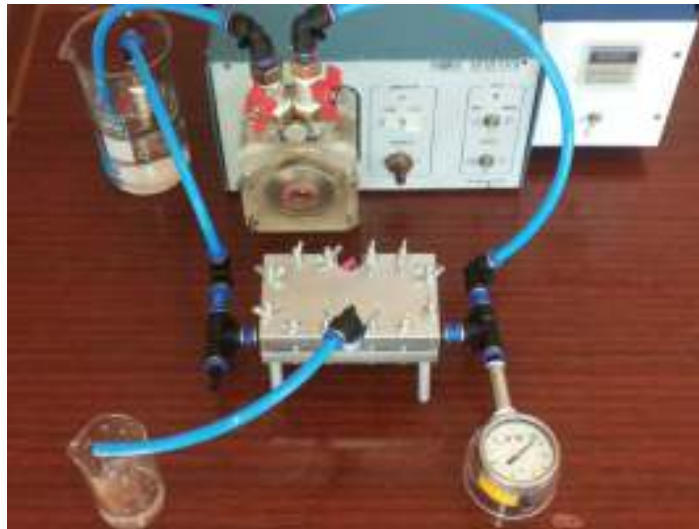
3D პრინტერის (ULTIMAKER-2) მეშვეობით ბუნებრივი წყლის გრანულომეტრული შემაღვანელობის 0,1მკმ-დან 0,45მკმ-მდე დამუშავებისთვის შექმნილია ტანგენციალური ტიპის უნივერსალური საფილტრაციო ხელსაწყო, რომელიც მოცემულია სურათი 2-ზე. მინერალური წყლის გრანულომეტრული შედგენილობისა და სტერილიზაციის მინიმალური დონის (მიკროფილტრაცია) უზრუნველყოფისთვის საფილტრაციო ლაბორატორიული ხელსაწყო იწყობა 0,1-, 0,2-, 0,45- და 0,6მკმ-ს ზომის ნაწილაკების შემაკავებელი მაკომპლექტებელი დეტალებით. დამუშავებული წყლის გამჭვირვალობის მაჩვენებელი ფორმაზინის ერთეულით შეადგენს FNU 0,1-0,2. მინერალური წყლის გრანულომეტრული შედგენილობისა და სტერილიზაციის მაქსიმალური დონის (ულტრაფილტრაცია) უზრუნველყოფისთვის საფილტრაციო ლაბორატორიული ხელსაწყო იწყობა 0,05-, 0,3- და 0,01მკმ-ს ზომის ნაწილაკების შემაკავებელი მაკომპლექტებელი დეტალებით. დამუშავებული წყლის გამჭვირვალობის მაჩვენებელი ფორმაზინის ერთეულით შეადგენს FNU 0,10. მიკროფილტრაციული პროცესის დროს ბორჯომის მინერალური წყალი იწმინდება 0,2მკმ-ის ზომის ტოლი ნაწილაკებისგან, რაც უზრუნველყოფს სითხის სტერილიზაციის მინიმალურ დონესა და სათანადო გამჭვირვალობას.

ულტრაფილტრაციული პროცესის დროს ბორჯომის მინერალური წყალი იწმინდება 0,01 მკმ-ის ზომის ტოლი ნაწილაკებისა და მიკროორგანიზმებისგან, რაც უზრუნველყოფს სითხის სტერილიზაციის მაქსიმალურ (99,9%-100%) დონესა და სათანადო გამჭვირვალობას.

სურათი 2-ზე მოცემულია მიკრო- და ულტრაფილტრაციული ლაბორატორიული მემბრანული დანადგარი, რომელიც შექმნილი და დამზადებული იქნა მემბრანული ტექნოლოგიების საიჟინრო ინსტიტუტის მიერ.

მემბრანული დანადგარი შედგება: 3დ პრინტერის მეშვეობით დამზადებული

ლაბორატორიული მემბრანული აპარატისგან; მოდერნიზებული, რევერსული, ტიპის პერინტალური ტუმბოსგან YPL-0,6; 800მლ.ლ-იანი საცირკულაციო კოლბისგან; 150 მლ.ლ-იანი პერმეატის შესაგროვებელი კოლბისგან; 10 ატმ.-იანი წნევის მზომისგან; პერმეატისა და რეტენტატის ნაკადის მარეგულირებელი ნახევარდიუზიანი ვენტილისგან; შემაერთებელი მაკომპლექტებული არმატურისა და 10მმ. დიამეტრის მილისგან.



სურათი 2. მიკრო- და ულტრაფილტრაციული ლაბორატორიული მემბრანული დანადგარი

ქვემოთ მოყვანილია ბურღილების მიხედვით ბორჯომის მინერალური წყლის გამჭვირვალობის მაჩვენებლები ფორმაზინის საზომი ერთეულის მიხედვით. კვლევები ჩატარებულია სხვადასხვა ბურღილებიდან აღებულ ნიმუშებზე (სურათი 3-8).



სურათი 3.

ბურღ. “პარკ. წყალი”



სურათი 4.

ბურღ. “ლიკანი”



სურათი 5.

ბურღ. 9



სურათი 6.



სურათი 7.



სურათი 8.

ბურღ.25

ბურღ.37

ბურღ.41

მიკრო- და ულტრაფილტრაციული პროცესის მეშვეობით დამუშავებული ბურღების (ბურღ. “პარკ. წყალი”, ბურღ. “ლიკანი”, ბურღ. 9, ბურღ.25, ბურღ. 37, ბურღ.41) გამჭვირვალობის მაჩვენებელი მოცემულია სურათებზე 8 და 9.



სურათი 9.

სურათი 10.

მიკროფილტრაცია

ულტრაფილტრაცია

ამრიგად, ბორჯომის მინერალური წყლის ბურღების (ბურღ. “პარკ. წყალი”, ბურღ. “ლიკანი”, ბურღ.9, ბურღ.25, ბურღ.37, ბურღ.41) დასამუშავებლად მიკროფილტრაციული პროცესის კვლევისას 0,2 მკმ-ს ზომის ნაწილაკების მოცილება უზრუნველყოფს ხსნარის მინიმალურ დონეზე სტერილიზაციასა და ფორმაზინის ერთეულის მიხედვით გამჭვირვალობის მაჩვენებელს FNU 0,10, ხოლო ულტრაფილტრაციული პროცესის კვლევისას 0,01 მკმ-ს ზომის ნაწილაკების მოცილება უზრუნველყოფს ხსნარის მაქსიმალურ (99,9%-100%) დონეზე სტერილიზაციასა და ფორმაზინის ერთეულის მიხედვით გამჭვირვალობის მაჩვენებელს FNU 0,09.

თემა 2. „ნანოტექნოლოგიები“ მეცნიერების ის დარგია, რომელიც ახორციელებს ატომურ (მოლეკულურ) დონეზე მანიპულირებას, ნანომეტრული ზომის სისტემების ზომითი ეფექტით განპირობებულ სპეციფიკურ თვისებებს იყენებს ახალი ტექნოლოგიების, მოწყობილობების, აპარატურის შესაქმნელად. ნანოტექნოლოგიები იქმნება ნანოზომის ნაწილაკების სინთეზის, იდენტიფიკაციის, გასუფთავების, სტაბილიზაციის, დისპერსულობის ხარისხის მიხედვით ფრაქციონირების მეთოდების გამოყენებით, სადაც მემბრანულ ტექნოლოგიებს გამორჩეული და უნიკალური ადგილი უჭირავთ, როგორც თეორიული ასევე პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით.

ნანოსისტემების უმნიშვნელოვანეს ნიშანთვისებას წარმოადგენს მათი რეალიზაციის დროს მიღებული პროდუქტების, მასალებისა და მოწყობილობების ხარისხობრივი ცვლილებები და თვისებები.

ბორჯომის მინერალური წყლის ნაწილობრივი დეფტორირება-დებარირებისთვის მიმდინარეობდა ბარომემბრანული ფილტრაციის სამი პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა. ესენია მიკრო-, ულტრა- და ნანოფილტრაცია. მიკროფილტრაციული პროცესის დროს ბორჯომის მინერალური წყალი იწმინდება 0,2 მკმ-ის, ხოლო ულტრაფილტრაციული პროცესის დროს 0,01მკმ-ის ზომის ტოლი ნაწილაკებისგან, რაც უზრუნველყოფს სითხის სტერილიზაციასა და სათანადო გამჭვირვალობას.

მიკრო- და ულტრაფილტრაციული პროცესების გამოყენებით წინასწარ შემზადებული სსნარი მზადაა ნანოფილტრაციული დამუშავებისთვის, რომელიც გულისხმობს ნანოზომების (16მ-100ნმ) ფარგლებში შერჩევით იონურ სელექციას.

ნანოფილტრაციული პროცესის მეშვეობით დამუშავებული ბორჯომის მინერალური წყლის (ბურდ. “პარკ. წყალი”, ბურდ. “ლიკანი”, ბურდ. 9, ბურდ.25, ბურდ. 37, ბურდ.41) გამჭვირვალობის მაჩვენებელი ფორმაზინის ერთეულის მიხედვით ტოლია 0,06-ის.

ქვემოთ მოყვანილია ბურღილების (ბურდ. “პარკ. წყალი”, ბურდ. “ლიკანი”, ბურდ. 9, ბურდ.25, ბურდ. 37, ბურდ.41) ბორჯომის მინერალური წყლის გამჭვირვალობის მაჩვენებელი ფორმაზინის ერთეულის მიხედვით მოცემულია სურათი 11-ზე.



სურათი 11. ნანოფილტრაცია

ევროკავშირის 2003 წლის 16 მაისის დირექტივის თანახმად, რომელიც მიმართულია წვერი ქვეყნების მიმართ, მოყვანილია მინერალური წყლისთვის ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია ბარიუმის შემთხვევაში 1მგ/ლ, ფთორისათვის 5მგ/ლ რაც ნაჩვენებია ცხრილში 1.

სურათი 12-ზე პირველ (O) სტრიქონში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის ბურდ.41-ის ქიმიური კომპონენტების საწყისი რაოდენობრივი მაჩვენებლები. მეორე (K) სტრიქონში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის ბურდ.41-ის ქიმიური კომპონენტების რაოდენობრივი მაჩვენებლები (K) ტიპის ტექნოლოგიებით დამუშავების შემდეგ ლამინარული რეჟიმის პირობებში. მესამე (S) სტრიქონში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის ბურდ.41-ის ქიმიური კომპონენტების მაჩვენებლები (S) ტიპის ტექნოლოგიებით დამუშავების შემდეგ ლამინარული რეჟიმის პირობებში.

| | | | | |
|---|------|------|------|-----|
| O | 3.46 | 6.96 | 97.2 | 352 |
| K | 1.09 | 4.82 | 74.2 | 292 |
| S | 937 | 6.52 | 15.8 | 349 |

სურათი 12. ბურდ.41-ის ლამინარული რეჟიმის პირობებში საწყისი და დამუშავებული ბორჯომის მინერალური წყლის ქიმიური კომპონენტების რაოდენობრივი მაჩვენებლები

სურათი 13-ზე პირველ (O) სტრიქონში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის

ბურდ.41-ის ქიმიური კომპონენტების საწყისი რაოდენობრივი მაჩვენებლები. მეორე (K) სტრიქონში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის ბურდ.41-ის ქიმიური კომპონენტების რაოდენობრივი მაჩვენებლები (K) ტიპის ტექნოლოგიებით დამუშავების შემდეგ ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში. მესამე (S) სტრიქონში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის ბურდ.41-ის ქიმიური კომპონენტების მაჩვენებლები (S) ტიპის ტექნოლოგიებით დამუშავების შემდეგ ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში.

| | | | | |
|---|------|------|------|-----|
| O | 3.46 | 6.96 | 97.2 | 352 |
| | 854 | 4.28 | 69.5 | 273 |
| | 614 | 5.84 | 12.0 | 318 |

სურათი 13. ბურღ.41-ის ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში საწყისი და დამუშავებული ბორჯომის მინერალური წყლის ქიმიური კომპონენტების რაოდენობრივი მაჩვენებლები

ევროკავშირის ღირეტივის თანახმად მინერალურ წყალში ბარიუმი არ უნდა აღემატებოდეს 1 მგ/ლ, ხოლო ფთორი 5 მგ/ლ-ს. ასევე კალციუმის დასაშვები რაოდენობის დიაპაზონია 20-150 მგ/ლ, ხოლო ქლორის 260-380 მგ/ლ.

სურათი 12-ზე მოცემული ბურღ.41-ის წყალში ბარიუმის საწყისი რაოდენობა 3,46 მგ/ლ-ით, ხოლო ფთორის-6,96 მგ/ლ-ით აღემატება დასაშვებს ლამინარული რეჟიმის პირობებში.

(K) ტექნოლოგიების გამოყენებით ბარიუმის რაოდენობა შემცირდა 1.09მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორის-4.82 მგ/ლ-მდე.

(S) ტექნოლოგიების გამოყენებით ბარიუმის რაოდენობა შემცირდა 0.937მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორის-6.52 მგ/ლ-მდე.

ასევე კალციუმისა და ქლორისთვის შენარჩუნებულია კომპონენტის რაოდენობრივად დასაშვები მნიშვნელობები: კერძოდ კალციუმისთვის 74.2 მგ/ლ, ხოლო ქლორისთვის 292 მგ/ლ.

სურათი 73-ზე ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში (K) ტექნოლოგიების გამოყენებით ბარიუმის რაოდენობა შემცირდა 0,854 მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორის- 4,28 მგ/ლ-მდე.

(S) ტექნოლოგიების გამოყენებით ბარიუმის რაოდენობა შემცირდა 0,614 მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორის-5,84 მგ/ლ-მდე.

ასევე კალციუმისა და ქლორისთვის შენარჩუნებულია კომპონენტების რაოდენობრივად დასაშვები მნიშვნელობები: კერძოდ, კალციუმისთვის 69,5 მგ/ლ, ხოლო ქლორისთვის 273 მგ/ლ.

მიღებული შედეგები გათვალისწინებულია ბურღ.41-ის ბორჯომის წყლის დებარირება-დეფტორირების მემბრანული დანადგარის შესაქმნელად.

ქვემოთ მოყვანილია შემაჯამებელი ცხრილი 1. ლამინარული რეჟიმის პირობებში საწყისი და დაუმუშავებული ბორჯომის მინერალური წყლის ქიმიური კომპონენტები რაოდენობრივი მაჩვენებლებით.

