

მეგობრული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

**2017 წლის
სამეცნიერო ანგარიში**

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი - ინსტიტუტის დირექტორი,
დოქტორი, გიორგი ბიბილეიშვილი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა

№	გვარი, სახელი	სტრუქტურული ერთეული და თანამდებობათა დასახე- ელება	აკადემიური ხარისხი
1	ბიბილეიშვილი გიორგი	დირექტორი, მთ. მეც. თანამშრ.	დოქტორი
2	სვანიძე ნანა	სპეციალისტი	მაგისტრი
3	თანანაშვილი ლეილა	სწავლული მდივანი	მაგისტრი
4	ერისთავი დიმიტრი	კონსულტანტი	დოქტორი
5	გოგესაშვილი ნანა	ნაოკომპოზიციური მასალე- ბის დამუშავების განყ. უფრ.	დოქტორი
6	ყუფარაძე ლიანა	მთ. მეცნ. თანამშრომელი	დოქტორი
7	ლუკიშვილი ზაქარია	მეცნ. თანამშრომელი	მაგისტრი
8	ჯავახიშვილი ზაზა	სპეციალისტი	დოქტორი
9	კეჭერაშვილი მზია	1. მემბრ. პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლ. დამუშ. განყ. უფროსი 2. მთ. მეცნ. თანამშრ. (ფიზ.-ქიმ. ანალიზის ლაბ. უფრ.)	დოქტორი
10	სულხანიშვილი ჟუჟუნა	ინჟ.- კონსტრუქტორი	მაგისტრი
11	ბუთხუზი თინათინი	ინჟ.- კონსტრუქტორი	დოქტორი
12	ბუთხუზი გურამი	ტექნიკოსი	ბაკალავრი
13	მამულაშვილი მანანა	მეცნ. თანამშრომელი	დოქტორანტი
14	მეშვილდიშვილი ლელა	უფრ. ლაბორანტი	მაგისტრი
15	თანანაშვილი ნინო	ლაბორანტი	მაგისტრი
16	გასიტაშვილი არჩილი	სპეციალისტი	მაგისტრი
17	გოგიჩაშვილი დალი	დამლაგებელი	ბაკალავრი

I. 1. საქართველოს სახელმწიფო ბიუჯეტის მიერ დაფინანსებული 2017 წლის გეგმით შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (ეხება უნივერსიტეტებთან არსებულ დამოუკიდებელ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტებს და სსიპ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტებს)

№	შესრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის ხელმძღვანელი	პროექტის შემსრულებლები
1	2	3	4
1.	<p>პოლიმერული მასალების სტრუქტურული და ტოპოგრაფიული კვლევა ინდუსტრიული კომპოზიციური მემბრანების შექმნის მიზნით.</p> <p>ულტრა- და</p>	<p>გ. ბიბილეიშვილი</p> <p>მ. კეჟერაშვილი</p> <p>ზ. ჯავაშვილი</p>	<p>მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება.</p> <p>ფიზიკურ - ქიმიური ანალიზის ლაბორატორია.</p>
2.	<p>ნანოფილტრაციული პროცესების კომბინირებული მეთოდის კვლევა მტკნარი წყლის ნაწილობრივი დემინერალიზაციისთვის. სასმელი წყლიდან ნაწილობრივ და სრულად</p>	<p>გ. ბიბილეიშვილი</p>	<p>მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება.</p>
3.	<p>დემინერალიზებული წყლის (გამოხდილი) მიღების მემბრანული გაყოფის პროცესის კვლევა და ათვისება.</p> <p>საინჟინრო მეცნიერებები-ნანო- და მემბრანული ტექნოლოგიები.</p>	<p>გ. ბიბილეიშვილი</p>	<p style="text-align: center;">- ” -</p>

თემა 1. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის მუშაობის ერთ-ერთი მთავარი მიმართულებაა მემბრანების სტრუქტურული კვლევა და მათი ინდუსტრიული გამოყენების უზრუნველყოფა.

ინსტიტუტში დამუშავებულია ზოგიერთი პოლიმერული მასალების ბაზაზე სხვადასხვა ტიპის მემბრანები, რომელთა მორფოლოგიისა და სტრუქტურის შესწავლას ახორციელებს პოლონური წარმოების პოლარიზაციულ-ინტერფერენციული ოპტიკური მიკროსკოპისა და მასზე დამონტაჟებული 10.7 მკმ. მკაფიოობის ციფრული კამერა (ამ.სკოპე), რომლის მეშვეობით საკვლევი ობიექტის ჯამური გადიდება შეადგენს 2000-5000.

სურ.-ზე 1 ნაჩვენებია პოლიმერული ბოჭკოს გახსნის პროცესი;

სურ.-ზე 2 მოყვანილია პოლიმერული ასოციატების სტრუქტურის ფორმირება;

სურ.-ზე 3 გამოსახულია პოლიმერის კრისტალიტის სტრუქტურული ფორმა;

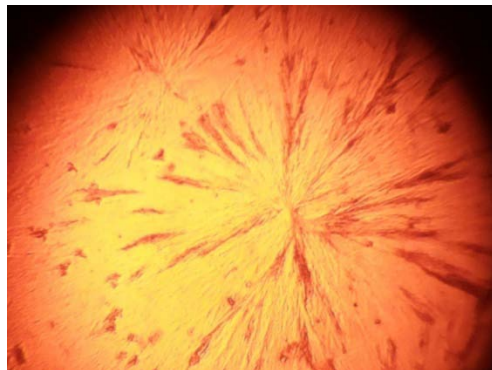
სურ.-ზე 4 გამოხატულია მიკროფილტრაციული მემბრანა.



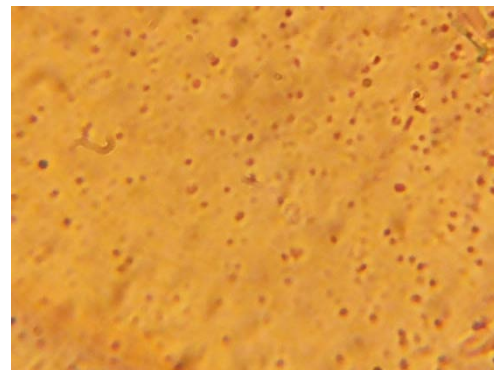
სურ.1 პოლიმერული ბოჭკო



სურ.2 პოლიმერული ასოციატი



სურ.3 მიკროგელური კრისტალიტი

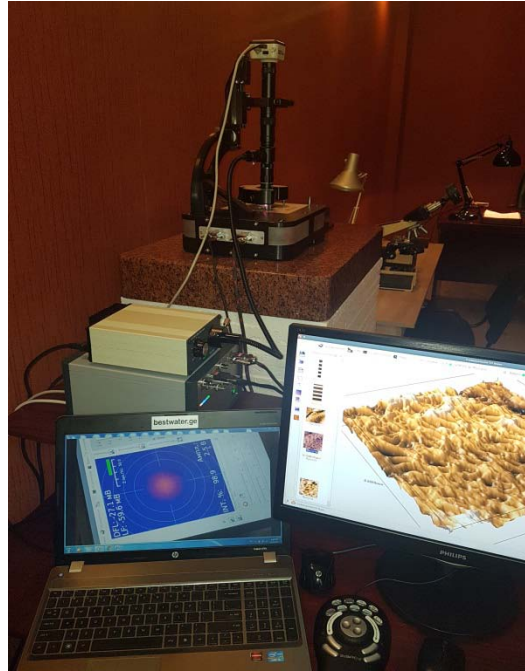


სურ.4 მიკროფილტრაციული მემბრანა

მოყვანილი ნიმუშების სურათების ჩარჩოს გრძივი ზომა შეადგენს 180 მკმ. ნანოკომპოზიციური მემბრანის შექმნა, ფორმირება, კვლევა, დახვეწა და კონკრეტული ტექნოლოგიური პროცესისთვის მორგება შესაძლებელია ატომურ-ძალური - მასკანირებელი ზონდური და ტუნელური მიკროსკოპის მეშვეობით, რომლის მკაფიობა შეადგენს 0,1 ნანომეტრს (1 ანგსტრემი).

მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტში ატომურ-ძალური მიკროსკოპის მეშვეობით შესაძლებელი გახდა ნანოკომპოზიციური მასალების დამზადებისა და მიღების ყველა

ეტაპის კონტროლის სრულყოფილი მექანიზმების შექმნა, რაც უზრუნველყოფს საწარმოო თვალსაზრისით მაღალი ხარისხის მემბრანული მასალებისა და მათი დამზადების ტექნოლოგიის დამუშავებას. სურათზე 5 მოცემულია მასკანირებელი ზონდური და ტუნელური მიკროსკოპი, რომლის მონიტორზე გამოსახულია პოლიმერული მემბრანის ტოპოგრაფიული (3D) ხედი.



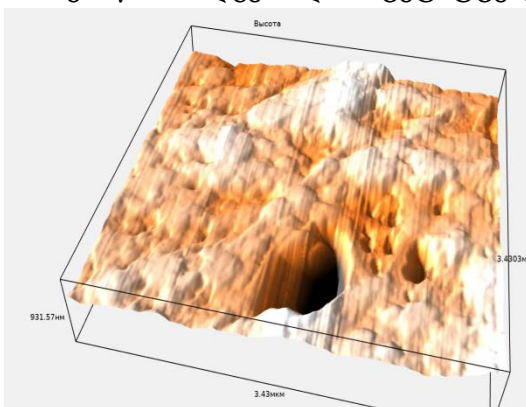
სურათი 5. მასკანირებელი ზონდური და ტუნელური მიკროსკოპი

სურათზე 6 მოცემულია მიკროფილტრაციული მემბრანის ტოპოგრაფიული ხედი.

სურათზე 7 ნაჩვენებია პოლიმერული მემბრანის ფორა 0,2 მკმ-ის ზომით.

სურათზე 8 გამოსახულია პოლიმერული მემბრანის სტრუქტურული კომპონენტი დიამეტრით 457,1 პიკომეტრი.

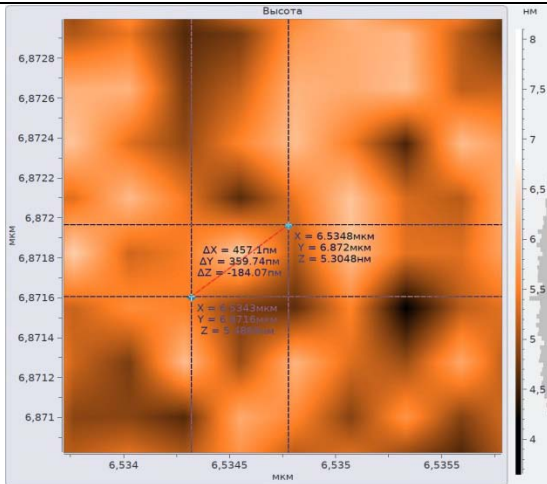
სურათზე 9 წარმოდგენილია აცეტატცელულოზის მემბრანის 3D გამოსახულება.