**ლამინარული რეჟიმის პირობებში საწყისი და დაუმუშავებული
ბორჯომის მინერალური წყლის ქიმიური კომპონენტების
რაოდენობრივი მაჩვენებლები
ცხრილი 1.**

| ბურღილი | ტექნოლოგია | Ba, მგ/ლ | F, მგ/ლ | Ca, მგ/ლ | Cl, მგ/ლ |
|----------------|---------------|----------|---------|----------|----------|
| 37 | დაუმუშავებელი | 3.27 | 5.26 | 51.7 | 386.0 |
| 37 | K | 1.60 | 3.82 | 28.2 | 348.0 |
| 37 | S | 1.05 | 4.11 | 38.5 | 359.0 |
| 41 | დაუმუშავებელი | 3.46 | 6.96 | 97.2 | 352.0 |
| 41 | K | 1.09 | 4.82 | 74.2 | 292.0 |
| 41 | S | 0.937 | 6.52 | 15.8 | 349.0 |
| 41 | 2S | 1.26 | - | - | 334.0 |
| 25 | დაუმუშავებელი | 3.58 | 9.67 | 46.8 | 372.0 |
| 25 | K | 1.11 | 5.10 | 32.5 | 328.0 |
| 25 | S | 1.64 | 6.48 | 30.8 | 335.0 |
| ლიკანი | დაუმუშავებელი | 2.34 | 4.06 | 127.0 | 243.0 |
| ლიკანი | K | 0.738 | 2.26 | 56.8 | 206.0 |
| ლიკანი | S | 0.833 | 2.95 | 104 | 199.0 |
| ცენტ. პარკი | დაუმუშავებელი | 3.11 | 5.76 | 97.9 | 323.0 |
| ცენტ. | K | 0.875 | 3.91 | 71.8 | 289.0 |

| | | | | | |
|------------------------|---|------|------|----------|-----------|
| პარკი | | | | | |
| ცენტ. პარკი | S | 1.16 | 4.69 | 51.6 | 291.0 |
| დასაშვები დიაპაზონი | | <1 | <5 | 20 - 150 | 260 - 380 |

ქვემოთ მოყვანილია შემაჯამებელი ცხრილი 2. ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში საწყისი და დამუშავებული ბორჯომის მინერალური წყლის ქიმიური კომპონენტები რაოდენობრივი მაჩვენებლებით.

**ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში საწყისი და დამუშავებული
ბორჯომის მინერალური წყლის ქიმიური კომპონენტების
რაოდენობრივი მაჩვენებლები**

ცხრილი2

| ბურღილი | ტექნოლოგია | Ba, მგ/ლ | F, მგ/ლ | Ca, მგ/ლ | Cl, მგ/ლ |
|---------|---------------|-------------|---------|----------|--------------|
| 37 | დაუმუშავებელი | 3.27 | 5.26 | 51.7 | 386.0 |
| 37 | K | 1.23 | 3.58 | 25.5 | 340.0 |
| 37 | S | 0.958 | 3.84 | 38.5 | 347.0 |
| 41 | დაუმუშავებელი | 3.46 | 6.96 | 97.2 | 352.0 |
| 41 | K | 0.854 | 4.28 | 69.5 | 273.0 |
| 41 | S | 0.614 | 5.84 | 12.0 | 318.0 |
| 41 | 2S | 1.26 | - | - | 334.0 |
| 25 | დაუმუშავებელი | 3.58 | 9.67 | 46.8 | 372.0 |
| 25 | K | 0.973 | 4.57 | 29.2 | 305.0 |
| 25 | S | 1.23 | 5.77 | 24.2 | 328.0 |

| | | | | | |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|
| ლიკანი | დაუმუშავებელი | 2.34 | 4.06 | 127.0 | 243.0 |
| ლიკანი | K | 0.641 | 1.83 | 48.6 | 199.0 |
| ლიკანი | S | 0.780 | 2.72 | 97.6 | 194.0 |
| ცენტ. პარკი | დაუმუშავებელი | 3.11 | 5.76 | 97.9 | 323.0 |
| ცენტ. პარკი | K | 0.623 | 3.53 | 68.4 | 266.0 |
| ცენტ. პარკი | S | 0.996 | 4.50 | 49.1 | 285.0 |
| დასაშვები დიაპაზონი | | <1 | <5 | 20 - 150 | 260 - 380 |

ბარომეტრული პროცესების ოპტიმიზაციის მათემატიკური აღწერისა და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგინდა ტურბულენტური დინების უპირატესობა ლამინარულთან შედარებით. კერძოდ, სადაწნო საკანში ფილტრაციის სიჩქარისა და გაყოფის პროცესში კონცენტრაციული პოლარიზაციის მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ლამინარული და ტურბულენტური რეჟიმების პირობებში. აღნიშნული ასახულია ცხრილებში (1-2).

ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შერჩეული ტუმბოსთვის დაზუსტდა წარმადობისა და წნევის მაჩვენებლები ლამინარული და ტურბულენტური რეჟიმებისთვის. დადგინდა მემბრანული დანადგარის საცირკულაციო ნაკადის სიდიდე წინასწარ განსაზღვრული ტემპერატურისა და წნევის პირობებში. მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 1.

ლამინარული და ტურბულენტური რეჟიმების
პირობებში ფილტრატის რაოდენობრივი მნიშვნელობები
ცხრილი 1.

| dP ატმ. | J _L ლ/სთ | J _T ლ/სთ |
|------------|------------------------|------------------------|
| 0,3 | 102 | 145 |
| 0,4 | 180 | 270 |
| 0,5 | 240 | 320 |
| 0,6 | 286 | 370 |
| 0,7 | 340 | 405 |
| 0,8 | 390 | 460 |

მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ ბორჯომის მინერალური წყლის ნაწილობრივი დეფლორირება-დებარირება შესაძლებელია სხვადასხვა ხარისხობრივ დონეზე მიკრო-, ულტრა- და ნანოფილტრაციული პროცესების გამოყენებით სხვა ქიმიური კომპონენტების ზღვ-ს სტანდარტის დაცვით.

მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტში თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგად შეიქმნა ტანგენციალური ფილტრაციის პილოტური ნანოფილტრაციული მემბრანული დანადგარი, რომელიც მოცემულია სურათზე 14.

მემბრანული დანადგარი შედგება: საწარმოო წესით დამზადებული მემბრანული აპარატისგან, რომლის პლასტმასის დეტალები ჩამოსხმულია 250 გრ. მოცულობის თერმოპლასტაგტომატზე, ხოლო მილტუნები და მაკომპლექტებული დეტალები სახარატო და კოორდინატულ-შიგსაჩარხ დაზგებზე; ცენტრიდანული ტუმბოსგან Pedrollo Pump 8CPM, რომლის მაქსიმალური წნევა შეადგენს 6.8 ატმ.-ს, ხოლო წარმადობა 3500 ლ/სთ-ში. 10ლ-იანი პლასტმასის საცირკულაციო და 5ლ-იანი პერმეატის შესაგროვებელი მოცულობისგან; 6 ატმ.-იანი წნევის მზომისგან; პერმეატისა და რეტენტატის ნაკადის მარეგულირებელი ნახევარდუმიანი ვენტილებისგან; შემაერთებელი მაკომპლექტებული არმატურისა და 16-24 მმ. დიამეტრის მილებისგან.



სურათი 14. პილოტური (ნახევრადსაწარმოო) ნანოფილტრაციული მემბრანული დანადგარი.

ამრიგად, ჩატარებულ სამუშაოთა საფუძველზე მიღებულია შედეგები, რომელთა საფუძველზე გაკეთდა დასკვნები:

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის მოლეკულურ-იონური შედგენილობის რეგულაცია შესაძლებელია ბარომემბრანული პროცესების გამოყენებით, რაც დასტურდება იონომეტრული და ტურბიდიმეტრული კვლევის მეთოდებით, მინერალური წყლის მიზანმიმართული დეიონიზაციით გამოწვეული ქიმიური შედგენილობის ცვლილებით;

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის დამუშავებისთვის მიზანშეწონილია ბარომემბრანული პროცესების (მიკრო-, ულტრა-, ნანოფილტრაცია) ეტაპობრივი გამოყენება;

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის დამუშავება მოიცავს ოთხ ეტაპს, ესენია: 1.მექანიკური ფილტრაცია; 2.ულტრაფილტრაცია; 3.ნანოფილტრაცია; 4.ფინიშური-სტერილური მიკროფილტრაცია.

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის დამუშავების პირველ ეტაპზე მიზანშეწონილია სითხის დამუშავება 50-200 მკმ. ზომის ნაწილაკების მოცილების მიზნით, რისთვისაც დამუშავდა და დამზადდა 50 მკმ.-დან 300 მკმ.-მდე ზომის ნაწილაკების შემაკავებელი კარტრიჯული ტიპის რევერსული ხელსაწყო;

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის დამუშავების მეორე ეტაპი გულისხმობს ულტრაფილტრაციული პროცესის გამოყენებით სითხის სტერილიზაციას (მიკრობიოლოგიური დამუშავება), რომლის პარალელურად ხდება გრანულომეტრული დამუშავება 10-50 ნმ.-ის ზომის ნაწილაკების დიაპაზონში, რის შედეგადაც მინერალური წყლის საწყისი სიმღვრივე

ფორმაზინის ერთეულის მიხედვით 1.09-6.33 FTU დაყვანილია 0.09-0.10 FTU-მდე.

დამუშავდა ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის დეზარირება-დეფტორირების მემბრანული ნანოტექნოლოგია.

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის იონომეტრული მეთოდით ანალიზის შედეგად ბარიუმისა და ფთორის რაოდენობა ჭურდილების მიხედვით მერყეობს 2.34-3.58 მგ/ლ-სა (დასაშვები 1მგ/ლ) და 4.04-9.67 მგ/ლ-ს (დასაშვები 5მგ/ლ) შორის.

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის ნანოფილტრაციული პროცესის მეშვეობით დამუშავების შედეგად ჭურდილების მიხედვით ბარიუმი მერყეობს 0.738-დან 1.11მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორი 2.26-დან 5.10 მგ/ლ-მდე, რაც დასახული ამოცანის შესრულებას სრულად აკმაყოფილებს;

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის სტერილიზაციისა და შეწონილი ნაწილაკებისგან გაწმენდის მიზნით გამოყენებულ იქნა მე-5 თაობის ბრტყელსაკნიანი მემბრანული აპარატი, რომლისთვისაც შემუშავდა მინერალური წყლის ულტრაფილტრაციული გაყოფის პროცესის მათემატიკური მოდელი.

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის დეზარირება-დეფტორირების პროცესის ოპტიმიზაციისთვის დამუშავდა და შეიქმნა მე-5 თაობის ცხურიანი ბრტყელსაკნიანი მემბრანული აპარატი, რომლისთვისაც შემუშავდა მინერალური წყლის ულტრაფილტრაციული გაყოფის პროცესის მათემატიკური მოდელი;

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის იონომეტრული მეთოდით ანალიზის შედეგად კალციუმისა და ქლორის რაოდენობა ბურდილების მიხედვით მერყეობს 46.8-126.0 მგ/ლ-სა (დასაშვები დიაპაზონი 20-150 მგ/ლ) და 243.0-386.0 მგ/ლ-ს (დასაშვები დიაპაზონი 260.0-380.0 მგ/ლ) შორის.

ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის ნანოფილტრაციული პროცესის მეშვეობით დამუშავების შედეგად ბურდილების მიხედვით კალციუმის რაოდენობა მერყეობს 32.5-დან 74.2მგ/ლ-მდე, ხოლო ქლორის 206-დან 372-მგ/ლ-მდე, რაც დასახული ამოცანის შესრულებას სრულად აკმაყოფილებს;

დამუშავდა ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის ფილტრაციის მექანიკური-, ულტრა- და ნანოფილტრაციული სრულად ავტომატიზირებული მემბრანული დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა.

| | | | |
|---|---|----------------|---|
| 3 | <p>თემა 3. აცეტატცელულოზური პოლიმერული კომპოზიციების ფაზური ინვერსიის პროცესის კვლევა;</p> <p>ქიმია და ქიმიური</p> | ნ. გოგესაშვილი | <p>ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავების განყოფილება. განყოფილების უფროსი-</p> <p>ნ. გოგესაშვილი</p> |
|---|---|----------------|---|

| | | | |
|---|---|----------------|--|
| | ტექნოლოგია უდკ 66.081.6, 678.744 | | |
| 4 | თემა 4. პოლიმერული მასალების გამსხნელი-არაგამსხნელი სისტემის კვლევა; ქიმია და ქიმიური ტექნოლოგია, უდკ 66.081,6, 678.744 | ნ. გოგესაშვილი | ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავების განყოფილება. განყოფილების უფროსი- ნ. გოგესაშვილი |

თემა 3. პროექტის ფარგლებში ჩატარებულია კვლევები სასურველი თვისებების მქონე მიკროფილტრაციული მემბრანების შესაქმნელად ფაზური ინვერსიის პროცესით. მემბრანების მოსამზადებლად გამოყენებული იყო დიაცეტატცელულოზა, რომლის ეთერიფიკაციის ხარისხი შეადგენდა $\gamma = 250-270$, ხოლო ჩანაცვლების ხარისხი 2,5- 2,7.

დიაცეტატცელულოზას საშუალო სიბლანტური მოლეკულური მასა გაანგარიშებულ იქნა მარკ-კუნ-ჰაუენკის განტოლების გამოყენებით: $[\eta] = k \times M_n^a$. k და a განსაზღვრულ იქნა ცნობილი მეთოდიკით: $k=0,8 \times 10^{-4}$, $a=0,78$. დიაცეტატცელულოზისგან დამზადებული ხსნარების მახასიათებლები მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

| | | | |
|---------------------------------------|----|----|----|
| დიაცეტატცელულოზას კონცენტრაცია, მას.% | 5 | 6 | 7 |
| დიმეთილაცეტამიდის კონცენტრაცია, მას.% | 94 | 92 | 90 |
| ლითიუმის ქლორიდის კონცენტრაცია, მას.% | 1 | 2 | 3 |

ცხრილი 1

დიაცეტატცელულოზას გახსნისთვის გამოვიყენეთ აპროტონული ნივთიერება დიმეთილაცეტამიდი, რომლითაც შესაძლებელია მაღალფოროვანი სტრუქტურის მქონე მემბრანების მიღება. დიმეთილაცეტამიდში წინასწარ გახსნილი იყო ლითიუმის ქლორიდი, რომელიც გარდა იმისა, რომ გახსნის პროცესს უწყობს ხელს, აცეტატცელულოზებისთვის გვევლინება, როგორც ფორწარმომქმნელი აგენტი, რადგან იგი იწვევს პოლიმერული ხსნარის სტრუქტურის ცვლილებასაც.

მომზადებული მაფორმირებელი ხსნარების ფაზური ინვერსიის პროცესის შესწავლას ვაწარმოებდით ინსტიტუტში შექმნილ ავტომოტორიზებულ ლაბორატორიულ დანადგარზე.

(სურ.1)



სურათი 1. ფაზური ინვერსიის დანადგარი

სურათი 2. დიაცეტატცელულოზური მემბრანა (×5000)

აღნიშნულ დანადგარზე შესაძლებელია ფაზური ინვერსიის პროცესის მიმდინარეობაზე ისეთი პარამეტრების გავლენის შესწავლა, როგორცაა საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურა, ფუქერის აბაზანაში ჩაშვების სიჩქარე და ჩაშვების კუთხე. საკვლევი ნიმუშები მომზადდნენ იქნა ლაბორატორიულ ფილერზე. ყველა ნიმუშის სისქე იყო 0,1მმ. გამოლექვის პროცესი ჩატარებულია წყლიან აბაზანაში სამ ტემპერატურულ რეჟიმზე (20°C, 30°C, 40°C). აბაზანაში ჩაშვების კუთხისთვისაც არჩეული იყო სამი მნიშვნელობა 10°, 45°, 80°, ხოლო აბაზანაში ნიმუშის ჩაშვების სიჩქარე იყო 200-300მმ/წთ. ნიმუშების ჩაშვება აბაზანაში ხდებოდა ნიმუშის ნაწილობრივი აორთქლების გარეშე. ჩატარებული ექსპერიმენტების პირობები და მახასიათებლები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

| | დიაცეტატცელულოზის კონცენტრაცია, მას. % | აბაზანაში ჩაშვების კუთხე, ° | აბაზანაში ჩაშვების სიჩქარე მმ/წთ | აბაზანის ტემპერატურა, °C | ხვედრითი წარმადობა ლ/მ ² სთ |
|---|--|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------|--|
| 1 | 5 | 10 | 300 | 20 | 70 |
| 2 | 5 | 45 | 200 | 30 | 160 |
| 3 | 5 | 80 | 200 | 40 | 100 |
| 4 | 7 | 10 | 300 | 20 | 50 |
| 5 | 7 | 45 | 200 | 30 | 80 |
| 6 | 7 | 80 | 200 | 30 | 40 |

ცხრილი 2. ფაზური ინვერსიის ჩატარების პირობები და მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები

ჩატარებული ექსპერიმენტებიდან გამოიკვეთა, რომ აბაზანაში თითქმის ყველა ნიმუშის 80°-იანი კუთხით აღნიშნულ ტემპერატურებზე და 300მმ/წთ სიჩქარით ჩაშვებისას ადგეზია ხდება სწრაფად, რის გამოც მიღებული აპკები შეიცავენ დეფექტს. სწრაფი ადგეზიის გამო ამ პირობებში გელი ვერ ასწრებს ტრანსფორმაციას და ფორების წარმოქმნას. ნაწილობრივ ეს გამოწვეულია იმით, რომ წყლის მოლეკულები მთლიანად ვერ

ჩაენაცვლებიან გამსხნელის მოლეკულებს. ნიმუშების აბაზანაში 10⁰-იანი კუთხით ჩაშვებისას ადგეზია მიდის ნელა, მაგრამ ამ შემთხვევაში მიიღება არაერთგვაროვანი სტრუქტურული წარმონაქმნების მქონე მასალები იშვიათი ფორმებით.

ვიზუალურად უკეთესი მემბრანები მიიღება ნიმუშების აბაზანაში 45⁰-იანი კუთხით ჩაშვებისას.

ექსპერიმენტის შედეგები მიღებული მემბრანების ციფრულ კამერიან მიკროსკოპზე (x5000) კვლევაშიც დაადასტურა . სურათი 2-ზე მოცემულია მემბრანის მიკროსურათი, რომელიც მიღებულია პოლიმერის 5%-იანი ხსნარიდან ფუქემრის აბაზანაში 45⁰-იანი კუთხით და 200მმ/წთ სიჩქარით ჩაშვებისას, როდესაც აბაზანის ტემპერატურა იყო 30⁰С.

შესწავლილია ფაზური ინვერსიის განსხვავებულ პირობებში ჩატარებისას მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები. შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში. როგორც ცხრილიდან ჩანს, პოლიმერის კონცენტრაციისა და აბაზანის ტემპერატურის გაზრდით მემბრანების ხვედრითი წარმადობები მცირდება.

ინსტიტუტში შექმნილ ბუშტულაკის წერტილის წარმოქმნის განმსაზღვრელ ხელსაწყოზე დადგენილია მიღებული მემბრანების ფორის ზომები. ზოგიერთი მემბრანის ფორის ზომა შეადგენს 0,3-045მკმ.

ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ინსტიტუტში შექმნილი ლაბორატორიული ავტომატორიზებული დანადგარი წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას ფაზური ინვერსიის პროცესის დეტალურად შესასწავლად.

თემა 4. აღნიშნული პროექტის მიზანი იყო მიკროფილტრაციული მემბრანების მომზადებისას გამოყენებული პოლიმერისათვის გამსხნელი/არაგამსხნელის სისტემის შერჩევა, რადგან გამსხნელი-არაგამსხნელის სისტემის შერჩევა განსაზღვრავს ფაზური ინვერსიის პროცესის ,როგორც მიმდინარეობის სიჩქარეს, ასევე იმასაც თუ რა ტიპის მემბრანა იქნება მიღებული,

პოლიმერებისა და წყლის ან რომელიმე სხვა არაგამსხნელის შერევისას მიღებული ხსნარების თვისებები განსხვავდება იდეალური ხსნარების თვისებებისგან მათში დიპოლ-დიპოლური და წყალბადური ბმების არსებობის გამო. მიტომ, შერევის თავისუფალი ენერჯის ფორმულას პოლიმერთა ხსნარებისათვის აქვს შემდეგი სახე:

$\Delta G_m = x_1 \ln \phi_1 + x_2 \ln \phi_2 + g_{12}(\phi) x_1 \phi_2$, სადაც ϕ და x ბინარული სისტემის მოცულობითი და მოლური წილებია, ხოლო პარამეტრი g_{12} განიხილება როგორც შერევის თავისუფალი ენერჯია, რომელიც შეიცავს ენთალპიურ და ენტროპიულ მახასიათებლებს.

ხშირ შემთხვევაში აღნიშნული თერმოდინამიკური პარამეტრების ცვლილების საფუძველზე არ შეიძლება მემბრანების თვისებების განსაზღვრა, რადგან ექსპერიმენტებით განსხვავებული შედეგები მიიღება. ამიტომ, გამსხნელი/არაგამსხნელის სისტემის შერჩევის მიზნით, ჩვენს მიერ ჩატარებულია კვლევები აცეტატცელულოზას(აც) 5-10%-იანი კონცენტრაციის ხსნარებზე სხვადასხვა გამსხნელი/არაგამსხნელის სისტემაში. მე-2 ცხრილში მოცემულია აღნიშნული ხსნარების შედგენილობები.

| პოლიმერი | კონცენტრაცია | გამსხნელი | არაგამსხნელი |
|----------|--------------|------------------|--------------|
| აც | 5 | ლიოქსანი | წყალი |
| აც | 10 | ლიოქსანი | წყალი |
| აც | 5 | აცეტონი | წყალი |
| აც | 10 | აცეტონი | წყალი |
| აც | 5 | დიმეთილაცეტამიდი | წყალი |
| აც | 10 | დიმეთილაცეტამიდი | წყალი |

ცხრილი 2. აცეტატცელულოზას ხსნარების შედგენილობები

გამოლექვის პროცესის შესწავლამ აჩვენა, რომ დმაა/წყლის შემთხვევაში ფაზური ინვერსიის პროცესი წარიმართება წამიერად, ხოლო აცეტონი/წყლის და ლიოქსანი/წყლის შემთხვევაში დაგვიანებით. ამასთანავე, განსხვავება აც-ს 5%-იან და 10%-იან ხსნარების გამოლექვისას დროში იყო ძალიან მცირე. შესწავლილია აცეტატცელულოზას ხსნარის ფაზური ინვერსია დმაა/წყლის შემთხვევაში, როცა წყალში დამატებული იყო 40% დმაა. არაგამსხნელში გამსხნელის დიმეთილაცეტამიდის დამატებამ გამოიწვია ფაზური დაყოფის პროცესის შენელება.

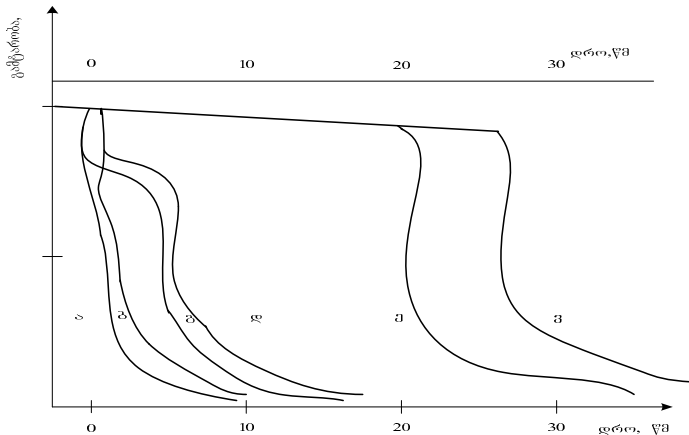
ფაზური ინვერსიის პროცესის მექანიზმის დასადგენად და გამსხნელი/არაგამსხნელის შერჩევის მიზნით ჩვენს მიერ ასევე გამოყენებული იყო შუქგამტარობის განსაზღვრის მეთოდი. ამ მიზნით ჩატარებულია კვლევები აცეტატცელულოზას 10%-იანი ხსნარის სხვადასხვა გამსხნელი/არაგამსხნელის სისტემისთვის (ცხრილი 3).

პროცესზე დაკვირვება ხდებოდა, როგორც ვიზუალურად, ასევე შუქგამტარობის ხელსაწყოს დახმარებით. აცეტონი/წყლის და აცეტონი/წყალი/პროპანოლის შემთხვევაში ფაზური დაყოფის პროცესი მიმდინარეობდა დაგვიანებით. ხოლო პოლიმერის დიმეთილფორმამიდის და დიმეთილაცეტამიდის ხსნარების გამოლექვის პროცესი წყალში წარიმართა წამიერად, მაგრამ წყალი/პროპანოლის ნარევიში მცირე დაგვიანებით.

| № | პოლიმერი | გამსხნელი | არაგამსხნელი |
|---|----------|------------------|-----------------|
| 1 | აც | აცეტონი | წყალი |
| 2 | აც | აცეტონე | წყალი/პროპანოლი |
| 3 | აც | დიმეთილფორმამიდი | წყალი |
| 4 | აც | დიმეთილფორმამიდი | წყალი/პროპანოლი |
| 5 | აც | დიმეთილაცეტამიდი | წყალი |

| | | | |
|---|-----|------------------|-----------------|
| 6 | ა ც | დიმეთილაცეტამიდი | წყალი/პროპანოლი |
|---|-----|------------------|-----------------|

ცხრილი 2. ატაქცელულოზა/გამხსნელი/არაგამხსნელის სისტემები.
ანალოგიურ დასკვნამდე მივყავით შუქგამტარობის მონაცემების დამუშავების შემდეგ (სურ.1)



სურათი 1. შუქგამტარობის მრუდები

სურათზე 1, ა და ბ მრუდები შეესაბამება აც/დმფ/წყალი და აც/დმაა/წყალი სისტემებს, როცა კოაგულაცია წარიმართება წამიერად, გ და დ მრუდები შეესაბამება აც/დმფ/წყალი/პროპანოლი და აც/დმაა/წყალი/პროპანოლი სისტემებს, როცა წყალთან შერეულია პროპანოლი და კოაგულაცია უმნიშვნელო დროით იგვიანებს, ხოლო ე და ვ მრუდებით აღიწერება ფაზური ინვერსია დაგვიანებით აც/აცეტონი/წყალი და აც/აცეტონი/წყალი/პროპანოლი სისტემებისათვის, როცა არაგამხსნელად გამოყენებულია აცეტონი და აცეტონი/წყლის ნარევი. შესწავლილია მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები (ცხრილი 3).

| პოლიმერი | გამხსნელი | არაგამხსნელი | ხვ.წარმადობა ლ/მ ² . სთ |
|----------|-----------|-----------------|---------------------------------------|
| ა ც | დმფ | წყალი | 120 |
| ა ც | დმფ | წყალი/პროპანოლი | 50 |
| ა ც | დმაა | წყალი | 130 |
| ა ც | დმაა | წყალი/პროპანოლი | 70 |