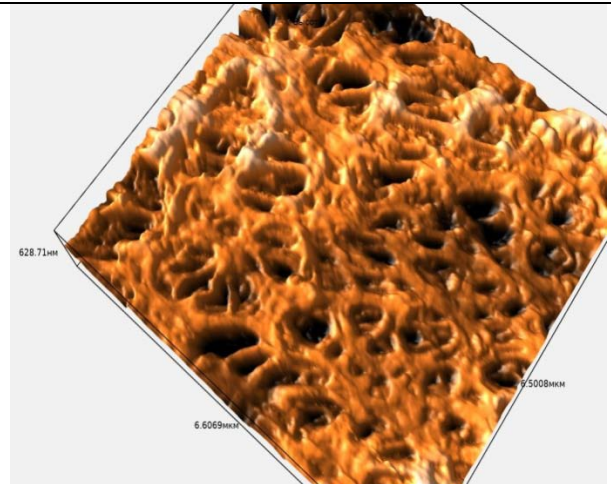
სურ.6 მიკროფილტრაციული მემბრანა



სურ.7 მემბრანის ფორა



სურ.8 მემბრანის სტრუქტურა



სურ.9 აცეტატცელულოზის მემბრანა

მაღალი ხარისხის ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავება, ბარომემბრანული გაყოფის ჰიდროდინამიური და მასაგადატანის პროცესების სათანადო დონეზე შესწავლა განაპირობებს თანამედროვე ნანოტექნოლოგიებისა და ტექნიკის შექმნას სტაბილური, მრავალწლიანი საექსპლოატაციო რესურსით, რაც თავისმხრივ, უზრუნველყოფს ღრმად გაწმენდილი, კრისტალურად გამჭირვალე, სტერილური, მაღალხარისხოვანი (გაწმენდა-სტერილიზაცია, ნაწილობრივი დემინერალიზაცია) სასმელი წყლისა და ღვინის მიღების თანამედროვე ნანოტექნოლოგიებისა და ტექნიკის შექმნასა და ათვისებას.

თემა 2. მტკნარი წყლის დამუშავების პირველ ეტაპზე განხილულია მაღალმოლეკულური ულტრაფილტრაციული დამუშავების მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს საერთო სიხისტის 3-5%-ით შემცირებასა და ხსნარის სტერილიზაციას.

მეორე ეტაპზე განხილულია ნანოფილტრაციული პროცესი, რომელიც იძლევა წყლის უფრო ღრმა დემინერალიზაციის საშუალებას, რაც ელექტრო გამტარობით გამოისახება $80 \times 10^{-4} - 10 \times 10^{-3}$ სიმ/მ დიაპაზონში, ხოლო კალციუმის მაჩვენებელი 120მგ/ლ-დან 50მგ/ლ-მდე. მოცემული დიაპაზონი შეესაბამება წყლის ნანოფილტრაციული მეთოდით სხვადასხვა ხარისხით დამუშავებას.

თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოების ჩატარების მიზანია წყლის ულტრა- და ნანოფილტრაციის პროცესის კვლევა, სითხის დემინერალიზაციის დიაპაზონის განსაზღვრისთვის ელ.გამტარობისა და კალციუმის მაჩვენებლების მიხედვით მიღებული ელ.გამტარობისა და კალციუმის მაჩვენებლის ქვედა ზღვრისათვის პილოტური მემბრანული აპარატის დამუშავება. მიღებული შედეგების საფუძველზე თანამედროვე, მაღალფუნქციონალური თვისებებისა და ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლების მქონე მემბრანული აპარატურის შეიქმნისა და ათვისებისთვის უახლესი ტექნოლოგიის პრაქტიკული რეალიზაციის დასაბუთებული რეკომენდაციების გაცემა.

დასახული ამოცანის შესრულებისთვის ექსპერიმენტული კვლევები ტარდებოდა ინსტიტუტის 3D პრინტერზე დამუშავებულ და შექმნილ ლაბორატორიულ მემბრანულ დანადგარზე.

მტკნარი წყლის ნანოფილტრაციით დამუშავება ხდება 2,0-4,6ატმ. წნევის ქვეშ და 40ლ/სთ ხარჯის პირობებში.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, საწყისი წყალი წინასწარ დამუშავებულია ულტრაფილტრაციის მეთოდით 0,6-1.8ატმ. წნევის ქვეშ 60ლ/სთ ხარჯის პირობებში.

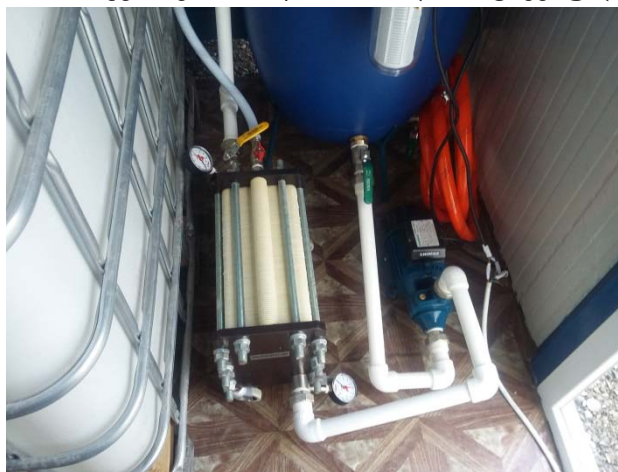
ჩატარებული ცდების მიხედვით დადგინდა მემბრანული პროცესის რეჟიმული პარამეტრები, რომლის დროსაც მივიღეთ კალციუმისა და ელ.გამტარობის ზოგიერთი მაჩვენებლები, რომლებიც მოყვანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

მემბრანა	კალციუმი მგ/ლ		ელ.გამტარობა.სიმ/მ	
	მტკნარი წყალი	დამუშავებ. წყალი	მტკნარი წყალი	დამუშავებ. წყალი
Uf-10	120	110	35×10^{-3}	27×10^{-3}
Nf-20	120	100	35×10^{-3}	10×10^{-3}
Nf-50	120	70	35×10^{-3}	90×10^{-4}
Nf-80	120	40	35×10^{-3}	80×10^{-4}

ჩატარებული კვლევების შედეგების საფუძველზე დამზადდა 250 ლ/სთ წარმადობის საწარმოო ნანოფილტრაციული მემბრანული დანადგარი და ექსპლოატაციაში ჩაეშვა შპს. „არაგვი-ჰესის“ საწარმოში 2017 წლის სექტემბრის თვეში. დანადგარი შპს. „არაგვი-ჰესის“ მიერ შესყიდული იქნა 2650 ლარად და დღემდე წარმატებით ფუნქციონირებს.

სურათზე 1- ნაჩვენებია შპს. „არაგვი-ჰესის“ საწარმოში დამონტაჟებული მემბრანული დანადგარი.



სურათი 1. ნანოფილტრაციული დანადგარი

შექმნილი მემბრანული ტექნოლოგია და აპარატურა სრულად უზრუნველყოფს მანგანუმით (Mn) დაჭუჭყიანებული სასმელი წყლის გაწმენდას.

თემა 3. ფარმაცევტიკაში ახალი სტანდარტების გამოჩენამ გამოიწვია მემბრანული პროცესების ფართო გამოყენება სამკურნალო პრეპარატების, ინექციური (პერინტალური) ხსნარების მსხვილმასშტაბიან წარმოებებში მათი გაწმენდის, ცივი სტერილიზაციის, გაყოფის, ფრაქციონირებისა და კონცენტრირებისათვის ოთახის ტემპერატურაზე. ამით თავიდან არის აცილებული პრეპარატების განსაკუთრებით კი თერმოლაბილური მედიკამენტების, თბური დამუშავება (ავტოკლავირება, თბურიკონცენტრირება), რის გამოც მემბრანულ სტერილურ

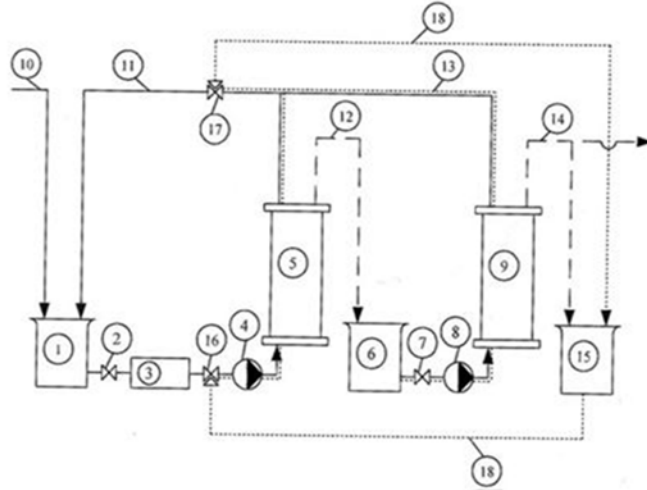
ფილტრაციას არ გააჩნია ალტერნატივა.

ამ საკითხების უდიდეს მნიშვნელობაზე მეტყველებს აშშ-ისა და ევროპული ფარმაკოპეები, რომლებიც ხაზგასმით მიუთითებენ სამკურნალო საშუალებების მემბრანული სტერილიზაციის აუცილებლობაზე. ინსტიტუტში დამუშავებულია და ათვისებისათვის არის მომზადებული პრეპარატების თეასაპონინისა და ტრიბუსპონინის წარმოების პრინციპულად ახალი მემბრანული ტექნოლოგია და ტექნიკა (შესაბამისი პატენტი), რომელიც ამცირებს ტექნოლოგიური პროცესების რაოდენობას 14-დან 7-მდე. თავიდან აცილებულია რეაგენტების(ალუმინისჟანგის, მეთანოლის, აცეტონის) გამოყენება და თბური დამუშავება, ვინაიდან მემბრანული დანადგარი უზრუნველყოფს ხსნარების ცივ სტერილიზაციას, ფრაქციონირებასა და კონცენტრირებას ოთახის ტემპერატურაზე ენერგოტეკადი ფაზური გარდაქმნების გარეშე, რაც განაპირობებს მაღალხარისხოვანი სტერილური პროდუქციის მიღებას მცირე ენერგო,მატერიალური და ექსპლოატაციური დანახარჯებით.

უახლოეს პერიოდამდე ფარმაცევტიულ მრეწველობაში ინექციური და აპიროგენული წყლების მიღება ხორციელდებოდა უმთავრესად დისტილაციისა და იონგაცვლითი მეთოდებით, რომლებსაც გააჩნიათ რიგი მნიშვნელოვანი უარყოფითი მხარეები, როგორცაა ლითონტეკვალობა, დიდი ენერგოდანახარჯები, არამაღალხარისხოვანი წყლის მიღება, ექსპლოატაციის სირთულე და სხვა.