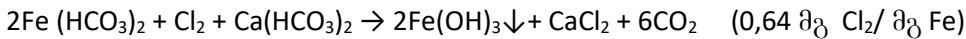
ცხრილი 3. აც-ს სხვადასხვა სისტემიდან მიღებული მემბრანების წარმადობები.
ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგენილია, რომ: აცეტაქცელულოზას ბაზაზე ფოროვანი მემბრანების მისაღებად გამხსნელი-არაგამხსნელის სისტემებად დმფ/წყლის და დმაა/წყლის არჩევის შემთხვევაში მიიღება ფოროვანი და მაღალი

| | | | |
|---|--|----------------|--|
| <p>წარმადობის მემბრანები და რომ ფაზური ინვერსიის პროცესში არაგამსწნელში (წყალში) 40% დამა-ის დამატება იწვევს ფაზური ინვერსიის პროცესის შენელებას.</p> | | | |
| 5 | <p>თემა 5. ბუნებრივ წყალში არსებული ქლორშემცველი ნივთიერებები.</p> <p>ქიმია და მეცნიერება; მემბრანული პროცესების კვლევა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავება</p> | მ. კეჟერაშვილი | <p>მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება.</p> <p>განყოფილების უფროსი- მ. კეჟერაშვილი</p> |
| 6 | <p>თემა 6. მემბრანული ტექნოლოგიები ბუნებრივი წყლის ხარისხის გასაუმჯობესებლად”.</p> <p>ქიმია და მეცნიერება; მემბრანული პროცესების კვლევა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავება</p> | მ. კეჟერაშვილი | <p>მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება.</p> <p>განყოფილების უფროსი- მ. კეჟერაშვილი</p> |
| <p>თემა 5. წყალში ბუნებრივი და ტექნოლოგიური დამაბინძურებლების განსაზღვრა დღეისთვის მსოფლიოს მასშტაბით წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას, რადგან ეს ნივთიერებები დიდი ტოქსიკურობით გამოირჩევიან და მათი მომეტებული რაოდენობა წყალში საფრთხეს წარმოადგენს ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმისთვის. ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა იმის დადგენა, გაგვეჩვენა თუ რა სახითაა ქლორშემცველი ნივთიერებები წყალში, როგორია მათი რაოდენობა და როგორ შეიძლება შემცირდეს მათი რაოდენობა. წყალში ქლორი შემდეგი სახითაა: აქტიური ქლორი - ეს არის ქლორი ქიმიური ნაერთების შემადგენლობაში. ნარჩენი ქლორი-ქლორი, რომელიც წყალში რჩება დაქლორვის შემდეგ და წყალში არსებული ნივთიერებების დაჟანგვის შემდეგ. ის შეიძლება იყოს ქლორის სხვადასხვა ფორმა: თავისუფალი ან დაკავშირებული. თავისუფალი ქლორი-ეს არის ნარჩენი ქლორის ნაწილი, რომელიც შეიძლება იყოს HClO-ის, OCl-ისა და ელემენტარული ქლორის სახით. დაკავშირებული ქლორი-ესეც ნარჩენი ქლორის ნაწილია, რომელიც წყალში არსებობს არაორგანული და ორგანული ქლორამინების სახით. HOCl და OCl-ს გააჩნიათ ბაქტერიციდული თვისება. მათ გააჩნიათ უნარი შეაღწიოს ბაქტერიის უჯრედების მემბრანაში და ზემოქმედება მოახდინონ მათზე.</p> | | | |

სინათლის ზემოქმედებით მიმდინარეობს შემდეგი პროცესი:

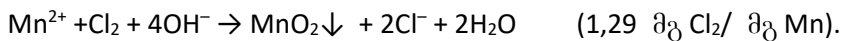
$2\text{HClO} \rightarrow 2\text{O}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{O}_2 + \text{HCl}$ წარმოიქმნება სინგლეტური (ატომარული) ჟანგბადი, რომელიც არის უძლიერესი დამჟანგავი. ყველა ეს ნაერთი ურთიერთქმედებენ წყალში არსებულ აღმდგენელებთან, მაგალითად:

(Fe^{2+}), რომელიც ბიკარბონატის სახითაა წყალში, გარდაიქმნება სამვალენტო რკინად:

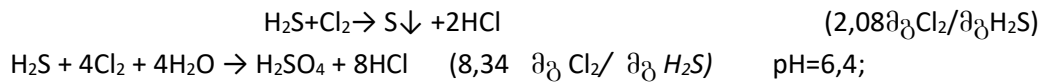


არაორგანული რკინისთვის ეს რეაქცია მყისიერად მიმდინარეობს, ხოლო რკინის ორგანულ კომპლექსებთან რეაქცია შენელებულია.

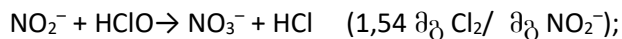
(Mn^{2+}), რომელიც წყალში ორვალენტია, იჟანგება $\text{MnO}_2\downarrow$ -მდე:



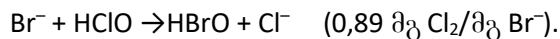
(S^{2-}), სულფიდებთან ურთიერთქმედებს pH-ის მიხედვით, მიიღება გოგირდი ან გოგირდშუკა:



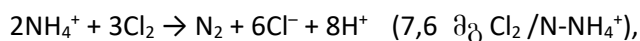
(NO_2^-) ნიტრიტებთან:



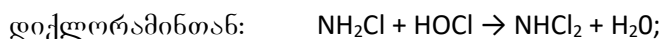
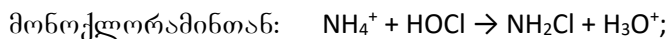
(Br^-) ბრომიდებთან:



(NH_4^+) ამონიუმთან:



ამ რეაქციას რთული მექანიზმი აქვს:



ქლორშემცველი ნაერთების უმრავლესობა მაღალი ლიპოფილურობით გამოირჩევა, რის გამოც ისინი ადვილად გადიან უჯრედის მემბრანულ ბარიერს და თითქმის დაუბრკოლებლად აღწევენ სხვადასხვა ორგანოებში, მათ შორის უჯრედის ბირთვში და შეუქცევად ცვლილებებს იწვევენ. ქლორორგანული დამბინძურებლებიდან ყველაზე მაღალი ტოქსიკურობით დიოქსინები გამოირჩევიან (Fokin, Kolomiets 1985). ნახშირწყალბადების წარმოებულებიდან აღსანიშნავია ქლორჩანაცვლებული ალკანები და ალკენები, მათი წყალში ხსნადობა გაცილებით უფრო მაღალია, ვიდრე შესაბამისი ნახშირწყალბადების. ეს

ნივთიერებებია: ტეტრაქლორმეთანი, დიქლორმეთანი, ქლოროფორმი, ვინილქლორიდი, ტრიქლორეთილენი და ა.შ. (Korte et al.,1992). ტრიქლორმეთანის მეტაბოლიზმის შედეგად ორგანიზმში წარმოიქმნება ქლოროფორმი და ქლორბენზოლი, რომლის შემდგომი გარდაქმნით მიიღება ფენოლები (პიროკატეხინი, ჰიდროქინონი) და ქლორფენოლი. ეს პროცესები ცოცხალი ორგანიზმებისთვის იმდენად მაღალი რისკის მატარებელია, რომ 1,2-დიქლორეთანის მეტაბოლიზმს „ლეტალურ სინთეზს“ უწოდებენ, რადგან ამ დროს მიიღება მაღალრეაქციული მეტაბოლიტები, რომლებიც შეუქცევადად უერთდებიან დნმ-ს. ადამიანის ჯანმრთელობისთვის საფრთხეს წარმოადგენს ღვიძლში მიმდინარე ტეტრაქლორმეთანის და დიქლორმმარმქავას გარდაქმნის პროდუქტები. ქლორის ეს ნაწარმი ცვლის ქოლესტერინის მეტაბოლიზმს (Smeltzer, Bare). ღვიძლზე ტოქსიკურ ზემოქმედებას ახდენს ასევე ქლორირებული ალკენებიც, მაგალითად: ტრიქლორეთილენი. ქლოროფორმი ასტიმულირებს თავისუფალი რადიკალების წარმოქმნას (ნაადრევი სიბერის მიზეზი), იწვევს ნორმალური უჯრედების მუტაციას და განაპირობებს ჭარბად ქოლესტერინის წარმოქმნას. ამერიკის ჯანდაცვის ორგანიზაციის მიერ დადგინდა, რომ მთლიანად დაფიქსირებულ სიმსივნეებიდან ქლორშემცველი ნივთიერებებით გამოწვეული შემთხვევებში 9% მოდის შარდის ბუშტის სიმსივნეზე და 15% სწორი ნაწლავის სიმსივნეზე.

მიკროფილტრაციული მემბრანული აპარატის გამოყენებით შესაძლებელია მავნე ქლორშემცველი ნივთიერებების რაოდენობის შემცირება მოლეკულისა და იონის დონეზე.



სურათი 1



სურათი 2

ქლორის მაჩვენებელი დამუშავებამდე ქლორის მაჩვენებელი დამუშავების შემდეგ

ამ მიზნით, ჩვენს მიერ სხვადასხვა მოდელური ხსნარების მაგალითზე განსაზღვრული იქნა ქლორის რაოდენობა ბუნებრივ წყალში (იონომერი N-160) და დადგენილი იქნა, რომ მიკროფილტრაციული მემბრანული აპარატის გამოყენებით შესაძლებელია ქლორის რაოდენობის შემცირება ბუნებრივ წყლებში.

თემა 6. სასმელი წყალი შეიძლება შეიცავდეს ძალიან ბევრ მავნე ნივთიერებას, წვრილდისპერსულ და კოლოიდურ მინარევებს, ორგანულ და არაორგანულ ნაერთებს, ბაქტერიებს (0,5-10 მკმ), რიკეტსიებს-უმცირესი ზომის უჯრედოვანი ჩხირები (0,4-1,0 მკმ), ვირუსებს-მიკროორგანიზმები ზომით 20-400 ნმ, სოკოს-მცენარეული წარმოშობის ერთი ან მრავალუჯრედიანი მიკროორგანიზმები ზომით 3-50 მკმ, კოლოიდური ნაწილაკებს ზომით

200-400 ნმ, დალექვის სიჩქარე 1მ-ზე 4 წელი, თიხას (პუდრი), ზომით 500-2006მ, დალექვის სიჩქარე 0.5-2 თვე, ლამს, ზომით 27X103-5X104, დალექვის სიჩქარე 10-30წთ, ქვიშას (მსხვილი), ზომით 5X106, დალექვის სიჩქარე 10წმ, ქვიშა (წვრილი), ზომით 10⁵, დალექვის სიჩქარე 2.5 წთ, მძიმე მეტალებს, სხვადასხვა იონებს და ა.შ.

ჩვენი კვლევის მიზანია დაგვედგინა, რამდენად არის შესაძლებელი ამ ნივთიერებების მოხვედრა ცოცხალ ორგანიზმებში კანის ფორების საშუალებით. ამ მიზნით შევისწავლეთ კანის სტრუქტურა და მისი ფორები ნანოზომებში. აღგენილია, რომ ეპიდერმისში ჩვეულებრივ კანის იმ ფენას გულისხმობენ, რაც გარედან ჩანს. სწორედ ეს ფენა არის საინტერესო ნივთიერებების ზემოქმედებისათვის, რადგან დანარჩენ ფენებში ნივთიერებების მოხვედრა მხოლოდ ინექციის საშუალებით არის შესაძლებელი. ზემოთ ჩამოთვლილი ნივთიერებები ორგანიზმში რომ მოხვდნენ, უნდა გაიარონ ეპიდერმისისა და დერმის ცოცხალი უჯრედები. უჯრედები ერთმანეთთან იმ მანძილზე იმყოფებიან, რომელთა ზომები არის მილიმეტრის მემილიონედი ნაწილი. მაშასადამე, იმისთვის, რომ ნივთიერების მოლეკულამ კანის შიგნით შეადწიოს, 1) უნდა იხსნებოდეს ცხიმში 2) უნდა დაარღვიოს კანის ეპიდერმისული ბარიერი. კანის სიმშრალის დროს რქოვანის ფენაში წყლის რაოდენობა კლებულობს, რაც აზიანებს მის სტრუქტურას, არღვევს კანის ბარიერულ თვისებებს, კანის შიდა ფენა ხდება ნაკლებად ეფექტური ბარიერი ნივთიერებების შეღწევისთვის, რის შედეგადაც კანში ადვილად შეადწევს წყალში არსებული შეწონილი წვრილდისპერსიული ნაწილაკები, (ქვიშა, თიხა (პუდრი), ლამი, რომელთა დალექვის სიჩქარე ბევრად აღემატება შხაპის მიღების ხანგრძლივობას, რაც ზრდის მათი მოხვედრის ალბათობას ორგანიზმში კანის საშუალებით. ასევე მნიშვნელოვანია, რომ სხვადასხვა ქიმიური აგრესიული ნივთიერებების (მაგ.; მაღალტოქსიკური ქლოროფორმი, ტრიქლორეთილენი და სხვ.), რაოდენობა წყლის გაცხელებისას მატულობს. დიფუზია ძლიერდება, რადგან წყლის მომატებული ტემპერატურა პროპორციულად აძლიერებს კანის აბსორბციის (შთანთქმის) უნარს. ასე მაგალითად, ცხელი წყლით დუშის მიღების დროს ჰაერში წყლიდან გადაადის ქლოროფორმის 50% და ტრიქლორეთილენის 80%. კვლევებმა აჩვენა, რომ 10 წუთიანი შხაპის მიღების დროს ორგანიზმი იღებს იმდენ ტოქსიკურ ქლორშემცველ ნივთიერებას, რამდენსაც მიიღებდა 6 ჰიქა წყლის დალექვის შემთხვევაში. აუზში 30 წუთის ცურვის შემდეგ ბიომარკერებმა დაადასტურეს ეს ცვლილებები. სისხლის ლიმფოციტებში გაიზარდა მიკრობირთვების რაოდენობა, რაც მიუთითებს ქრომოსომების დაზიანებაზე. (ჟურნალი „Environmental Health Perspectives“). ჟურნალი „TOXICAL IND HEALTH“ (აშშ) აქვეყნებს მონაცემებს, რომ ცხელ წყალში ტრიჰალოგენმეთანის რაოდენობა 50-ჯერ აღემატება რაოდენობას, რომელიც ცივ წყალშია. ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ დახურულ საცურაო აუზში ქლორიანი წყლით ბანაობისას ჰაერიდან ადამიანის სხეულში შედის 76-78% ქლოროფორმი, ხოლო კანის საშუალებით 22-24% ქლოროფორმი, მაშინაც კი, როდესაც წყალი შეესაბამება დადგენილ ხარისხის ნორმებს. თბილი წყალი ხსნის კანის ფორებს, ის ემსგავსება ღრუბელს და შთანთქავს სხვადასხვა ზომის შეწონილ ნაწილაკებს, როგორცაა ქვიშა (მსხვილი და წვრილი), სილა და თიხა, რომელთა ნანოზომები ბევრად მცირეა კანის ფორების ზომებზე. კარგად შეღწევადი დაბალმოლეკულური ლიპოფილური ნივთიერებები კანში შეადწევს ძირითადად ტრანსეპიდერმისული გზით, უფრო ნაკლებად რქოვანას გარსისა და საოფლე ჯირკვლების საშუალებით. ხოლო ნივთიერებებისთვის, რომლებიც ნელა შეიწოვება კანის საფარის მიერ, ორგანიზმში შეღწევის უპირველესი გზა

არის თმოვანი ფოლიკულები, შემდეგ ცხიმოვანი და საოფლე ჯირკვლები. რეზორფციის უნარის სინქარე დამოკიდებულია შემდეგ ძირითად ფაქტორებზე: ნივთიერების თვისებებზე და აგრეგატულ მდგომარეობაზე; მის დოზასა და კონცენტრაციაზე; კანსა და ნივთიერებას შორის კონტაქტის ხანგრძლივობაზე;

მიღებული კვლევის შედეგების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ აქამდე სათანადოდ არ იყო შეფასებული ის საშიშროება, რომელიც შეიძლება მიიღოს ადამიანმა აბაზანის, შხაპის მიღების ან საცურაო აუზში ცურვის დროს. უახლესი შეხედულებებით, კანი არ წარმოადგენს აბსოლიტურ ბარიერს იმისათვის, რომ მისი საშუალებით ორგანიზმში არ შეაღწიოს მავნე, ტოქსიკურმა ნივთიერებებმა. წარმოდგენები იმის შესახებ, რომ წყალ-ლიპიდური მანტია და რქოვანის ფენა ითვლებოდა ამ ნივთიერებებისთვის გაუმტარ ბარიერედ, თანამედროვე შეხედულებით მცდარად ითვლება.

მიკროფილტრაციული მემბრანული აპარატები წარმატებით უმკლავებიან დაბალმოლეკულურ ჰუმინურ ნივთიერებებს, რომლებიც წყალს მოყვითალო შეფერილობას აძლევენ, აუარესებს მის გემოვნურ თვისებებს და რომელთა მოცილებაც სხვა მეთოდებით არის საკმაოდ ძნელი ან შეუძლებელი. ჩვენს მიერ, შესწავლილ იქნა სხვადასხვა წარმოშობის ბუნებრივი წყლები. ლაბორატორიულ სიმღვრივის მზომზე (TURB 555 IR) განსაზღვრული იქნა მათი სიმღვრივეები. შემდეგ კი ეს წყლები გაფილტრულ იქნა მიკროფილტრაციული აპარატის საშუალებით, შემდეგ კი შემოწმებული იქნა მათი სიმღვრივის მნიშვნელობები, ზოგიერთი მონაცემი მოტანილია სურათზე:



სურათი 3



სურათი 4

გამჭირვალობის მაჩვენებელი დამუშავებამდე გამჭირვალობის მაჩვენებელი დამუშავების შემდეგ

მიკროფილტრაციული მემბრანული აპარატები ასევე ეფექტურია ისეთი წყლის გასასუფთავებლად, რომელშიც რკინის კონცენტრაცია 20 მგ/ლ-მდეა, მაშინ როცა ალტერნატიული მეთოდები აზრს კარგავენ წყალში რკინის 10 მგ/ლ შემცველობაზეც კი. წყალი, გაივლის რა მემბრანაში, 100%-ით თავისუფლდება და პრაქტიკულად აღარ შეიცავს ბაქტერიებს, სოკოებს, კოლოიდური ნაწილაკებს, თიხას (პუდრი), ლამს, ქვიშას. მემბრანული ტექნოლოგიებით შესაძლებელია ცისფერი წყლის მიღება, რომელშიც შენარჩუნებულია ორგანიზმისათვის საჭირო ყველა მიკროელემენტი და ბუნებრივი გემო.

| | | | |
|---|---|-------------|---------------------------------------|
| 7 | თემა 7. ულტრა- და ნანოფილტრაციის საშუალებით თბილისის მიწისქვეშა წყლების | ე. კაკაბაძე | ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ლაბორატორია. |
|---|---|-------------|---------------------------------------|

| | | | |
|---|--|------------|---|
| | ტექნიკურ წყლად გამოყენების შესაძლებლობები; ანალიზური ქიმია, გარემოს ქიმია | | ლაბორატორიის უფროსი- ეკაკაბაძე |
| 8 | თემა 8. ქალაქის გარემოს მძიმე ლითონებით დაბინძურების მონიტორინგი. გარემოს დაცვა და საინჟინრო ეკოლოგია; გარემოს ობიექტების მონიტორინგი. | ნ. მუმლაძე | ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ლაბორატორია. ლაბორატორიის უფროსი- ეკაკაბაძე |

თემა 7. წყალს, როგორც ბუნებრივ რესურსს, საქართველოს ენერგეტიკისა და ბუნებრივი რესურსების მართვის საქმეში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია, მიუხედავად ამისა, საკმაოდ მოიკოჭლებს საკითხი წყლის რესურსების ათვისების პროექტების შესახებ.

ჩვენი ყურადღება მიიპყრო თბილისის ტექნიკური, არტეზიული და თერმული მიწისქვეშა წყლების დინამიკის შესწავლამ, იმ მარტივი მიზეზის გამო, რომ არტეზიული მიწისქვეშა წყლები მიწისზედა წყლებზე გაცილებით ეკოლოგიურად სუფთაა და წყლის მზარდი დეფიციტის შევსების საკმაოდ რეალური ფაქტორია.

ქალაქ თბილისის მიწისქვეშა წყლების საკითხის შესწავლისას ყურადღება მისაქცევია ის ფაქტი, რომ გრუნტის წყლები შედგენილობის მიხედვით ჩ 3 – შ 4 – ჩა და შ 4 – ჩ 3 – ჩა (მინერალიზაციით 3 გ/ლ), შ 4 - ჩა – გ (მინერალიზაციით 7 გ/ლ) და შ 4 – ა – ჩა (მინერალიზაციით 10 გ/ლ) ქიმიური ტიპებითაა წარმოდგენილი, რომელთა მინერალიზაციის ზრდა ძირითადად სულფატების ხარჯზე ხდება. სულფატ-იონი ბუნებრივი წყლების ერთერთი მთავარი იონია, რომელიც განსაზღვრავს წყლის ტიპს. მიუხედავად იმისა, რომ იგი არ მიეკუთვნება ტოქსიკურ ნივთიერებათა ჯგუფს, მისი შემცველობა სასმელ წყლებში ნორმირებულია. კერძოდ, სულფატების შემცველობა უნდა იყოს არა უმეტეს 250 მგ/ლ - ისა.

მიწისქვეშა წყლების შედგენილობის ფორმირებაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს წყალში ხსნადი მინერალების გამოტუტვის პროდუქტები. თაბაშირიანი ქანების გამორეცხვით უნდა აიხსნას სულფატ-იონის მაღალი შემცველობა 1300 მგ/ლ - მდე. ასეთი სულფატური წყლები ფართოდაა გავრცელებული თბილისის მიდამოებში, კერძოდ: ბარათაშვილის აღმართი, ნუცუბიძის პლატო, ბახტრიონის ქუჩა, ავლაბარი, სამგორი, დიდმის ტერიტორია, მარტყოფი. სწორედ თაბაშირიანი ქანების გამორეცხვის შედეგია კლდოვანი და ნახევრადკლდოვანი ქანების გაშიშვლებები, რომლებიც დაიკვირვება ქალაქის გარშემო მთების ფერდობებზე.

კვლევის მიზანს შეადგენდა თბილისის მიწისქვეშა წყლის სინჯებში სულფატ-იონის განსაზღვრა და ამგვარი წყლების გამოყენების პერსპექტივაზე შესაბამისი დასკვნების

გაკეთება.

მიწისქვეშა წყლების სინჯები აღებული იქნა ჭაბურღილებიდან და მათში განისაზღვრა სულფატ-იონის შემცველობა ტურბიდიმეტრული მათოდით. შედეგები მოტანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

| ობიექტი | SO_4^{2-} - მგ/ლ | საერთო მინერალიზაცია, მგ/ლ |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| ბარათაშვილის აღმართი | 902 | 1577 |
| დილომი- კერძო სასტუმრო „ლუქსი“ | 1700 | 2974 |
| ჭის წყალი - მარტყოფის ტერიტორიაზე | 2040 | 3659 |
| მიწისქვეშა წყალი სამგორის ტერიტორიაზე | 1750 | 3000 |
| ჭის წყალი - ნუცუბიძის პლატოზე | 650 | 1021 |

კვლევის შედეგების მიხედვით აღმოჩნდა, რომ მიწისქვეშა წყლების ხარისხის მახასიათებლები არ აღემატება საქართველოს სტანდარტით განსაზღვრულ ნორმირებულ მაჩვენებლებს, გარდა სულფატების რაოდენობისა და შესაბამისად მინერალიზაციისა. გამონაკლისს წარმოადგენდა სინჯი არტეზიული ტიპის წყლიდან შპს „ელიტბურჯის“ ტერიტორიაზე, რომელშიც კალციუმის კონცენტრაცია ზღვ - ზე გაცილებით მეტი აღმოჩნდა, კერძოდ, 550 მგ/ლ-ზე. აღნიშნული წყლების დემინერალიზაციისა და მათში SO_4^{2-} -ისა და Ca^{2+} -ის იონების შემცველობის დასაშვებ კონცენტრაციებამდე დაყვანა შესაძლებელი აღმოჩნდა მემბრანული ტექნოლოგიების გამოყენებით, კერძოდ, სტუ -ის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის მიერ შექმნილი ხელსაწყო-დანადგარის საშუალებით. ჯერ მიკროფილტრაციით მოიხსნა შეწონილი ნაწილაკები და ორგანული ნაწილი, ხოლო შემდეგ - ნანოფილტრაციით იონთა რაოდენობები ზღვამდე ჩამოვიდა.

ამგვარად, ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის მიერ შექმნილი ხელსაწყო-დანადგარის საშუალებით ნანოტექნოლოგიისა და ნანოტექნიკის გათვალისწინებით სრულებით მოგვარებადია წყლის დემინერალიზაციის საკითხი.

თემა 8. გარემოს მძიმე ლითონებით დაბინძურების პრობლემის აქტუალობა, უპირველეს ყოვლისა, აიხსნება ადამიანის ორგანიზმზე მათი მოქმედების ფართო სპექტრით. გარემოში

მოხვედრისას მძიმე ლითონები აბინძურებენ ატმოსფერულ ჰაერს, წყალს, ნიადაგს, ხვდებიან მცენარეებში და ცხოველთა ორგანიზმებში. მძიმე ლითონების მიგრაცია ბიოსფეროში საშუალებას იძლევა გაირკვეს მათი ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრის გზები. გარემოს დაბინძურება ტოქსიკური ლითონებით პირველ რიგში ბავშვებზე აისახება -თანდაყოლილი სიმახინჯეები, იმუნიტეტის შემცირება, დაავადებათა სიმრავლის განვითარება, ხშირად პათოლოგიური პროცესის ქრონიკულში გადასვლით, გონებრივი და ფიზიკური განვითარების შეფერხება.

კვლევის ობიექტებად, ჩვენს მიერ, შერჩეულ იქნა მოსახლეობისა და განსაკუთრებით ბავშვების ჯანმრთელობაზე მოქმედების მაღალი რისკის ტერიტორიები: მთაწმინდის პარკი, ზოოპარკის ტერიტორია, გლდანის დასახლებისა და მისი მიმდებარე ნაგავსაყრელის გარე ტერიტორია. საკვლევი ობიექტების ფარგლებში განხორციელდა ნიადაგის, წყლის, ხის ფოთლების სინჯების აღება და მათში მძიმე ლითონების განსაზღვრა.

მძიმე ლითონების განსაზღვრისთვის ნიადაგის სინჯების აღება (0-20 სმ ფენა) და წინასწარი დამუშავება ქიმიური ანალიზისთვის განხორციელდა შესაბამისად ISO 10381 და ISO 11464 მიხედვით. სხვადასხვა წერტილებში აღებული მთავარი, საშუალო და ლაბორატორიული სინჯებიდან მომზადდა შერეული სინჯები.

საკვლევი შერეულ ჰაერმშრალ სინჯებში მძიმე ლითონების განსაზღვრისთვის გამოყენებული იყო ოპტიკურ-ემისიური სპექტრომეტრი ICP – OES 725 ინდუქციურ-ბმული პლაზმით, რომელიც პერიოდული სისტემის 73 ელემენტამდე ერთდროული პრეციზიული ექსპრეს-განსაზღვრის საშუალებას იძლევა თხევად და მყარ სინჯებში. ნიადაგში მძიმე ლითონების განსაზღვრის შედეგების საფუძველზე გამოითვალა ზოგიერთი მძიმე ლითონის შემცველობის საშისროების კოეფიციენტი ($K_{\text{ფ}}$). ჩვენს მიერ განსაზღვრული მძიმე ლითონების შემცველობის მიხედვით სამივე ნიმუშის ნიადაგები მიეკუთვნება I და II დონეს.

ხშირად, როდესაც ნიადაგები დაბინძურებულია ერთდროულად რამდენიმე ელემენტით, მაშინ გამოითვლიან ჯამური დაბინძურების მაჩვენებელს ($Z_{\text{ფ}}$), რომლის შედარებით ნიადაგის ჯამური დაბინძურების საორიენტაციო შესაფასებელ სკალასთან, შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ ჩვენს მიერ შესწავლილი ნიადაგები მიეკუთვნება დასაშვები დაბინძურების კატეგორიას $Z_{\text{ფ}} < 16$.