მაღალხარისხოვანი ინექციური და აპიროგენული წყლების მიღების ყველაზე დახვეწილი მეთოდი მდგომარეობს მემბრანული პროცესების ულტრაფილტრაციის, ნანოფილტრაციისა და უკუოსმოსის ბარომემბრანული პროცესების გამოყენებაში რომლებიც უზრუნველყოფენ ყველა ჩანართების, მიკროორგანიზმების, სიხისტის მარილების, ანიონებისა და კათიონებისაგან თავისუფალი წყლის მიღებას. სწორედ ამიტომ ზემოთ აღნიშნული ფარმაკოპეებით შექმნილია იურიდიული საფუძველი და რეკომენდებულია ამ წყლების მომზადება განხორციელდეს მხოლოდ მემბრანული მეთოდებით.

ინსტიტუტში დამუშავდა პრინციპულად ახალი მემბრანული ტექნოლოგია და მრავალსაფეხურიანი მთლიანად ავტომატიზირებული მემბრანული ხაზი (შესაბამისი პატენტი), რომელიც უზრუნველყოფს სტერილური მაღალხარისხოვანი ინექციური და აპიროგენული წყლების მიღებას მსოფლიოს ტანდარტების დონეზე, რომელთა ფიზიკო-ქიმიური და ბაქტერიოლოგიური მახასიებლები შეესაბამებიან საფრანგეთის ქ.ნიცის სათაო ლაბორატორიის მიერ შემუშავებულს ტანდარტულ მონაცემებს ამ წყლებზე. ნახაზი 1-ზე მოცემულია კომბინირებული მემბრანული დანადგარის პრინციპული სქემა, სადაც 3, 5 და 9 ციფრებით აღნიშნულია შესაბამისად ულტრა-ნანოფილტრაციული და უკუოსმოსური მემბრანული აპარატები.



ნახ 1. კომბინირებული მემბრანული დანადგარი

პროდუქციის სტერილურობის განსაზღვრა წარმოადგენს ხარისხის კონტროლის მნიშვნელოვან ელემენტს ფარმაცევტიულ და კვების მრეწველობებში. სამკურნალო პრეპარატებისა და კვების პროდუქტების (მ.შ. სასმელების) სტერილურობის განსაზღვრისათვის საუკეთესო მეთოდს წარმოადგენს მემბრანული ფილტრაცია, ვინაიდან იგი საშუალებას იძლევა გამოიყოს პროდუქტიდან ყველა მინარევი მათი სიცოცხლისუნარიანობის განსაზღვრისათვის, შემოწმებული იქნეს სტერილურობაზე დიდი მოცულობები (რაც ზრდის მეთოდის მგრძობიარობას), გამარტივდეს სტერილურობაზე გამოცდის მეთოდი.



სურათი 1. ნანოფილტრაციული დანადგარი



სურათი 2. უკუოსმოსური დანადგარი

სურათი 1 და 2 მოცემული დანადგარები დამონტაჟებულია ინსტიტუტის ლაბორატორიებში და მთლიანად უზრუნველყოფენ მათ ნაწილობრივი და სრულად დემინერალიზებული წყლით.

4.	არაორგანული მარილების გავლენის კვლევა პოლიმერული მემბრანების ფორწარმოქმნის მექანიზმზე.	გ. ბიბლიეშივილი ნ. გოგესაშვილი	ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავების განყოფილება
5.	ორგანული ფორწარმოქმნელების მოლური მასისა და კონცენტრაციის გავლენა პოლიმერული მემბრანების მახასიათებლებზე. ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ-ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავება	გ. ბიბლიეშივილი ნ. გოგესაშვილი	- ” -

თემა 4. აცეტატცელულოზური მემბრანები ფართოდ გამოიყენება თხევადი ხსნარების დასაყოფად, წყლისა და სხვა ნივთიერებების გასასუფთავებლად. აღნიშნულ მემბრანებზე მოთხოვნა დიდია და თემის აქტუალობიდან გამომდინარე, აცეტატცელულოზური მემბრანების შექმნისა და კომერციალიზაციის მიზნით ინსტიტუტში ჩატარებულია სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები. ამ კვლევების საფუძველზე უნდა დაგვედგინა აცეტატცელულოზას მაფორმირებელი ხსნარების შემადგენლობები, არაორგანული ფორწარმოქმნელი აგენტების როლი მემბრანების ჩამოყალიბების პროცესებში და მიღების ტექნოლოგიური რეჟიმები. მემბრანების მიღებისას პოლიმერულ მასალად გამოყენებული იყო აცეტატცელულოზა (აგ) $(C_6H_7O_2(OCH_3)_3)_n$, გამხსნელად- დიმეთილაცეტამიდი (C_3H_9ON) ფორწარმოქმნელ აგენტებად $CaCl_2$ და $MgCl_2$ და არაგამხსნელად წყალი. როგორც ცნობილია, მემბრანების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული აცეტატცელულოზისა და ფორწარმოქმნელის კონცენტრაციაზე, გამხსნელის ტიპზე, არაგამხსნელის ბუნებაზე, მის კონცენტრაციაზე. ასევე, საკოაგულაციო აბაზანის შემადგენლობაზე და ტემპერატურაზე.

აცეტატცელულოზას 3,4,5,6%-იანი კონცენტრაციის მქონე ხსნარებზე ფორწარმოქმნელების $CaCl_2$ -ისა და $MgCl_2$ -ის კონცენტრაციის (2,4,6%) გავლენის დასადგენად ჩატარდა 24 ექსპერიმენტი (ცხრილი 1).

N	აცეტატცელულოზას კონც. მას.%	დიმეთილაცეტამიდის კონც. მას.%	$CaCl_2$ -ის კონც.მას.%	$MgCl_2$ -ის კონც.მას.%
1	3	95	2	-
2	3	93	4	-

3	3	91	6	-
4	4	94	2	-
5	4	92	4	-
6	4	90	6	-
7	5	93	2	-
8	5	91	4	-
9	5	89	6	-
10	6	92	2	-
11	6	90	4	-
12	6	88	6	-
13	3	95	-	2
14	3	93	-	4
15	3	91	-	6
16	4	94	-	2
17	4	92	-	4
18	4	90	-	6
19	5	93	-	2
20	5	91	-	4
21	5	89	-	6
22	6	92	-	2
23	6	90	-	4
24	6	88	-	6

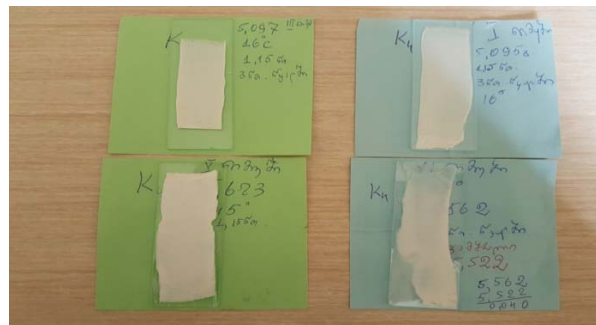
ცხრილი 1. აცეტატცელულოზური კომპოზიციების შემადგენლობები

აცეტატცელულოზური მემბრანების მიღების ყველაზე მნიშვნელოვანი საფეხურის, ფაზური ინვერსიის პროცესის შესწავლა წარმოებდა ინსტიტუტში შექმნილ ავტომატიზირებულ ლაბორატორიულ დანადგარზე (სურათი1). აღნიშნული ავტომატიზირებული დანადგარი წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას ფაზური ინვერსიის პროცესის დეტალურად შესასწავლად, განსხვავებული პოლიმერული შემადგენლობის კომპოზიციებისთვის. დანადგარზე შესაძლებელია გამოლექვის პროცესის კონტროლი, აგრეთვე საკოაგულაციო აბაზანაში ნიმუშის ჩაშვების კუთხის, ჩაშვების სიჩქარისა და საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურული პარამეტრების დადგენა.



სურათი1. ფაზური ინვერსიის ავტომატიზირებული ლაბორატორიული დანადგარი

დადგენილია პოლიმერული კომპოზიციების მომზადების ოპტიმალური პირობები: კერძოდ, მომზადების ტემპერატურული ინტერვალი (25-30°C) და კომპოზიციის მომზადების დრო (3სთ). სურათი 2-ზე მოცემულია სხვადასხვა კომპოზიციიდან აც /დიმეთილაცეტამიდი/ $CaCl_2$ / წყალი და აც /დიმეთილაცეტამიდი / $MgCl_2$ / წყალი სისტემიდან მომზადებული მემბრანები. ცხრილიდან ჩანს, რომ ექსპერიმენტები ჩატარებულია აცეტატცელულოზას სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებზე. ჩვენთვის საინტერესო იყო იმის დადგენაც, თუ რომელი კონცენტრაციის ხსნარებზე ექნებოდა უფრო მეტი გავლენა ფორწარმომქმნელებად არაორგანული მარილების დამატებას და ასევე საინტერესო იყო, ამ ორი მარილიდან რომელი იქნებოდა უფრო ეფექტური. მაფორმირებელი ხსნარების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებისა და ფაზური დაყოფის პროცესების შესწავლამ აჩვენა, რომ მარილების დამატება ჩვენს მიერ დამზადებულ ყველა კონცენტრაციის აცეტატცელულოზას მაფორმირებელ ხსნარში ზრდის ხსნარის სიბლანტეს. კალციუმისა და მაგნიუმის ქლორიდიანი ხსნარების ფაზური მდგრადობა უფრო მცირეა, ვიდრე საწყისი აცეტატცელულოზას ხსნარებისა დიმეთილაცეტამიდში. უფრო მაღალი სიბლანტე გააჩნია ფორწარმომქმნელის შემცველ უფრო მაღალი კონცენტრაციის აცეტატცელულოზას (5-6%) ხსნარებს. მცირე განსხვავება შეინიშნება ხსნარების ფაზური დაყოფის სიჩქარეებში, განსაკუთრებით გამოირჩევა კალციუმის ქლორიდიანი კომპოზიციები, რომლებშიც მემბრანის ფორმირების პროცესი რბილად მიმდინარეობს.

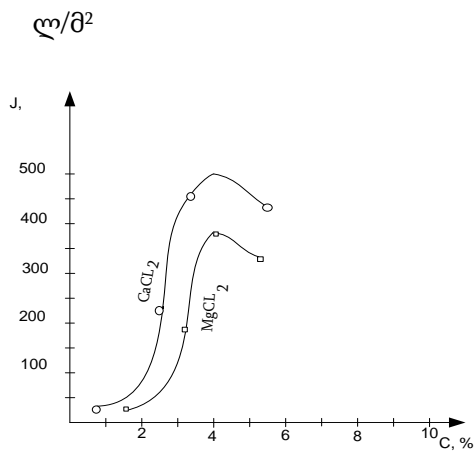


სურ. 1. აცეტატცელულოზას (აც) სხვადასხვა კომპოზიციიდან მიღებული მემბრანები.

კალციუმის ქლორიდიან აკვებში ფორმირდება უფრო გამოხატული ანიზოტროპული სტრუქტურა,

ვიდრე მაგნიუმის ქლორიდის შემთხვევაში. მიღებული სტრუქტურები საგრძნობლად განსხვავდება გამოსავალი პოლიმერის სტრუქტურისგან.

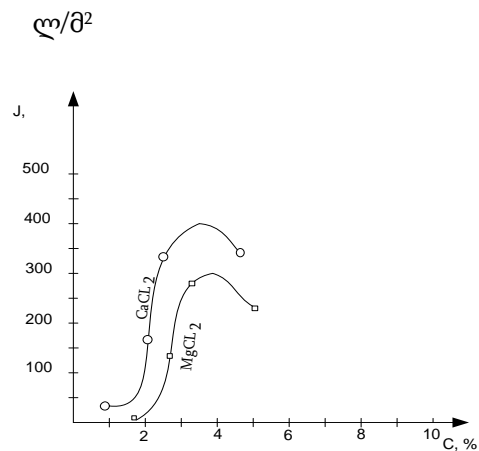
ცდის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ კალციუმისა და მაგნიუმის ქლორიდების არსებობა აცეტატცელულოზას ხსნარებში იწვევს ზემოლექულური ნაწილაკების ზომების გაზრდას. შედეგად მიიღება ღიაფოროვანი ანიზოტროპიული სელექციური შრის მქონე მემბრანები. კალციუმის ქლორიდის შემთხვევაში ასოციატების მიერ წარმოქმნილი ზემოლექულური ნაწილაკები შედგება 30-40 მაკრომოლეკულისგან, ხოლო მაგნიუმის ქლორიდიან ხსნარებში 15-25 მაკრომოლეკულისგან. შესწავლილია სხვადასხვა კონცენტრაციისა და განსხვავებული კომპოზიციებისგან მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები. შესაბამისი ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავების შედეგად დადგენილია ხვედრითი წარმადობების დამოკიდებულება ფორწარმოქმნილი მარილების კონცენტრაციებისგან (ნახაზი (1) და ნახაზი(2)). ამასთან აღსანიშნავია, რომ აცეტატცელულოზას (აც) დაბალკონცენტრირებულ ხსნარებში მარილების კონცენტრაციის გაზრდა (ნახაზი1) მემბრანების წარმადობების ზრდაზე უფრო ნაკლებ ეფექტურ გავლენას ახდენს, ვიდრე აცეტატცელულოზას მაღალი კონცენტრაციების (ნახაზი 2) შემთხვევაში.



ნახაზი 1. აც/დმაა 6%-იან ხსნარში

მარილების კონცენტრაციის გავლენა

მემბრანების წარმადობაზე.



ნახაზი 2. აც/ დმაა 3%-იან ხსნარში

მარილების კონცენტრაციის გავლენა

მემბრანების წარმადობაზე.

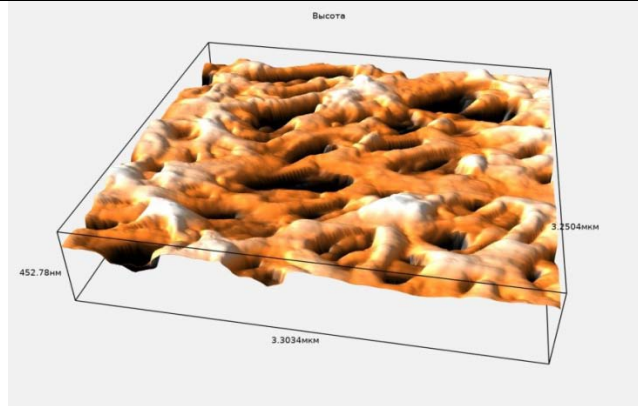
მაფორმირებელ ხსნარებში წარმოქმნილი ზემოლექულური ნაწილაკების წარმადობასთან დამოკიდებულების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ ზემოლექულური ნაწილაკები ხსნარში გარკვეულ ზომამდე არ ამჟღავნებენ შეღწევადობას. მხოლოდ, მოცემული კრიტიკული ზომის მიღწევის შემდეგ

ხდება მემბრანების წარმადობის მკვეთრი ზრდა, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ წარმადობის ვარირება შესაძლებელია როგორც მარილების კონცენტრაციის, ასევე მაფორმირებლად გამოყენებული მარილის ტიპის მიხედვით.

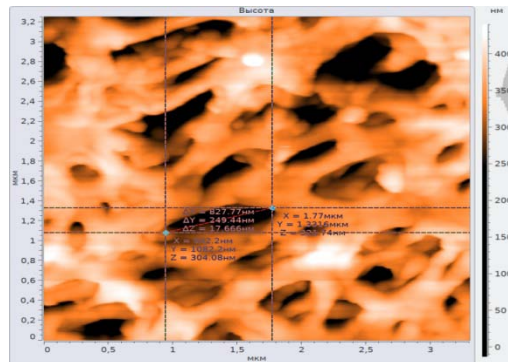
ამრიგად, CaCl_2 -ისა და MgCl_2 -ის როგორც ფორწარმომქმნელების სპეციფიურობა, დაკავშირებულია აცეტატცელულოზას ხსნარებში განსაზღვრული სტრუქტურების მქონე ჩანასახების შექმნასთან, რისი შედეგიცაა ფაზური დაყოფის პროცესის ხასიათისა და ღიაფოროვანი სტრუქტურის სელექციური შრის მქონე მემბრანების მიღება. ექსპერიმენტებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ფაზური ინვერსიის მეთოდით ფოროვანი მასალების შექმნისას ფორწარმომქმნელი აგენტების ფუნქციაა, მაფორმირებელ ხსნარებში კრიტიკული ზომის ზემოლექულური ნაწილაკების შექმნა, რომლებიც შეპირისპირებულია ულტრაფილტრაციული მემბრანების ფორების ზომებთან. ფაზური დაყოფის ნუკლეაციური მექანიზმიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ზემოლექულური ჩანასახები უშუალოდაა დაკავშირებული ახალი ფაზის ჩანასახის ფორმირებასა და ზრდასთან და მათ შემდგომ სივრცით განლაგებასთან საბოლოო მემბრანის ზედაპირულ ფენებში. ფაზური დაყოფის პროცესში დაბალმოლექულური ფაზის ჩანასახები წარმოიქმნიებიან და შეუძლიათ გაზრდა ზემოლექულურ წარმონაქმნებს შორის, მკაცრად განსაზღვრულ უბნებში და შემდგომი შერწყმის შედეგად წარმოქმნიან ურთიერთ გამჭოლ ფორებს. ამასთან მნიშვნელოვანია ის, რომ CaCl_2 -ის შემთხვევაში წარმოქმნილი ასოციატების ზომები დიდია და წარმადობებიც უფრო მაღალია, ვიდრე MgCl_2 -ის შემთხვევაში (ნახაზი 1 და ნახაზი 2) და როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული, პოლიმერის უფრო მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში წარმადობის მნიშვნელობები უფრო მეტად იზრდება.

ჩატარებული კვლევებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ მაფორმირებელი აგენტების დამატება არის მემბრანის მორფოლოგიის რეგულირების ერთ-ერთი ინსტრუმენტი, მაფორმირებელი ხსნარების თერმოდინამიკური და რეოლოგიური თვისებების შეცვლის საშუალებით, ან ფაზური ინვერსიის პროცესის კინეტიკის ცვლილების დახმარებით.

მემბრანების ზედაპირის ტოპოგრაფია შესწავლილია მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის მასკანირებელ ზონდურ მიკროსკოპზე (სურათი 1 და სურათი 2). მიღებული მემბრანის ფორის ზომები განსაზღვრულ იქნა ინსტიტუტში შექმნილ ბუმტულაკის წერტილის წარმოქმნის განმსაზღვრელ ხელსაწყოზე. მემბრანების ფორის ზომებია 0,5–1,5 მკმ.



სურათი 1. 6% - იანი აცეტატცელულოზა /დმმა/ CaCl_2 /წყალი - მემბრანის ტოპოგრაფიული მიკროსურათი 3D გამოსახულებაში (x,y,z) (x10000)



სურათი 2. 6% - იანი აცეტატცელულოზა /დმმა/ CaCl_2 /წყალი მემბრანის მიკროსურათი 2 D განზომილებაში (x,y) (x10000)

სურათი1- ზე სკანირებულია გეგმაში მემბრანის (3.3034x3,2504)მკმ² ფართის მქონე ზედაპირი, სისქით 452,78 ნმ. სურათი 2-ზე კი მოცემულია 827,77 ნმ სიგრძისა და 249,44 ნმ სიგანის მქონე ფორა. მემბრანის სტრუქტურა არის ბადისებური, ღია ფოროვანი, ფორები არასიმეტრიულად არის განლაგებული, სრულად არის ჩამოყალიბებული და ურთიერთ გამჭოლია.

ჩვენს მიერ ჩატარებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების საფუძველზე დადგენილია:

1. აცეტატცელულოზას და სხვა ქიმიური კომპონენტებიდან პოლიმერული კომპოზიციების მიღების მეთოდები (ტემპერატურისა და დროის ფაქტორის გათვალისწინებით).
2. შესწავლილია აცეტატცელულოზას მაფორმირებელ ხსნარებზე CaCl_2 -ის და MgCl_2 -ის, როგორც მაფორმირებელი აგენტების სპეციფიური როლი და ფორწარმოქმნის მიმდინარეობის მექანიზმი.
3. შესწავლილია მაფორმირებელი აგენტების კონცენტრაციების გავლენა მიღებული მემბრანების შეღწევადობაზე და დადგენილია აღნიშნული ფორწარმოქმნელებიდან CaCl_2 -ის უპირატესობა MgCl_2 -თან შედარებით.
4. ინსტიტუტის მასკანირებელ ზონდურ მიკროსკოპზე შესწავლილია მიღებული მემბრანების ზედაპირის გეომეტრიის სამგანზომილებიანი და ორგანზომილებიანი გამოსახულებები.

თემა 5. პოლიმერული მემბრანების მიღებისას ფორწარმომქმნელებად გამოიყენება როგორც დაბალმოლეკულური ნაერთები, ასევე პოლიმერული დანამატები. ფორწარმომქმნელებს ზოგადად მოეთხოვებათ: რომ იხსნებოდნენ როგორც პოლიმერის ხსნარში, ასევე გამომლექავ ხსნარში და შეამცირონ გამხსნელის თერმოდინამიკური მახასიათებლები მემბრანის წარმომქმნელი პოლიმერის მიმართ და მაფორმირებელი ხსნარი გადაიყვანონ მეტასტაბილურ მდგომარეობაში.