ჩვენს მიერ, შესწავლილ იქნა შემოდგომის ფოთოლცვენის შედეგად (სექტემბერი – დეკემბერი, 2015 წ.) შეგროვილი ფოთლების ელემენტური შედგენილობა, რომელიც განისაზღვრა რენტგენოფლუორესცენციური ანალიზის მეთოდის გამოყენებით. საკვლევი ობიექტების ხის ნარგავების ფოთლების ქიმიური ანალიზის შედეგების შედარებისას ნიადაგში მათ ზდკ-თან, ზოგიერთი მათგანის შემცველობა აღემატებოდა ზდკ, მაგალითად, დარიშხანის (7ზდკ, მთაწმინდა; 3ზდკ, ზოოპარკი) და სპილენძის (9ზდკ, მთაწმინდა; 8ზდკ, ზოოპარკი). ტყვიის შემცველობა სამივე წერტილში ზდკ ნაკლებია; მძიმე ლითონების შემცველობა შესწავლილ მდ.ვერესა და გლდანის ხევში ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციაზე დაბალი აღმოჩნდა;

| | | | |
|---|---------------------------|-------------|-----------------------|
| 9 | თემა 9. აპარატის სადაწნეო | ლ. ყუფარაძე | მემბრანული პროცესების |
|---|---------------------------|-------------|-----------------------|

| | | | |
|----|--|-------------|---|
| | საკნის თავსა და ბოლოში სიჩქარეების განსაზღვრა; მათემატიკა –ჰიდრომექანიკა, ჰიდრაულიკა. | | კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება. განყოფილების უფროსი- მ. კეჟერაშვილი |
| 10 | თემა 10. თეორიული გაანგარიშების ფორმულები სადაწნეო უმემბრანო აპარატისთვის; ჰიდრომექანიკა, დიფერენციალური განტოლებები. | ლ. ყუფარაძე | მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება. განყოფილების უფროსი- მ. კეჟერაშვილი |

თემა 9. ჰიდროდინამიკური მდგომარეობის დასახასიათებლად და რეჟიმული პარამეტრების დასადგენად საჭიროა განისაზღვროს ხახუნის ძალებით გამოწვეული სიჩქარის ცვლილება სადაწნეო საკნის სიგრძის მიხედვით. განიხილება სადაწნეო საკანი მემბრანის გარეშე. ვხეღვმძღვანებლობთ ჰიდრაულიკაში ცნობილი დამოკიდებულებით:

$$\frac{\tau_w}{\gamma} = RI \quad (1) , \text{ სადაც } \gamma = \rho \times V \quad (2)$$

აქ τ_w [კგ/მ²] - მხები ძაბვის სიდიდეა, რომელიც ვითარდება კედელზე სითხის საშუალო სიჩქარით მოძრაობისას და იგი დამოკიდებულია კედლის ზედაპირის ხორკლიანობაზე, ნაკადზე, სითხის ფიზიკურ თვისებებზე და სხვა; V [კგ/მ³] -მოცულობითი წონაა; ρ [კგ.წმ²/მ⁴] -სითხის სიმკვრეა; V [მ³] – ხვედრითი მოცულობაა; R [მ] - ჰიდაულიური რადიუსია; I [მ] - ჰიდრაულიური ქანობი ანუ სრული ენერჯის ხვედრითი დანაკარგია. სითხის დინების ლამინარული რეჟიმის დროს მხები ძაბვის გამოსახულებას ჩვეულებრივ წარმოადგენენ შემდეგნაირად: $\tau_w = f \rho \frac{v^2}{2}$ (3) f -ხახუნის კოეფიციენტია . თუ გავითვალისწინებთ (2)-ს და(3)-ს ტოლობა (1)-ში მივიღებთ თანაბარი მოძრაობის დროს ხახუნზე დანაკარგების განმსაზღვრელ შემდეგ სამუშაო ფორმულას: $i = f \frac{v^2}{2gR}$ (4) ,

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $C = \sqrt{\frac{2g}{f}}$ (5), სადაც C [მ^{1/2}/წმ] –კოეფიციენტი დამოკიდებულია ზედაპირის ხორკლიანობაზე, მაშინ ფორმულა (4) ჩაიწერება შემდეგი სახით, რომელიც ცნობილია შეზის ფორმულის სახელწოდებით. $i = \frac{v^2}{R \times C^2}$ (6)

ვინაიდან კვეთში v^2 მცირდება $\frac{1}{C^2 R}$ -ის პროპორციულად, v -სთვის გვექნება :

$$\sqrt{i} = \frac{v}{\sqrt{C^2 R}} \quad (7) , \text{ თუ ამ სიდიდეს გავამრავლებთ } L_{\Sigma}\text{-ზე მივიღებთ სიჩქარის დანაკარგს}$$

l_z სიგრძეზე: $\sqrt{l} \times l_z = \frac{l_z}{\sqrt{C^2 R}} v$ (8) სადაც $0 \leq l_z \leq l$, l - სადაწნეო საკნის სიგრძეა.

კინეტიკური ენერჯის დანაკარგი l_z სიგრძეზე იქნება: $E_{\text{ფ}}^j = \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{l_z}{\sqrt{C^2 R}} v \right)^2$ (9)

თუ l_z კვეთში სიქარეს ავნიშნავთ v_z - ით კინეტიკური ენერჯებისთვის შეიძლება დავწეროთ შემდეგი ტოლობა: $\frac{\alpha}{2g} v^2 - \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{l_z}{\sqrt{C^2 R}} v \right)^2 = \frac{\alpha}{2g} v_z^2$ (10)

აქედან განვსაზღვროთ $v_z = \sqrt{1 - \frac{l_z^2}{R \times C^2}} v$ (11)

ტოლობა (11) წარმოადგენს სადაწნეო საკნის l_z მანძილზე განვითარებულ სიქარესა და საკნის თავში არსებულ სიქარეს შორის ანალიზურ დამოკიდებულებას, რომელიც გამოწვეულია საკნის კედელზე ხახუნით.

იმისთვის, რომ ვიანგარიშოთ v_z , საჭიროა გამოანგარიშებულ იქნეს C და R . C -ს

გამოსაანგარიშებლად გამოვიყენოთ მანინგის ფორმულა: $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$ (12), სადაც n - სიმქისის კოეფიციენტი.

განხილული იყო აპარატი 1 ოთხკუთხა კვეთის მქონე სადაწნეო საკნით, რომლის გეომეტრიული ზომებია: $h = 0,35 \times 10^{-3}$ მ, $b = 50 \times 10^{-3}$ მ, ხოლო საკნის სიგრძე კი $l = 100 \times 10^{-3}$ მ, ცოცხალი განივკვეთის ფართობი იქნება: $s = b \times h = 17,5 \times 10^{-6} \text{მ}^2$. ხოლო სველი პერიმეტრი: $\chi = 2(h + b) = 2(0,35 + 50) \times 10^{-3} = 100,7 \times 10^{-3}$ მ ;

ჰიდრავლიკური რადიუსი კი $R = \frac{s}{\chi} = \frac{17,5 \times 10^{-6}}{107 \times 10^{-3}} = 0,1737 \times 10^{-3}$ მ ; $R^{\frac{1}{6}} = 0,2362$

აპარატი 2-ის შემთხვევაში კი, რომლის სადაწნეო საკნის ზედა ზედაპირი რეფლირებულია, ხოლო განივკვეთის ფართი იგივეა, როგორც აპარატი 1-ის შემთხვევაში და დანარჩენი გეომეტრიული ზომები კი: $h_2 = 0,45 \times 10^{-3}$ მ, $h_2^1 = 0,2 \times 10^{-3}$ მ, $b = 50 \times 10^{-3}$ მ, $l = 100 \times 10^{-3}$ მ, $h_2 - h_2^1 = 0,25 \times 10^{-3}$ მ. ცოცხალი კვეთის ფართობი იქნება $s = 17,5 \times 10^{-6} \text{მ}^2$; სველი პერიმეტრი: $\chi = 2[b + (h_2 - h_2^1) + 50 \times h_2^1] = 120,5 \times 10^{-3}$ მ ;

ჰიდრავლიკური რადიუსი კი $R = \frac{s}{\chi} = \frac{17,5 \times 10^{-6} \text{მ}^2}{120,5 \times 10^{-3} \text{მ}} = 0,1452 \times 10^{-3}$ მ ; $R^{\frac{1}{6}} = 0,1452 \times 10^{-3}$ მ

სიქარეთა შეფასება ფორმულა (11)-ის მიხედვით მანინგის (12)-ე ფორმულის გამოყენებით, სხვადასხვა სიმქისის კოეფიციენტებისთვისა და სხვადასხვა ტიპის სადაწნეო საკნებისთვის მოყვანილია ქვემოთ ცხრილში

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------|---------|-----------------------------------|-------|---------|-----------------------|--|---------------|-----------------------|--------|-----------------------|
| n | R | l_z | l_z^2 | $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$ | C^2 | $C^2 R$ | $\frac{l_z^2}{C^2 R}$ | $1 - \left(\frac{l_z^2}{C^2 R} \right)$ | $\sqrt{(11)}$ | $v_z = (12) \times v$ | 1-(12) | $(V - V_z) \times 10$ |
|---|---|-------|---------|-----------------------------------|-------|---------|-----------------------|--|---------------|-----------------------|--------|-----------------------|

| 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----------|---------------------------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|------|
| აპარატი 1 | 1,737 $\times 10^{-4}$ | 0,1 | 0,01 | | | | | | | | | |
| 0,011 | | | | 21,4 | 461,1 | 0,080 | 0,124 | 0,875 | 0,935 | 0,935xV | 0,064 | 6,46 |
| 0,012 | | | | 19,6 | 389,5 | 0,067 | 0,148 | 0,851 | 0,922 | 0,922xV | 0,077 | 7,71 |
| 0,013 | | | | 18,1 | 330,1 | 0,057 | 0,174 | 0,825 | 0,908 | 0,908xV | 0,091 | 9,14 |
| 0,014 | | | | 16,8 | 284,6 | 0,049 | 0,202 | 0,797 | 0,893 | 0,893xV | 0,106 | 10,6 |
| 0,015 | | | | 15,7 | 247,9 | 0,043 | 0,232 | 0,767 | 0,876 | 0,876xV | 0,123 | 12,3 |
| აპარატი2 | 1,452 $\times 10^{-4}$ | 0,1 | 0,01 | | | | | | | | | |
| 0,011 | | | | 20,8 | 434,3 | 0,063 | 0,158 | 0,841 | 0,917 | 0,917xV | 0,082 | 8,27 |
| 0,012 | | | | 19,1 | 365,1 | 0,053 | 0,188 | 0,811 | 0,900 | 0,900xV | 0,099 | 9,93 |
| 0,013 | | | | 17,6 | 311,1 | 0,045 | 0,221 | 0,778 | 0,882 | 0,882xV | 0,117 | 11,7 |
| 0,014 | | | | 16,3 | 268,2 | 0,038 | 0,256 | 0,743 | 0,862 | 0,862xV | 0,137 | 13,7 |
| 0,015 | | | | 15,2 | 233,6 | 0,033 | 0,294 | 0,705 | 0,839 | 0,839xV | 0,160 | 16,0 |

თემა 10 -ში განხილულია ბლანტი უკუმში სითხის მოძრაობა.

ამისთვის გამოვიყენოთ ბრტყელი ორგანზომილებიანი სტაციონალური მოძრაობის განტოლებებიდან, როდესაც მასობრივი ძალები უგულვებელყოფილია :

$$\frac{\partial v_y}{\partial x} + V_x \frac{\partial v_y}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \Delta v_y \quad \text{ა)} \quad (1)$$

$$V_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + V_x \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \Delta v_z \quad \text{ბ)}$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

განტოლებათა სისტემა (1) არაწრფივი კერძო წარმოებულებიანი განტოლებათა სისტემაა, რაც განპირობებულია განტოლების მარცხენა ნაწილში არაწრფივი წევრებით. მისი ანალიზური ამოხსნა ზოგადად შეუძლებელია, მაგრამ არსებობს კერძო შემთხვევები, როდესაც ეს წევრები იგივეურად ნულის ტოლია და ან მცირეა და მისი უგულვებელყოფა შესაძლებელია. თუ ამ განტოლებებში დაგუშვებთ, რომ სინქარის V_x მდგენელი უდრის

ნულს, ანუ მოძრაობა გეაქვს მხოლოდ z ღერძის მიმართულებით, მაშინ მასის უწყვეტობის განტოლება (2)-დან შეიძლება დავწეროთ

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

განტოლება (3)-დან ჩანს, რომ V_z არ არის z -ზე დამოკიდებული, ამიტომ განტოლება (1)-ის ნაცვლად გვქვია:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \quad \text{ა)} \quad (4)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + v \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} = 0 \quad \text{ბ)}$$

განტოლება (4) გვეუბნება, რომ P მხოლოდ z -ზეა დამოკიდებული, ამიტომ იგი შეიძლება წარმოვადგინოთ ასეთნაირად:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{dP}{dz}$$

იგი შევცვალოთ ფარდობით.

$$\frac{dP}{dz} = \frac{\Delta P}{L_z}$$

სადაც ΔP სიდიდე კვეთში მუდმივია. მეორეს მხრივ, ვინაიდან V_z არ არის z -ზე დამოკიდებული, ამიტომ

$$\frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} = \frac{d^2 V_z}{dy^2}$$

და (4ბ) მიიღებს სახეს:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{L_z} = v \frac{d^2 V_z}{dy^2} \quad (5)$$

განტოლება (5) წრფივი მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებაა და თუ ამოვიღებთ ინტეგრალს y -ით ჯერ ერთხელ, მივიღებთ :

$$v \frac{dV_z}{dy} = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{L_z} (y + c) \quad , \quad (6)$$

შემდეგ კი მეორეჯერ:

$$vV_z = \frac{\Delta P}{\rho L_z} (y^2 + cy + d) \quad (7)$$

ამგვარად, მივიღეთ V_z -ს გამოსახულება. თუ განტოლება (7)-ში ტოლობის ორივე მხარეს გავყოფთ v -ზე და გავითვალისწინებთ, რომ

$$\rho v = \mu \quad (8)$$

მივიღებთ

$$V_z = \frac{\Delta P}{2\mu L_z} (y^2 + cy + d) \quad (9)$$

ტოლობა (9)-ში სასაზღვრო პირობების, არხის კედელზე ნაწილაკის მიკერის პირობის გათვალისწინებით:

$$y = 0 \quad V_z = 0; \quad y = h \quad V_z = 0,$$

მივიღებთ კოეფიციენტების შემდეგ მნიშვნელობას: $d = 0, c = \frac{h}{2}$, საბოლოოდ სიჩქარისთვის გვექნება შემდეგი გამოსახულება:

$$V_z = \frac{\Delta P}{2\mu L_z} y(y - h) \quad (10)$$

ამგვარად, მივიღეთ სადაწნეო საკანში სიჩქარის გამოსახულების პარაბოლური სახე. კვეთში გასაშუალებული სიჩქარეებისთვის კი გვექნება:

$$(V_z)_{\text{სშ}} = \frac{1}{h} \int_0^h \left[\frac{\Delta P}{2\mu L_z} y(y - h) \right] dy = \frac{1}{h} \left| \frac{\Delta P}{2\mu L_z} \left(\frac{y^3}{3} - \frac{y^2}{2} h \right) \right|_0^h = \frac{\Delta P}{2\mu L_z} \left(\frac{h^3}{3} - \frac{h^3}{2} \right) = \frac{\Delta P}{2\mu L_z} h^3 \quad (11)$$

II.1. პუბლიკაციები:

ა) საქართველოში

სტატიები

| № | ავტორი/ ავტორები | სტატიის სათაური, ჟურნალის/კრებულის დასახელება | ჟურნალის/ კრებულის ნომერი | გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა | გვერდების რაოდენობა |
|---|-----------------------------|---|---------------------------------|--|------------------------|
| 1 | სტატია 1. გ.ბიბილეიშვილი | ბორჯომის მინერალური წყლის სტერილური ფილტრაციისთვის მემბრანული ტექნოლოგიის დამუშავება და საწარმოო ნიმუშის | ტ16, №1 | თბილისი, 0179, იჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი” | 2 |

| | | | | | |
|---|------------------------------------|--|---------|--|---|
| | | დამზადება. | | | |
| 2 | სტატია 2. გ.ბიბილეიშვილი | მემბრნული ნანოტექნოლოგიებისა და ნანოსისტემების შექმნა ბორჯომის მინერალური წყლის მაგალითზე | ტ16, №1 | თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი” | 2 |

სტატია 1.