ცნობილია, რომ დანამატების შეტანა პოლიმერი-გამხსნელის სისტემაში ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას მემბრანის სტრუქტურის ფორმირებაზე და განსაზღვრავს მის შეღწევადობას. ისეთი დანამატები, როგორიცაა პოლივინილპიროლიდონი, პოლიეთილენგლიკოლი და სხვები სველი ფორმირებისა და სპონტანური გელწარმოქმნის დროს ეფექტურად არეგულირებენ მაკროსიცარიელებს მემბრანის სუბსტრუქტურაში, ასევე ფორიანობას, ფორის ზომას, ჰიდროფილურობასა და სხვა თვისებებს.

აღნიშნული ფორწარმომქმნელები პოლივინილპიროლიდონი და პოლიეთილენგლიკოლი სხვადასხვა მოლეკულური მასით წარმოადგენენ ყველაზე ფართოდ გამოყენებულ დანამატებს. ისინი წარმოადგენენ პოლიმერული კომპოზიციის სიბლანტისა და თერმოდინამიკური მახასიათებლების ეფექტურ რეგულატორებს და განსაზღვრავენ ფაზური ინვერსიის პროცესის კინეტიკას მემბრანების მიღების დროს. მაგრამ დღესდღეობით სრულად მაინც არ არის დადგენილი ფორწარმომქმნელი სტრუქტურების მქონე მემბრანების ფორმირების მექანიზმი ფორწარმომქმნელების შეტანისას პოლიმერის ხსნარში. მიჩნეულია, რომ მემბრანის გამყოფი შრის სტრუქტურის წარმოქმნა ხდება პოლიმერის მატრიცაში ინკლუდირებული ხსნადი პოლიმერის გამოდევნის შედეგად (ფაზური ინვერსიის დროს) წარმოქმნილი ურთიერთგამჭოლი ფორების გაჩენის გამო.

ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა:

1. აცეტატცელულოზას(აც) ისეთი ხსნარების მიღება და შესწავლა დიმეთილაცეტამიდში, რომლებიც შეიცავენ სხვადასხვა მოლეკულური მასის პოლიეთილენგლიკოლს (400,1000, 2000) სხვადასხვა პროცენტული (5,10 და 20%) შემცველობით.

2. პოლიეთილენგლიკოლის (პეგ)-ის მოლეკულური მასის და კონცენტრაციის გავლენის დადგენა მიღებული მემბრანების მახასიათებლებზე.

აღნიშნული სამუშაოებისთვის გამოყენებული იყო აცეტატცელულოზას 15%-იანი ხსნარი დიმეთილაცეტამიდში. პოლიმერული კომპოზიციების შემადგენლობები და მიღებული მემბრანების წარმადობები მოცემულია ცხრილში 1. კომპოზიციები მომზადებულია ლაბორატორიულ პირობებში 4 სთ –ის განმავლობაში მუდმივი მორევის პირობებში

(30-35 °C). გამოლექვა წარმოებდა 20°C ტემპერატურაზე წყალში.

აც-ს კონც. მას.%	პეგ-ის კონც., მას.%	პეგ-ის მოლეკულური მასა გ მოლი ⁻¹	r ,ნმ	Nx10 ¹¹	ხვედრითი წარმადობები, ლ/მ ²
------------------	---------------------	---	-------	--------------------	--

15	20	400	220	0,12	750
15	20	600	180	0,25	620
15	20	1000	110	21	510
15	10	400	190	0,3	680
15	10	600	100	0,45	530
15	10	1000	160	25	420
15	5	400	120	0,3	30
15	5	600	135	0,15	42
15	5	1000	101	32	150

ცხრილი 1. პოლიმერული კომპოზიციების ხსნარების მახასიათებლები და

მიღებული მემბრანების წარმადობები

სხვადასხვა მოლეკულური მასის პოლიეთილენგლიკოლის შემცველი პოლიმერული კომპოზიციების სიბლანტე შესწავლილია ვისკოზიმეტრული მეთოდით, ხოლო ნაწილაკების ზომა და რიცხვი ხსნარებში განსაზღვრულია სიმღვრივის სპექტრის მეთოდით(3).

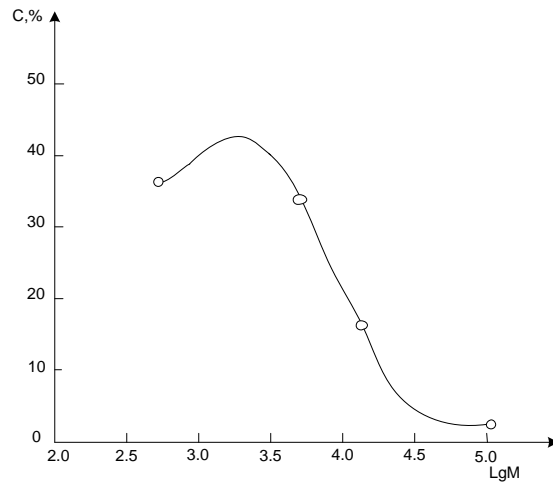
$$R = \frac{\alpha}{2\pi\mu_0} \lambda_{საშ}$$

α -ფაქტორი, განისაზღვრება ნაწილაკის წრფივი ზომის შეფარდებით სინათლის ტალღის სიგრძესთან, $\lambda_{საშ}$ -დან გამოთვლილი ტალღის სიგრძის დიაპაზონის საშუალო, μ_0 -დისპერსული ფაზის გარდატეხის მაჩვენებელი.

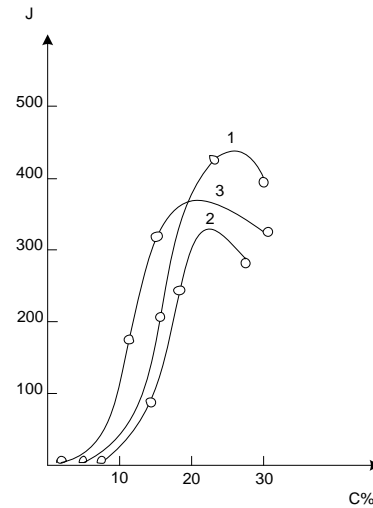
ნაწილაკების რიცხვი ხსნარის მოცემულ ერთეულში გამოითვლება ფორმულით:

$$N = 12,6 \frac{\tau_{საშ} \mu_0^2}{K(\alpha, m) \lambda_{საშ}^2} \times 10^{17}$$

$\tau_{საშ}$ - სისტემის სიმღვრივე $\lambda_{საშ}$ -ზე, $K(\alpha, m)$ - გაბნევის დიაპაზონი.



ლ/მ² სთ



ნახაზი 1. 15%-იანი აც/დმმა/ LiCl/ ხსნარის ფაზური დიაგრამის ფრაგმენტი, რომელიც შეიცავს განსხვავებული მოლური მასის პოლიეთილენგლიკოლს.

ნახაზი 2. მემბრანების შეღწევადობის დამოკიდებულება ფოწარმომქმნელის კონცენტრაციისაგან, 1-პეგ- 400, 2-პეგ- 600 , 3-პეგ- 1000.

ნახაზი 1-ზე მოცემულია 15%-იანი აც/დმმა//LiCl/ ხსნარის ფაზური დიაგრამის ფრაგმენტი, რომელიც შეიცავს სხვადასხვა მოლური მასის პეგ-ს. დიაგრამის ანალიზიდან ჩანს, რომ პეგ-ის მოლური მასის 400-1000გმოლი⁻¹ დიაპაზონში ხსნარები არიან ჰომოგენური (25-30%) პეგ-ის შემცველობით. მაშინაც კი, როდესაც პოლიეთილენგლიკოლის კონცენტრაცია აღემატება აცეტატცელულოზას კონცენტრაციას. პეგ-ის მოლური მასის ზრდასთან ერთად ჰომოგენური ხსნარის არსებობის არე მცირდება. უფრო მაღალი მოლური მასის შემთხვევაში (2000-6000 გმოლი⁻¹) სტაბილური ხსნარების მიღება შეიძლება მხოლოდ 4-9%-იანი ხსნარების მომზადებისას 20°C ტემპერატურაზე (3).

მიღებული მემბრანების კვლევამ აჩვენა, რომ ნებისმიერი მოლური მასის პოლიეთილენგლიკოლის დამატება აც/დმმა//LiCl/სისტემაში აფერხებს მაკროზოლების წარმოქმნას ფოროვან მატრიცაში და აუმჯობესებს მემბრანების სიმაგრეს. პეგ-ის მოლური მასის ზრდასთან ერთად ადგილი აქვს მემბრანების სელექციური შრის ზედაპირის ხორკლიანობის გაზრდას. ამის მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს პოლიეთილენგლიკოლის მაღალმოლეკულური მასის შემცველი კომპოზიციების მცირე ძვრადობა, რაც საკოაგულაციო აბაზანაში მაფორმირებელი ხსნარის ჩაშვებისას საწყის ეტაპზე

იწვევს ფაზური დაყოფის პროცესის წარმართვას ნუკლეაციური მექანიზმით. პეგ-ის მოლური მასის ზრდა საერთო ჯამში ამცირებს ფორის ზომას, მაგრამ იზრდება ფორიანობა და შესაბამისად მემბრანების ხვ. წარმადობა.

ნახაზი 2-ზე მოცემულია მემბრანების შელწევადობის დამოკიდებულება ფორწარმომქმნელის კონცენტრაციისაგან, (1-პეგ 400 გმოლ⁻¹, 2-პეგ 600 გმოლ⁻¹, 3-პეგ 1000 გმოლ⁻¹). ამ ნახაზიდან და მიღებული მემბრანების კვლევებიდან დადგენილია, რომ მაღალი კონცენტრაციის შემცველი ფორწარმომქმნელი ხსნარებიდან მაღალწარმოებადი მემბრანების მიღება შეიძლება მხოლოდ 400 გმოლ⁻¹ მასის პოლიეთილენგლიკოლისგან. უფრო მაღალი მოლური მასის პოლიეთილენგლიკოლის შემცველი ხსნარებიდან შეუძლებელია უდეფექტო მემბრანების მიღება. დადგენილია, რომ პოლიეთილენგლიკოლის 5%-იანი ხსნარებიდან შეიძლება მხოლოდ იმ კომპოზიციების გამოყენება მემბრანების მისაღებად, რომლებიც შეიცავენ 1000 გმოლ⁻¹ მოლური მასის მქონე პოლიეთილენგლიკოლს.

პეგ-ის კონცენტრაციის შემცირებამ მოგვცა საშუალება აც/დმმა/LiCl / პოლიეთილენგლიკოლის (მოლური მასით 400-600გმოლ⁻¹) გამოყენებით ისეთი ნიმუშების მიღების, რომლებსაც გააჩნიათ შემცირებული ფორის ზომები. მაგრამ ასეთი მემბრანების ხვედრითი წარმადობები პეგ-ის კონცენტრაციის შემცირების გამო მცირდება, ხოლო შეკავების კოეფიციენტი იზრდება. ზოგადად პეგ-400 და პეგ-600-ის შემთხვევაში კონცენტრაციის გაზრდით 5-დან 20%-მდე იზრდება მიღებული მემბრანების ხვ. წარმადობები.

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ აცეტატცელულოზას მუდმივი კონცენტრაციის შემთხვევაში პეგ-ის მაღალი კონცენტრაციის (20%) შემცველი ხსნარების გამოყენებისას მაღალწარმოებადი მემბრანების მიღება შეიძლება მხოლოდ პეგ-400 გმოლ⁻¹-ის გამოყენებისას, ხოლო, მაღალმოლეკულური მასის პეგ-ის გამოყენება მიღებული მემბრანების დეფექტების გამო არ არის მიზანშეწონილი. პეგ-ის 5%-იანი კონცენტრაციის ხსნარების შემთხვევაში მემბრანების მიღება შესაძლებელია მხოლოდ პეგ-1000 გმოლ⁻¹-ის გამოყენებისას.

6.	სადაწნეო საკანში ლამინარული და ჰიბრიდული(ლამინარული-ტურბულენტური) მოძრაობების დროს მემბრანის ზედაპირზე წარმოქმნილი დანალექები. მემბრანის ნალექიანი	გ. ბიბილეიშვილი ლ. ყუფარაძე	მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება.
----	--	--------------------------------	--

7.	ზედაპირის გასუფთავების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. მათემატიკური მეცნიერებები- გეომეტრია, მექანიკის თემატიკური პრობლემები	გ. ბიბილეიშვილი ლ. ყუფარაძე	მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება.
----	---	--------------------------------	--

თემა 6. მემბრანის დანადგარებში უსაფრთხო და ხანგრძლივი ექსპლუატაცია ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საკითხთაგანია. როგორც ცნობილია, ბარომემბრანული პროცესებს თან ახლავს მემბრანის ზედაპირზე დანალექის წარმოქმნა. მემბრანული დანადგარის მუშაობის შედეგად დროთა ვითარებაში მცირდება წარმადობა, რომელიც განპირობებულია მემბრანის დაბინძურებით, მცირედ გასახსნელი მარილებითა და მიკრონაწილაკებით. მკვრივი ნალექები მემბრანის ზედაპირზე ქმნიან ბარიერს და ამცირებენ ფილტრაციულ ზედაპირებს, რასაც მიყვავართ დანადგარების წარმადობის შემცირებამდე. ამ დროს საკანში ვითარდება კონცენტრაციული პოლარიზაცია, რადგან სასაზღვრო ფენა იზრდება დანალექზე. მემბრანულ აპარატში მიმდინარეობს ტანგენციალური ფილტრაცია. ფილტრაციის ეს სქემა უფრო მეტად გამოიყენება, რადგან მემბრანის ზედაპირზე შეკავებული კომპონენტების შეგროვების სიჩქარე და მასთან დაკავშირებული დაბინძურება უფრო ნაკლებად ინტენსიურია, ვიდრე ფილტრაციის სხვა სქემების გამოყენებისას. სამუშაოს მიზანია მემბრანული დანადგარის პროექტირებისათვის, მასში გამდინარე სითხის ჰიდროდინამიკური რეჟიმების კლასიფიკაციისას, დადგენილ იქნას თუ რომელი რეჟიმი უფრო მეტად უზრუნველყოფს აპარატის წარმადობის შენარჩუნებასა და ექსპლუატაციის გახანგრძლივებას.

ამ მიზნით, განხილული იყო სადაწნეო საკანი, რომელიც წარმოადგენს ოთხკუთხა პრიზმას, რომლის განივი კვეთი არის მათკუთხედი. პრიზმის ერთ-ერთი გვერდი განლაგებულია ჰორიზონტალურად და არის მემბრანის ფირფიტა. სადაწნეო საკანში ჰიდროდინამიკური პროცესის აღსაწერად გამოყენებულია ბლანტი უკუმში სითხის ნავიე-სტოქსის განტოლებები. განხილული იყო სითხის დინების ლამინარული რეჟიმი, რომლის დროსაც სითხის სიჩქარეს კვეთში აქვს შემდეგი სახე:

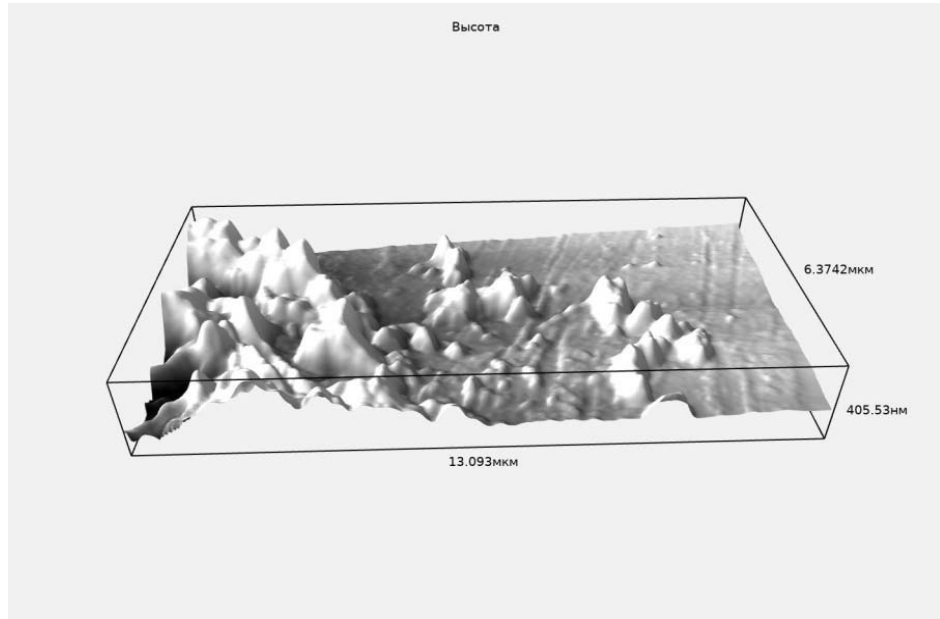
$$V_z(z, y) = 6 \times v_z \times \left(\frac{z}{h} - \frac{z^2}{h^2} \right)$$

ხოლო, ჰიბრიდული (ლამინარულ- ტურბულენტური) რეჟიმის დროს კი აქვს შემდეგი სახე:

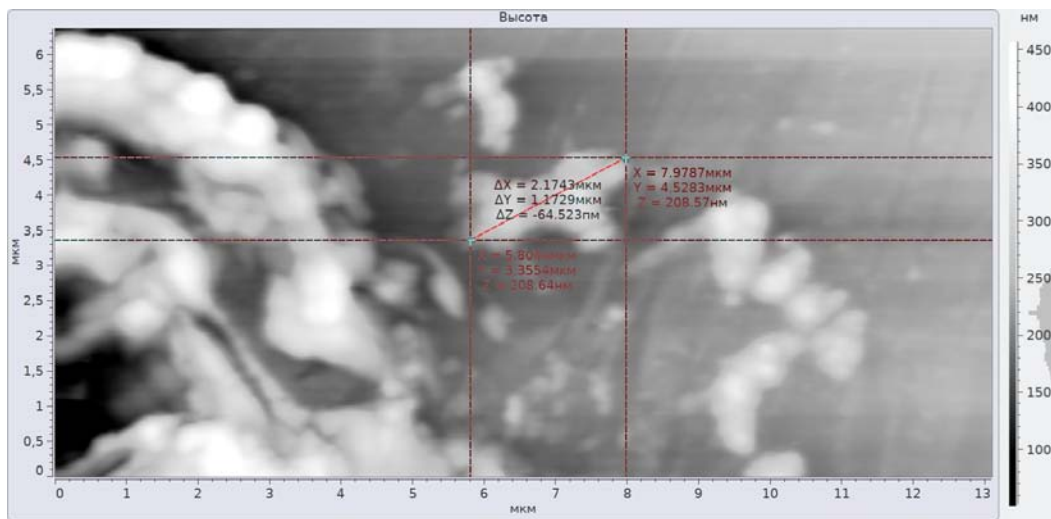
$$V_z(z, y) = 6 \times v_z \times \left(\frac{z}{h} - \frac{z^4}{h^4} \right)$$

დავუბრუნდეთ ბარომემბრანული პროცესებისას დროთა ვითარებაში მემბრანის ზედაპირზე წარმოქმნილ დანალექების თემას. როგორც ცნობილია, დანალექის მორფოლოგიური კვლევა მოიცავს დანალექის ფორმის, ნაწილაკების ზომებისა და ა.შ. კვლევას. ამ სამუშაოს შესასრულებლად გამოვიყენეთ მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის მასკანირებელ ზონდურ მიკროსკოპზე მიღებული სურათები: 1,2,3,4, რომელიც განსხვავებით

სხვა მიკროსკოპებისაგან , იძლევა საშუალებას მივიღოთ სურათი სივრცეში. აქ წარმოდგენილია სხვადასხვა რეჟიმებში ნამუშევარი მემბრანის ზედაპირების სურათები. სურათი 1-ზე და სურათი 2-ზე მიღებულია დანალექის გამოსახულება და დანალექის ზომები, როდესაც აპარატი მუშაობდა ლამინარულ რეჟიმში. მემბრანის მთლიანი ნაწილიდან გეგმაში ამოღებულია მართკუთხედი $(2,1743 \times 1,1733)$ (მკმ)². როგორც სურათიდან 1 ჩანს დანალექის ფორმა მრუდწირულოვანი ზედაპირია, რომელიც ეყრდნობა მრუდწირულ ძირს.