სტატიაში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის სტერილური ფილტრაციისთვის ბარომემბრანული პროცესების მიკრო- და ულტრაფილტრაციის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა. მემბრანული ტექნოლოგიის გამოყენებით მიღებული საკვლევი მინერალური წყლის გრანულომეტრიული, მოლეკულური და იონური კომპონენტების შედგენილობა განსაზღვრულია ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, სიმღვრივის (Turb 555IR), ელ.გამტარობისა (KEL-IM2) და იონმზომი (I-160.IMP) ხელსაწყოების გამოყენებით. 3D პრინტერის (UULTIMAKER-2) მეშვეობით ბუნებრივი წყლის გრანულომეტრიული შემადგენლობის 0,1მკმ-დან 0,45მკმ-მდე დამუშავებისთვის ინსტიტუტში შექმნილია ტანგენციალური ტიპის უნივერსალური საფილტრაციო ხელსაწყო. აღნიშნულ დანადგარზე მიკროფილტრაციული პროცესის დროს ბორჯომის მინერალური წყალი იწმინდება 0,2მკმ-ის ზომის ტოლი ნაწილაკებისგან, რაც უზრუნველყოფს სითხის სტერილიზაციის მინიმალურ დონესა და სათანადო გამჭვირვალობას, ხოლო ულტრაფილტრაციული პროცესის დროს ბორჯომის მინერალური წყალი იწმინდება 0,01მკმ-ის ზომის ტოლი ნაწილაკებისა და მიკროორგანიზმებისგან, რაც უზრუნველყოფს სითხის სტერილიზაციის მაქსიმალურ (99,9%-100%) დონესა და სათანადო გამჭვირვალობას. დადგენილია, რომ ბორჯომის მინერალური წყლის ბურღების(ბურღ.“პარკ.წყალი”, ბურღ. “ლიკანი”, ბურღ.9, ბურღ. 25, ბურღ.37, ბურღ.41) დასამუშავებლად მიკროფილტრაციული პროცესის კვლევისას 0,2მკმ-ს ზომის ნაწილაკების მოცილება უზრუნველყოფს ხსნარის მინიმალურ დონეზე სტერილიზაციასა და ფორმაზინის ერთეულის მიხედვით გამჭვირვალობის მაჩვენებელს FNU 0,10., ხოლო ულტრაფილტრაციული პროცესის კვლევისას 0,01მკმ-ს ზომის ნაწილაკების მოცილება უზრუნველყოფს ხსნარის მაქსიმალურ (99,9%-100%) დონეზე სტერილიზაციასა და ფორმაზინის ერთეულის მიხედვით გამჭვირვალობის მაჩვენებელს FNU 0,09.

სტატია 2. ნაშრომში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის ნაწილობრივი დეფტორირება-დებარირებისთვის ჩატარებული ბარომემბრანული ფილტრაციის სამი პროცესის მიკრო-, ულტრა- და ნანოფილტრაციის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა. ბორჯომის მინერალური წყლის დამუშავება ჩატარებულია (K) და (S) ტიპის ტექნოლოგიებით როგორც ლამინარული ასევე ტურბულენტური რეჟიმის პირობებში. დადგენილია, რომ (K) ტექნოლოგიების გამოყენებით ბარიუმის რაოდენობა შემცირებულია 1,09მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორის -4,82გ/ლ-მდე. (S) ტექნოლოგიების გამოყენებით ბარიუმის რაოდენობა შემცირდა 0,937მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორის-6,52მგ/ლ-მდე. ანალიზური კვლევები

ჩატარებულია აგრეთვე ტურბულენტური რეჟიმისთვის. ორივე რეჟიმის გამოყენების შემდეგ წყალში შენარჩუნებულია კალციუმის და ქლორის დასაშვები მნიშვნელობები.

ბარომემბრანული პროცესების ოპტიმიზაციის მათემატიკური აღწერისა და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგენილია ტურბულენტური დინების უპირატესობა ლამინარულთან შედარებით. კერძოდ, სადაწნეო საკანში ფილტრაციის სიჩქარის და გაყოფის პროცესში კონცენტრაციული პოლარიზაციის მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ლამინარული და ტურბულენტური რეჟიმების პირობებში. ბორჯომის მინერალური წყლის ნანოფილტრაციული პროცესის მეშვეობით დამუშავების შედეგად ბურღილების მიხედვით ბარიუმი მერყეობს 0,738მგ/ლ-დან 1.11მგ/ლ-მდე, ხოლო ფთორი 2,26მგ/ლ-დან 5,10მგ/ლ-მდე, რაც ევროკაშირის დასაშვებ რაოდენობას აკმაყოფილებს. დამუშავებულია ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის ფილტრაციის მექანიკური-, ულტრა- და ნანოფილტრაციული სრულად ატომაციზირებული მემბრანული დანადგარის ტექნოლოგიური სქემა. ამასთანავე დადგენილია, რომ მინერალური წყლის დამუშავებისთვის ბარომემბრანული პროცესები მიზანშეწონილია ჩატარდეს ეტაპობრივად (მიკრო-, ულტრა- და ნანოფილტრაცია). ბორჯომის ბუნებრივი მინერალური წყლის მოლეკულურ- იონური შედგენილობის რეგულაცია შესაძლებელია ბარომემბრანული პროცესების გამოყენებით, რაც დადასტურებულია იონომეტრული და ტურბიდიმეტრული მეთოდებით, მინერალური წყლის მიზანმიმართული დეიონიზაციით გამოწვეული ქიმიური შედგენილობის ცვლილებით.

| | | | | | |
|----|--|--|---------|--|---|
| 3. | <p>სტატია 3. გ.ბიბილეიშვილი ნ.გოგესაშვილი</p> | <p>Creation of cellulose acetate membrane on the basis of different compositions; საქ. მეცნ. აკადემიის მაცნე</p> | №3 | <p>თბილისი, რუსთაველის ქ.52, გამომცემლობა “მეცნიერება”</p> | 2 |
| 4. | <p>სტატია 4. გ.ბიბილეიშვილი ნ.გოგესაშვილი</p> | <p>ზოგიერთი პოლიმერული მასალის გამსხნელი-არაგამსხნელის სისტემები; საქართველოს ქიმიური ჟურნალი</p> | ტ16, №1 | <p>თბილისი, 0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი”</p> | 2 |

სტატია 3. მემბრანული ტექნოლოგიის საინჟინრო ინსტიტუტში აცეტატცელულოზური მემბრანების შექმნისა და მათი თვისებების შესწავლის მიზნით გამოყენებული იყო დიაცეტატცელულოზა, რომლის ეთერიფიკაციის ხარისხი შეადგენს $\eta = 250-270$, ხოლო ჩანაცვლების ხარისხი 2,5-2,8. დიაცეტატცელულოზას საშუალო მოლეკულური მასა გაანგარიშებულია მარკ-კუნ-ჰაუინკის განტოლების გამოყენებით. $[\eta] = k \times M_n^a$. k და a განსაზღვრულია ცნობილი მეთოდით $k=0,8 \times 10^{-4}$, $C = 0,78$. აცეტატცელულოზას

გამსსნელად გამოყენებულია აპროტონული გამსსნელი დიმეთილაცეტამიდი, რომელშიც გახსნილი იყო ლითიუმის ქლორიდი. დიაცეტატცელულოზას ბაზაზე მომზადებული სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარების ფაზური ინვერსიის პროცესი შესწავლილია ინსტიტუტში შექმნილ ავტომოტორიზებულ ლაბორატორიულ დანადგარზე.

განსაზღვრულია მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები და დადგენილია, რომ საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურისა და კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს მემბრანების წარმადობის შემცირებას. დადგენილია ფაზური ინვერსიის ოპტიმალური პირობები: აბაზანაში ჩაშვების კუთხე 45⁰, ჩაშვების სიჩქარე 200 მმ/წთ, აბაზანის ტემპერატურა 30⁰C. მიღებული მემბრანების ფორის ზომები განსაზღვრულია ინსტიტუტში შექმნილ ბუშტულაკის წერტილის წარმოქმნის განმსაზღვრელ ხელსაწყოზე. ზოგიერთი ნიმუშის ფორის ზომაა 0,3-0,45მკმ.

სტატია 4. ნაშრომში განხილულია აცეტატცელულოზას (აც) ბაზაზე მიკროფილტრაციული მემბრანების მოსამზადებელი ზოგიერთი გამსსნელი/არაგამსსნელის სისტემები: აცეტონი/წყალი, აცეტონი/წყალი/პროპანოლი, დმეა/წყალი, დმეა/წყალი/პროპანოლი, დმფ/წყალი და დმფ/წყალი/პროპანოლი. შესწავლილია აღნიშნული სისტემების ფაზური ინვერსიის პროცესი.

გამოლექვის პროცესზე დაკვირვება ჩატარებულია როგორც ვიზუალურად, ასევე შუქგამტარობის ხელსაწყოს მეშვეობით. სქემატური მრუდების გამოყენებით დაფიქსირებულია მომენტი, რომლის დროსაც ხდება ფაზური დაყოფა.

შესწავლილია გამსსნელი/არაგამსსნელის სხვადასხვა სისტემისთვის მემბრანის ფორმირების ორი სახვადასხვა მექანიზმისა და შესაბამისად განსხვავებული სტრუქტურის მქონე მემბრანების მიღების შესაძლებლობები. განსაზღვრულია ამ სისტემებიდან მიღებული მემბრანების წარმადობები.

შუქგამტარობის მრუდების გამოყენებით დადგენილია, რომ აცეტატცელულოზას მიკროფილტრაციული მემბრანების მისაღებად სასურველია დმფ/წყალი და დმეა/წყალი სისტემების შერჩევა, რადგან აცეტონის გამსსნელად გამოყენების შემთხვევაში ფაზური ინვერსიის დაგვიანებით წარმართვის გამო მიიღება არაფოროვანი მემბრანები. ამასთანავე დადგენილია, რომ აცეტატცელულოზას 10%-იანი ხსნარებიდან დიმეთილფორმამიდში და დიმეთილაცეტამიდში არაგამსსნელად მარტო წყლის გამოყენების შემთხვევაში მიიღება უფრო მაღალი წარმადობის მემბრანები, ვიდრე არაგამსსნელად წყალი/პროპანოლის გამოყენების შემთხვევაში.

| | | | | | |
|----|--|---|---------|---|---|
| 5. | <p>სტატია 5. გ.ბიბილვიშვილი მ.კეჟერაშვილი</p> | <p>ბუნებრივ წყალში არსებული ქლორორგანული ნივთიერებები და მათი ტოქსიკური ზემოქმედება; საქართველოს</p> | ტ16, №1 | <p>თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი”</p> | 2 |
|----|--|---|---------|---|---|

| | | | | | |
|----|---|---|---------|---|---|
| | | ქიმიური ჟურნალი | | | |
| 6. | სტატია 6. გ.ბიბილუიშვილი მ.კეკელიაშვილი | მემბრანული ტექნოლოგიები ბუნებრივი წყლის ხარისხის გასაუმჯობესებლად; საქართველოს ქიმიური ჟურნალი | ტ16, №1 | თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი” | 2 |

სტატია 5. ცნობილია, რომ ბუნებრივი წყლის ქლორირების შემდეგ სხვადასხვა ქიმიური გარდაქმნების შედეგად წყალში შეიძლება წარმოიქმნას ქლორ- და ბრომორგანული ნივთიერება, რომელთა დიდი ნაწილი წარმოადგენს სიცოცხლისათვის საშიშ ტოქსიკურ ნივთიერებებს. ამიტომ წყალში ბუნებრივი და ტექნოლოგიური დამაბინძურებლების განსაზღვრა დღეისათვის მსოფლიოს მასშტაბით წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას. ჩვენი კვლევის მიზანი იყო დაგვედგინა, თუ რა სახითაა ქლორშემცველი ნივთიერებები წყალში, როგორია მათი რაოდენობა და როგორ შეიძლება შემცირდეს მათი რაოდენობა. ქლორშემცველი ნაერთების უმრავლესობა მაღალი ლიპოფილურობით გამოირჩევა, რის გამოც ისინი ადვილად გადიან უჯრედის მემბრანულ ბარიერს და თითქმის დაუბრკოლებლად აღწევენ სხვადასხვა ორგანოებში, მათ შორის უჯრედის ბირთვში და შეუქცევად ცვლილებებს იწვევენ. ქლორორგანული დამბინძურებლებიდან ყველაზე მაღალი ტოქსიკურობით დიოქსინები გამოირჩევიან (Fokin, Kolomiets 1985). ნახშირწყალბადების წარმოებულებიდან აღსანიშნავია ქლორჩანაცვლებული ალკანები: ტეტრაქლორმეთანი, დიქლორმეთანი, ქლოროფორმი, ვინილქლორიდი, ტრიქლორეთილენი და ა.შ. (Korte et al.,1992). ტრიქლორმეთანის მეტაბოლიზმის შედეგად ორგანიზმში წარმოიქმნება ქლოროფორმი და ქლორბენზოლი, რომლის შემდგომი გარდაქმნით მიიღება ფენოლები (პიროკატეხინი, ჰიდროქინონი) და ქლოროფენოლი. ეს პროცესები ცოცხალი ორგანიზმებისთვის იმდენად მაღალი რისკის მატარებელია, რომ 1,2-დიქლორმეთანის მეტაბოლიზმს „ლეტალურ სინთეზს“ უწოდებენ, რადგან ამ დროს მიიღება მაღალრეაქციული მეტაბოლიტები, რომლებიც შეუქცევადად უერთდებიან დნმ-ს. ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საფრთხეს წარმოადგენს ღვიძლში მიმდინარე ტეტრაქლორმეთანის და დიქლორმეთანის გარდაქმნის პროდუქტები. ქლორის ეს ნაწარმი ცვლის ქოლესტერინის მეტაბოლიზმს (Smeltzer, Bare). ქლოროფორმი ასტიმულირებს თავისუფალი რადიკალების წარმოქმნას (ნაადრევი სიბერის მიზეზი), იწვევს ნორმალური უჯრედების მუტაციას და განაპირობებს ჭარბად ქოლესტერინის წარმოქმნას. კვლევის მიზნის შესაბამისად ჩვენს მიერ სხვადასხვა მოდელოზის ხსნარების მაგალითზე განსაზღვრული იქნა ქლორის რაოდენობა ბუნებრივ წყლებში (იონომერი И-160) და დადგენილ იქნა, რომ მიკროფილტრაციული მემბრანული აპარატის გამოყენებით შესაძლებელია ქლორის რაოდენობის შემცირება მოლეკულის და იონის დონეზე.