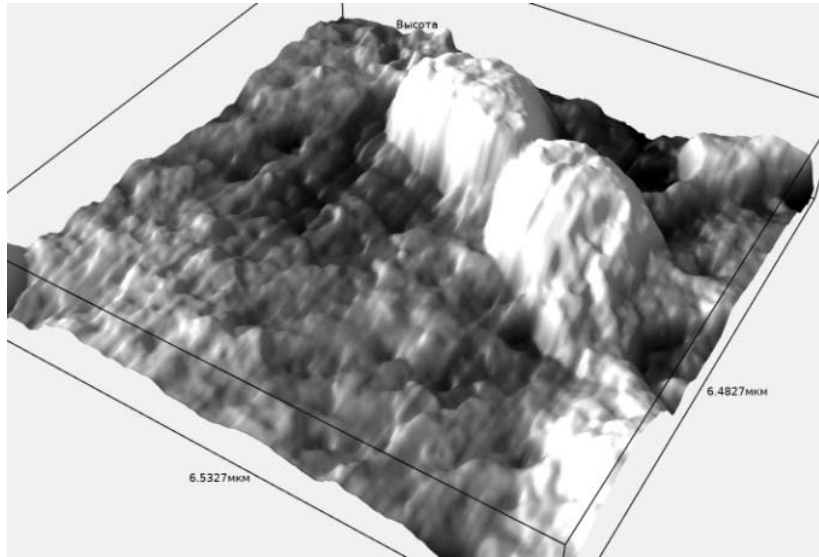
სურ.1



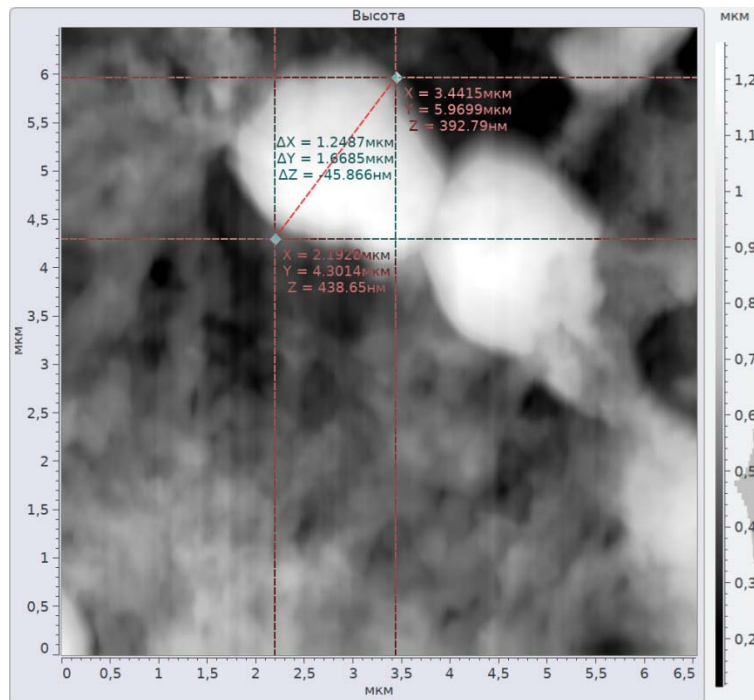
სურ.2

სურათი 3-ზე და სურათი 4-ზე მიღებულია დანალექის გამოსახულება და დანალექის ზომები, როდესაც აპარატი მუშაობდა ჰიბრიდულ რეჟიმში. მემბრანის მთლიანი ნაწილიდან გეგმაში

ამოღებულია მართკუთხედი (6,5327×5,482) (მკმ)². როგორც სურათი 1 - დან ჩანს , ამ შემთხვევაში დანალექის ფორმა მრუდწირულოვანი ზედაპირია, რომელიც ეყრდნობა მრუდწირულ ძირს. იგი მიახლოებით შეიძლება წარმოვადგინოთ წაკვეთილ პირამიდის სახით, რომლის სიმაღლე მიახლოებით 45,866 ნმ, მრუდწირული ძირი მიახლოებით შეიძლება წარმოვადგინოთ მართკუთხედის საშუალებით, რომლის ერთი გვერდი 1,2487 მკმ, ხოლო მეორე-1,66685 მკმ-ია.



სურ.3



სურ.4

სურათი 1 და სურათი 3 შედარებას მივყავართ დასკვნამდე, რომ ლამინარული რეჟიმის დროს მემბრანის ზედაპირის უფრო მეტი ფართობია ნალექიანი, ვიდრე ჰიბრიდული (ლამინარულ-ტურბულენტური) რეჟიმის დროს. სურათი 2 –ისა და სურათი 4-ის შედარება იძლევა საშუალებას გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ჰიბრიდული რეჟიმის დროს ხდება თითქმის ყველა ნაწილაკის გადარეცხვა რომელთა ზომები <1 მკმ-ზე. ამ შედარებებიდან გამომდინარე ჰიბრიდული (ლამინარულ-ტურბულენტური) რეჟიმში მუშაობა უფრო ეფექტურია, ვიდრე ლამინარულის დროს.

2. ლამინარული და ჰიბრიდული (ლამინარულ- ტურბულენტური) მოძრაობა სადაწნეო საკანში.

ჩვენს მიერ საექსპერიმენტო დანადგარზე ჩატარდა ცდები სხვადასხვა ჰიდროდინამიკურ რეჟიმებში. ცდების მონაცემები მოგვყავს ცხრილში 1. ორივე შემთხვევაში მემბრანის ფართი

$$S=8 \times 30 \text{ მმ}^2 = 240 \text{ მმ}^2 = 2,4 \text{ სმ}^2$$

ცხრილი 1

	$V_{\text{მატყა}}$ მლ	Δt	$Q_{\text{მატყა}}$ მლ/წმ	$V_{\text{ფილტრ}}$ მლ	Δt	$Q_{\text{ფილტრ}}$ მლ/წმ	P ატ	$J = \frac{Q}{w}$ მლ/(წმ \times სმ ²)
ლამინარული	250	26წთ 46 წმ =1606 წმ	0,1559	3,5	10წთ =600წმ	0,00583	1	0,002429
ჰიბრიდული	250	24წთ 9 წმ =1449 წმ	0,1739	250	10წთ 13წმ =1449 წმ	0,408	1	0,17

როგორც ცხრილიდან ჩანს, მემბრანის წარმადობა ჰიბრიდული რეჟიმის დროს ბევრად უფრო მეტია, ვიდრე ლამინარულის დროს.

თემა 7. ბარომემბრანულ პროცესებს თან ახლავს მემბრანის ზედაპირზე დანალექის წარმოქმნა. რის გამოც საინტერესო იყო ზედაპირის გასუფთავების საკითხის კვლევა. ნალექიანი ზედაპირების გასუფთავების რამდენიმე მეთოდი არსებობს. ესენია: ქიმიური, მექანიკური და წყლის ჭავლით გასუფთავება. როგორც ცნობილი ა, წყლის ჭავლით გასუფთავების მეთოდი უზრუნველყოფს ეფექტურ ხარისხს და ამ მეთოდს ანიჭებს დამატებით უპირატესობას ეკოლოგიურად , ვიდრე დანარჩენ ორს.

როგორც ცნობილია, მემბრანები სხვადასხვანაირია. მათი შერჩევა დამოკიდებულია სითხის კონცენტრაციისა და გასასუფთავებელი წყლის რაოდენობისგან. მემბრანები ფორების ზომების მიხედვით იყოფა ოთხ ჯგუფად: მიკროფილტრაციული, ულტრაფილტრაციული, ნანოფილტრაციული და უკუოსმოსი. თითოეული მათგანი განსხვავდება დაკავებული (დაბინძურებული) მოლეკულის სიდიდისაგან (ზომისაგან). სითხის გაწმენდის სისტემაში გამოიყენება:

1. მექანიკური ფილტრაცია მიკრონაწილაკებისაგან გასასუფთავებლად. ესენია ქვიშა, გრანულომეტრიული აქტიური ნახშირი, ნახშირის მტვერი. ფისების გრანული და ა. შ. , რომელთა

ზომები 1 - 1000 მიკრონამდია .

2. მიკროფილტრაცია მიკრონაწილაკებისაგან და მიკრომოლეკულებისაგან გასასუფთავებლად. ესენია ალბუმინები, საღებავების პიგმენტები, ბაქტერიები, თამბაქოს ბოლი, ნახშირის მტვერი, ჟელატინი, აზბესტის ბოჭკოები, ჟელატინის, თიხის ფხვნილი და ა. შ. , რომელთა ზომებია 0,1-10 მიკრონამდია ;

3. ულტრაფილტრაცია მიკრომოლეკულებისაგან და მოლეკულებისაგან გასასუფთავებლად. ესენია თიხის მტვერი, ალბუმინი, მური, თამბაქოს ბოლი, ლატექსი, სინთეტიკური საღებავი, შაქარი, ვირუსები, კაჟიანი ემულსია და ა.შ. , რომელთა ზომები 0,01-0,1 მიკრონია;

4. ნანოფილტრაცია - მოლეკულებისაგან გასასუფთავებლად; ესენია პესტიციდები, ენდოქსიდები, პერსიციდები, შაქარი, ხსნადი მარილები, ვირუსები და სხვა, რომელთა ზომებია 0,001 – 0,01 მიკრონი

5. უკუოსმოსი იონებისაგან და მოლეკულებისაგან გასასუფთავებლად. ესენია ვირუსები, შაქარი, ხსნადი მარილები, ენდოქსიდები, პერსიციდები, რომელთა ზომებია 0,0001 – 0,001 მიკრონი.

ჩვენ ჩამოვთვალეთ თუ რომელი მემბრანული პროცესების დროს რა ზომის ნაწილაკების დალექვას მოსალოდნელი მემბრანის ზედაპირზე. ვინაიდან გარეცხვა – გასუფთავება ამ ნაწილაკებისაგან მემბრანის ზედაპირების გასუფთავებასთან არის დაკავშირებული, ამიტომ ეს საკითხი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხთაგანია. პირველი შეფასებისათვის შევიმუშავეთ გასუფთავება- გარეცხვის პროცესის კონცეფცია , როგორც ფიზიკური მოვლენისა, სათანადო იდეალიზაციით, რომელმაც მოგვცა საშუალება განგვესაზღვრა მარტივი თეორიული დამოკიდებულებები ისე, რომ მემბრანის საკანში გამდინარე წყლის ნაკადით შეიძლებოდეს დალექილი ნაწილაკის დამკვრა ადგილიდან და მისი გადატანა. წარმოვიდგინოთ , რომ დალექილ ნაწილაკს (ნაწილაკებს) აქვთ სფერული ფორმა, რომლის მოცულობაა - V , ხოლო სიმკვრივე - ρ_2 . მაშინ ამ მოცულობის მასა იქნება:

$$m_2 = V\rho_2 \quad (1)$$

წყლის ნაკადიც წარმოვიდგინოთ, რომ იგივე მოცულობის სფეროა, რომლის მასაც იქნება :

$$m_1 = V\rho_1 \quad (2)$$

ამისათვის განვიხილოთ დალექილი ნაწილაკის სითხის ნაკადით გადატანა. გამოვიყენოთ მოძრაობის რაოდენობის კანონი და დაჯახების თეორიის პრინციპები. ვთქვათ დალექილი ნაწილაკი და სითხის ნაკადის ნაწილაკი ერთ ჰორიზონტზე მდებარეობდნენ. ამგვარად გვაქვს ორი მატერიალური ნაწილაკი: I – წყლის მატერიალური ნაწილაკი, რომლის მასაა $-m_1$, სიჩქარე $-v_1$ II - დანალექსის მატერიალური ნაწილაკი, რომლის მასაა $-m_2$ და რომელიც გაჩერებულია და ამიტომ სიჩქარე $v_2=0$. ვთქვათ I მატერიალური წერტილი ეჯახება II მატერიალურ წერტილს ; დაჯახების შემდეგ I მატერიალური წერტილის სიჩქარე გახდა u_1 , ხოლო II მატერიალური წერტილის სიჩქარე u_2 ; I- მატერიალური წერტილის მოძრაობის რაოდენობა დაჯახებამდე იქნება m_1v_1 , დაჯახების შემდეგ კი m_1u_1 , ხოლო II მატერიალური ნაწილაკის მოძრაობის