სტატია 6. მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის მიერ უკანასკნელი მონაცემებით

დადგენილია, რომ სულ უფრო იზრდება სასმელი წყლის უხარისხობით გამოწვეული ადამიანების დაავადებათა რისკები. სასმელი წყალი შეიძლება შეიცავდეს ძალიან ბევრ მავნე ნივთიერებას, წვრილდისპერსულ და კოლოიდურ მინარევებს, ორგანულ და არაორგანულ ნაერთებს, ბაქტერიებს (0,5-10 მკმ), რიკეტსიებს-უმცირესი ზომის უჯრედოვანი ჩხირები (0,4-1,0 მკმ), ვირუსებს-მიკროორგანიზმები ზომით 20-400 ნმ, სოკოს-მცენარეული წარმოშობის ერთი ან მრავალუჯრედიანი მიკროორგანიზმები ზომით 3-50 მკმ, კოლოიდური ნაწილაკებს ზომით 200-400 ნმ, დალექვის სიჩქარე 1მ-ზე 4 წელი, თიხას (პუდრი), ზომით 500-200ნმ, დალექვის სიჩქარე 0.5-2 თვე, ლამს, ზომით 27X103-5X104, დალექვის სიჩქარე 10-30წთ, ქვიშას (მსხვილი), ზომით 5X106, დალექვის სიჩქარე 10წმ, ქვიშა (წვრილი), ზომით 10⁵, დალექვის სიჩქარე 2.5 წთ, მძიმე მეტალებს, სხვადასხვა იონებს და ა.შ. ჩვენი კვლევის მიზანი იყო დაგვედგინა, რამდენად არის შესაძლებელი ამ ნივთიერებების მოხვედრა ცოცხალ ორგანიზმებში კანის ფორების საშუალებით. ამ მიზნით, შევისწავლეთ კანის სტრუქტურა და მისი ფორები ნანოზომებში. კანის სიმშრალის დროს რქოვანის ფენაში წყლის რაოდენობა კლებულობს, რაც აზიანებს მის სტრუქტურას, არღვევს კანის ბარიერულ თვისებებს, კანის შიდა ფენა ხდება ნაკლებად ეფექტური ბარიერი ნივთიერებების შეღწევისათვის, რის შედეგადაც კანში ადვილად შეაღწევს წყალში არსებული შეწონილი წვრილდისპერსიული ნაწილაკები, (ქვიშა, თიხა (პუდრი), რომელთა დალექვის სიჩქარე ბევრად აღემატება დუშის მიღების ხანგრძლივობას), მიკროორგანიზმები, სხვადასხვა ქიმიური აგრესიული ნივთიერებები (მაგ.; მაღალტოქსიკური ქლოროფორმი, ტრიქლორეთილენი და სხვ.), რომელთა რაოდენობა წყლის გაცხელებისას მატულობს. ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ დახურულ საცურაო აუზში ქლორიანი წყლით ბანაობისას ჰაერიდან ადამიანის სხეულში შედის 76-78%, კანის საშუალებით 22-24% ქლოროფორმი, მაშინაც კი, როდესაც წყალი შეესაბამება ხარისხის ნორმებს. შეიძლება დავასკვნათ, რომ საშიშროება, რომელიც ემუქრება ცოცხალ ორგანიზმებს ასეთი წყლის მოხმარების შემთხვევაში (აბაზანის, დუშის მიღების ან საცურაო აუზში ცურვის დროს) აქამდე არ იყო სათანადოდ შეფასებული და შესწავლილი. პრობლემის გადაჭრის მიზნით ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა სხვადასხვა წარმოშობის ბუნებრივი წყლები. ლაბორატორიულ სიმღვრივის მზომზე (TURB 555 IR) განსაზღვრული იქნა მათი სიმღვრივეები. მიკროფილტრაციული მემბრანულ აპარატში გაფილტვრის შემდეგ წყალი 100%-ით გათავისუფლდა და პრაქტიკულად აღარ შეიცავდა ბაქტერიას, სოკოებს, კოლოიდურ ნაწილაკებს, თიხას (პუდრი), ლამს, ქვიშას. მემბრანული ტექნოლოგიების გამოყენებით შესაძლებელია უმაღალი ხარისხის წყლის მიღება, რომელიც სრულიად უსაფრთხოა ჯანმრთელობისთვის.

| | | | | | |
|----|--|---|---------|--|---|
| 7. | სტატია 7. გ.ბიბილეიშვილი ე.კაკაბაძე | თბილისის მიწისქვეშა წყლების ტექნიკურ წყლად გამოყენების შესაძლებლობები საქართველოს ქიმიური ჟურნალი | ტ16, №1 | თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი” | 2 |
| 8. | სტატია 8. | მძიმე ლითონები | ტ16, №1 | თბილისი,0179, | 2 |

| | | |
|----------------|--------------------|---|
| გ.ბიბილეიშვილი | ქალაქის ნიადაგებში | ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი” |
| ნ.მუმლაძე | საქართველოს | |
| ბ.კარგარეთელი | ქიმიური ჟურნალი | |

სტატია 7. ქალაქ თბილისის მიწისქვეშა წყლების საკითხის შესწავლისას საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ გრუნტის წყლები შედგენილობის მიხედვით სხვადასხვაა. მათი მინერალიზაციის ზრდა ძირითადად სულფატების ხარჯზე ხდება. სულფატ-იონი ბუნებრივი წყლების ერთერთი მთავარი იონია, რომელიც განსაზღვრავს წყლის ტიპს. მიუხედავად იმისა, რომ იგი არ მიეკუთვნება ტოქსიკურ ნივთიერებათა ჯგუფს, მისი შემცველობა სასმელ წყლებში ნორმირებულია. კერძოდ, სულფატების შემცველობა უნდა იყოს არა უმეტეს 250 მგ/ლ - ისა.

სულფატური წყლები ფართოდაა გავრცელებული თბილისის მიდამოებში, კერძოდ: ბარათაშვილის აღმართი, ნუცუბიძის პლატო, ბახტრიონის ქუჩა, ავლაბარი, სამგორი, დიდმის ტერიტორია, მარტყოფი. კვლევის მიზანს შეადგენდა თბილისის რამოდენიმე მიწისქვეშა წყლის სინჯებში სულფატ-იონის განსაზღვრა და ამგვარი წყლების გამოყენების პერსპექტივაზე შესაბამისი დასკვნების გაკეთება. შედეგების მიხედვით აღმოჩნდა, რომ მიწისქვეშა წყლების ხარისხის მახასიათებლები არ აღემატება საქართველოს სტანდარტით განსაზღვრულ ნორმირებულ მაჩვენებლებს, გარდა სულფატების რაოდენობისა და შესაბამისად მინერალიზაციისა. პრობლემის გადაჭრა ადვილადაა შესაძლებელი მემბრანული ნანოტექნოლოგიების გამოყენებით. კერძოდ, ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის მიერ შექმნილი ხელსაწყო-დანადგარის საშუალებით სრულებით მოგვარებადია წყლის დემინარალიზაციის საკითხი მემბრანული ნანოტექნოლოგიისა და ნანოტექნიკის გათვალისწინებით.

სტატია 8. გარემოს მძიმე ლითონებით დაბინძურების პრობლემის აქტუალობა, უპირველეს ყოვლისა, აიხსნება ადამიანის ორგანიზმზე მათი მოქმედების ფართო სპექტრით.

გარემოში მოხვედრისას მძიმე ლითონები აბინძურებენ ატმოსფერულ ჰაერს, წყალს, ნიადაგს, ხვდებიან მცენარეებში და ცხოველთა ორგანიზმებში. ლითონების მიგრაცია ბიოსფეროში საშუალებას იძლევა გაირკვეს მათი ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრის გზები. კვლევის ობიექტებად ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა მოსახლეობისა და განსაკუთრებით ბავშვების ჯანმრთელობაზე მოქმედების მაღალი რისკის ტერიტორიები: მთაწმინდის პარკი, ზოოპარკის ტერიტორია, გლდანის დასახლებისა და მისი მიმდებარე ნაგავსაყრელის გარე ტერიტორია. მძიმე ლითონების განსაზღვრისთვის სინჯების აღება (0-20 სმ ფენა) და წინასწარი დამუშავება ქიმიური ანალიზისთვის განხორციელდა შესაბამისად Iშ 10381 და Iშ 11464 მიხედვით. სხვადასხვა წერტილებში აღებული მთავარი, საშუალო და ლაბორატორიული

სინჯებიდან მომზადდა შერეული სინჯები.

მძიმე ლითონების განსაზღვრისთვის გამოყენებული იყო ოპტიკურ-ემისიური სპექტრომეტრი Ix – შ 725 ინდუქციურ-ბმული პლაზმით. ანალიზის შედეგების საფუძველზე განისაზღვრა ნიადაგში ზოგიერთი მძიმე ლითონის შემცველობის საშიშროების კოეფიციენტი (K_p) და ჯამური დაბინძურების მაჩვენებელი, რომლის შედარებით ნიადაგის ჯამური დაბინძურების საორიენტაციო შესაფასებელ სკალასთან, დავადგინეთ, რომ ჩვენს მიერ შესწავლილი ნიადაგები მიეკუთვნება დასაშვები დაბინძურების კატეგორიას $Z_R < 16$.

| | | | | | |
|-----|---|---|---------|--|---|
| 9. | სტატია 9. გ.ბიბილეიშვილი ლ.ყუფარაძე | სადაწნეო საკანის თავსა და ბოლოში სიჩქარეების შესახებ საქართველოს ქიმიური ჟურნალი | ტ16, №1 | თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი” | 2 |
| 10. | სტატია 10. გ.ბიბილეიშვილი ლ.ყუფარაძე | ბრტყელ არხში ბლანტი უკუმში სითხის მოძრაობის შესახებ. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი | ტ16, №1 | თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი” | 2 |

სტატია 9. ვინაიდან ჰიდროდინამიკური მდგომარეობა და რეჟიმული პარამეტრების დადგენა აპარატის სადაწნეო საკანში სითხის მოძრაობისას ხდება განვითარებული სიჩქარეთა ველითა და წნევით, განხილულია სიჩქარის ცვლილებები გამოწვეული კონსტრუქციის შიგა კედელზე სითხის დინების დროს წარმოშობილი ხახუნის ძალებით. ამისთვის, გამოყენებულია ჰიდრაულიკაში კარგებისთვის ცნობილი შეზის ფორმულა: $i = \frac{v^2}{R \times C^2}$ და მანინგის ფორმულა: $C = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}}$, გარდა ამისა გამოყენებულია მექანიკის ცნობილი კანონი კინეტიკური ენერჯის შესახებ. თუ L_E კვეთში სიჩქარეს ავლნიშნავთ v_E - ით ვინაიდან, კვეთში v^2 მცირდება $\frac{1}{\sigma^2 R}$ -ის პროპორციულად, v -სთვის გვექნება :

$\sqrt{i} = \frac{v}{\sqrt{C^2 R}}$ (7) თუ ამ სიდიდეს გავამრავლებთ L_E -ზე მივიღებთ სიჩქარის დანაკარგს L_E სიგრძეზე: $\sqrt{i} \times L_E = \frac{L_E}{\sqrt{C^2 R}} v$. კინეტიკური ენერჯის დანაკარგი L_E სიგრძეზე იქნება:

$E_{\text{ფ}}^2 = \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{L_E}{\sqrt{C^2 R}} v \right)^2$

კინეტიკური ენერჯებისთვის შეიძლება დაიწეროს შემდეგი ტოლობა:

$$\frac{\alpha}{2g} v^2 - \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{I_x}{\sqrt{C^2 R}} v \right)^2 = \frac{\alpha}{2g} v_x^2 \quad \text{აქედან შეიძლება განისაზღვროს } v_x = \sqrt{1 - \frac{I_x^2}{R \times C^2}} v$$

სტატია 10. აპარატის სდაწნეო საკანში სითხის მოძრაობის შესაფასებლად გამოყენებულია ბლანტი უკუმში სითხის ბრტყელი ორგანზომილებიანი სტაციონალური მოძრაობის განტოლებები, სადაც მასობრივი ძალები უგულებელყოფილია. ამ განტოლებებში სათანადო დაშვებების საფუძველზე, მიღებულია ბლანტი სითხის ერთგანზომილებიანი მოძრაობის განტოლებები:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \quad \text{ა)} \quad (1)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = 0 \quad \text{ბ)}$$

თუ ტოლობა (1 ბ)-ში გავითვალისწინებთ, რომ P არ არის დამოკიდებული y -ზე მივიღებთ V_x შენდევ ამოხსნას :

$$V_x = \frac{\Delta P}{2\mu I_x} (y^2 + cy + d) \quad (2)$$

სათანადო სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით მიღებულია ამოხსნა, რომელიც აკავშირებს ერთმანეთთან სიჩქარესა და საკანში განვითარებულ წნევას: $V_x = \frac{\Delta P}{2\mu I_x} y(y - h)$ (3)

III. 1. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

ა) საქართველოში

| № | მომხსენებელი/ მომხსენებლები | მოსხენების სათაური | ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი |
|---|---------------------------------|---|---|
| 1 | გ.ბიბილეიშვილი ნ.გოგესაშვილი | Creation of cellulose acetate membrane on the basis of different, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია | 21-23 სექტემბერი, 2016, ურეკი, საქართველო |

ნაშრომში მოცემულია დიაცეტატცელულოზას სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარების დამზადებისა და მათი ფაზური ინვერსიის პროცესი. დადგენილია ფაზური ინვერსიის პროცესის ჩატარების პირობების დამოკიდებულება, მიღებული მემბრანების ხვედრით წარმადობებთან. შესწავლილია ზოგიერთი მემბრანის მიკროსურათი.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ხელმძღვანელობით მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტში შექმნილი ბორჯომის დაბარიერბა-დეფთორირების ტანგენციალური

ფილტრაციის პილოტური ნანოფილტრაციული მემბრანული დანადგარის აპრობირება მოხდა “ExpoGeorgia”-ს საერთაშორისო გამოფენაზე 2016 წლის 17 სექტემბერს განათლებისა და მეცნიერების მინისტრის-ა.ჯეჯელავას წინაშე.