რაოდენობა კი გახდება $m_2 u_2$. მოძრაობის რაოდენობის კანონის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ შემდეგი ტოლობა:

$$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 \quad (3)$$

ცოცხალი ძალის იპულსის განტოლებას ასეთ პირობებში კი ექნება შემდეგი სახე:

$$d(m_1 \cdot v^2) = d(m_1 \cdot u_1^2) + d(m_2 \cdot u_2^2) \quad (4)$$

თუ ტოლობაში (4) დიფერენციალის ნიშანს ჩამოვაცილებთ, მივიღებთ:

$$m_1 \cdot v_1^2 = m_1 \cdot u_1^2 + m_2 \cdot u_2^2 \quad (5)$$

განტოლება (3) –დან და განტოლება (5) –დან გამოვრიცხოთ u_1 , ამისათვის განტოლება (3)-დან განვსაზღვროთ u_1 , მივიღებთ:

$$u_1 = \frac{m_1 \cdot v - m_2 \cdot u_2}{m_1} \quad (6)$$

შევიტანოთ ეს მნიშვნელობა (5)-ში მივიღებთ:

$$m_1 \cdot v_1^2 = m_1 \left(\frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot u_2}{m_1} \right)^2 + m_2 \cdot u_2^2 \quad (7) \quad \text{და}$$

$$m_1 \cdot v_1^2 = m_1 \left(\frac{m_1^2 v_1^2 - 2m_1 m_2 v_1 u_2 + m_2^2 u_2^2}{m_1^2} \right) + m_2 \cdot u_2^2 \quad (8)$$

(8) გამოსახულებას თუ გავამარტივებთ მივიღებთ დამოკიდებულებას:

$$-2m_2 v_1 u_2 + \left(\frac{m_2}{m_1} + 1 \right) m_2 u_2^2 = 0 \quad (9)$$

(9)-ე განტოლობის ამოხსნით ვღებულობთ:

$$1. (u_2)_1 \neq 0 \quad (10)$$

$$2. (u_2)_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 \quad (11)$$

ტოლობა (11) წარმოვადგინოთ სახით:

$$u_2 = \frac{2}{1 + \frac{m_2}{m_1}} v_1 \quad (12)$$

თუ გავითვალისწინებთ (12)-ში ტოლობებს (1) და (2) მივიღებთ :

$$u_2 = \frac{2}{1 + \frac{m_2}{m_1}} v_1 \quad (13)$$

ეს ტოლობა, გვიჩვენებს, რომ დაჯახების შედეგად უძრავი ნაწილაკი შეიძენს u_2 სიჩქარეს, რომელიც წყლის ნაწილაკის სიჩქარე- v_1 –ზეა დამოკიდებული და ასევე წყლისა და დალექილი ნაწილაკის სიმკვრივეზე.

8.	<p>თბილისის ზღვის წყალში შეწონილი ნაწილაკებისა და ქიმიური კომპონენტების რაოდენობის რეგულირება ბარომემბრანული პროცესების გამოყენებით.</p> <p>ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ- ადამიანისა და ბიოსფეროს ქიმიური დაცვის პრობლემათა დამუშავება</p>	მ.მამულაშვილი	ფიზიკურ - ქიმიური ანალიზის ლაბორატორია.
----	---	---------------	---

თემა 8. ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა საქართველოს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წყალსაცავის, თბილისის ზღვის წყალი. შესწავლილი იქნა თბილისის ზღვის წყალში შეწონილი ნაწილაკებისა და ქიმიური კომპონენტების რაოდენობა. წყლის სიმღვრივე განსაზღვრული იქნა ხელსაწყოს საშუალებით - "მუტნომეტრი". სიმღვრივე განისაზღვრა საწყის სინჯში - 6,33 FNU, შემდეგ სინჯი დამუშავდა მემბრანულ დანადგარზე მიკროფილტრაციული და ნანოფილტრაციული მეთოდებით. ნანოფილტრაციის შემდგომ სიმღვრივე თითქმის მთლიანად იქნა მოშორებული - 0,06 FNU. სინჯში განსაზღვრული იყო აგრეთვე Ca⁺⁺ - იონების რაოდენობა იონომერის მეშვეობით. გამოყენებული იყო კალციუმის მემბრანული ელექტროდი. იონების რაოდენობა განისაზღვრა როგორც საწყის სინჯში, ისე მიკრო და ნანოფილტრაციის შემდეგ მიღებულ ფილტრატში.

ცხრილი 1.

ზღვის წყალი	სიმღვრივე FNU	Ca ²⁺ მგ/ლ
საწყისი	6,33	120
მიკროფილტრაცია	0,18	116
ნანოფილტრაცია	0,06	83

ანალიზის ფიზიკო-ქიმიური მეთოდებით განისაზღვრა შემდეგი იონები:

სულფატების მნიშვნელოვანი რაოდენობა წყალსაცავებში გვხვდება ორგანიზმების კვდომისას, ხმელეთისა და წყლის მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ნივთიერებების დაჟანგვითა და მიწისქვეშა წყლებით. წყალსაცავები ჭუჭყიანდება მრეწველობის, მინის, ქაღალდის, საპნის, საფეიქრო, საყოფაცხოვრებო სულფატმემცველი ჩამდინარე წყლებით, ასევე სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების წყლებით. SO₄²⁻ იონური ფორმა დამახასიათებელია მხოლოდ დაბალმინერალიზებული წყლებისთვის. სულფატების კონცენტრაციის გაზრდა ცვლის წყლის

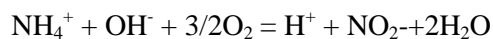
ორგანოლექტიკურ თვისებებს და ახდენს ადამიანის ორგანიზმზე ფიზიოლოგიურ ზემოქმედებას. განსაზღვრა ვაწარმოეთ ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით $\lambda=390$ ნმ, იისფერი შუქფილტრით, შემდეგი ფორმულის საშუალებით $X = \frac{Cx50}{V}$ მგ/ლ

C - კონცენტრაცია, განსაზღვრული საკალიბრო მრუდის დახმარებით.

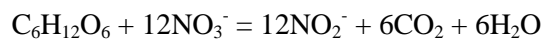
V - საანალიზო სინჯის მოცულობა, მლ.

სულფატები X=18 მგ/ლ

ნიტრიტები წარმოადგენენ ამიაკის ბიოქიმიური დაჟანგვის ან ნიტრატების აღდგენის შუალედურ პროდუქტს. მათი არსებობა მიუთითებს წყლების ფეკალურ გაჭუჭყიანებაზე. ზედაპირულ წყლებში ნიტრიტები სწრაფად გარდაიქმნებიან ნიტრატებად. სუფთა ზედაპირულ წყლებში ნიტრიტების იონების თანაობა დაკავშირებულია ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციაზე და ნიტრიფიკაციაზე. ამონიუმის იონები განსაზღვრული სახის ბაქტერიების ზემოქმედებით იჟანგებიან ნიტრიტიონებად.



წყალსაცავებში ნიტრიტ-იონები წარმოიქმნება დენიტრიფიკაციით:



ზღვის წყლებში ნიტრიტების შემცველობა არ აღემატება 10 მგ/მ³-ს, იშვიათად იგი აღწევს 20-30 მგ/მ³. ნიტრატონების კონცენტრაციის შემცირების ძირითად პროცესს წარმოადგენს მათი მოხმარება ფიტოპლანქტონითა და დენიტრიფიკირებადი ბაქტერიებით, რომლებიც ჟანგბადის უკმარისობისას იყენებენ ნიტრატების ჟანგბადს ორგანული ნივთიერებების დასაჟანგად. ნიტრიტების განსაზღვრა ჩატარდა ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით, გრისის რეაქტივის გამოყენებით $\lambda=540$ ნმ, მწვანე შუქფილტრით. X= 0,15 მგ/ლ

ნიტრატების განსაზღვრა ხდება ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით ნატრიუმის სალიცილატის გამოყენებით $\lambda = 400$ ნმ, იისფერი შუქფილტრით. X= 22,8 მგ/ლ

ამიაკისა და ამონიუმის იონები წარმოიქმნებიან გრუნტის წყლებში და სასმელ წყალში მიკროორგანიზმების ცხოველმყოფელების შედეგად, ხოლო ზედაპირულ წყლებში კი ვეგეტაციის პერიოდში ცილოვანი ნივთიერებების ბიოქიმიური დაშლის შედეგად. ამონიუმის იონები ბიოქიმიურად არამდგრადია, ამიტომ უნდა განისაზღვროს სინჯის აღებისთანავე. ისაზღვრება ფოტოკოლორიმეტრზე $\lambda = 440$ ნმ, იისფერი შუქფილტრით. X=0,08 მგ/ლ

ფოსფორი წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ ბიოგენურ ელემენტს, რომელიც განსაზღვრავს წყალსაცავის პროდუქტიულობას. ფოსფორის ნაერთები გვხვდება ყველა ცოცხალ ორგანიზმში და ისინი არეგულირებენ უჯრედოვანი ცვლის ენერგეტიკულ პროცესებს. წყალსაცავების ფოსფოროვანი ნაერთებით გაჭუჭყიანება იწვევს წყლის ხარიხსის შემცირებას. ისაზღვრება ფოტოკოლორიმეტრზე $\lambda = 690$ წითელი შუქფილტრით. თბილისის ზღვის წყალში ფოსფორი არ

აღმოჩნდა.

ასევე ტიტრაციის მეთოდებით განსაზღვრული იქნა საერთო სიხისტე, გახსნილი ჟანგბადი და ჟანგბადის ქიმიური მოხმარება. ცხრილში 2 მოცემულია კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემები:

ცხრილი 2.

pH	NO ₂ ⁻ მგ/ლ	NO ₃ ⁻ მგ/ლ	PO ₄ ³⁻ მგ/ლ	NH ₄ ⁺ მგ/ლ	SO ₄ ²⁻ მგ/ლ	საერთო სიხისტე, მგ.ექვ/ლ	გახსნილი ჟანგბადი, მგ/ლ	ჟ.ქ.მ მგ/ლ
6,5	0,15	22,8	0	0,08	18	3,3	9,2	8,2
ზ.დ.კ	0,2	50	3,5	2	250	7,0-10,0	არანაკლე- ბი 4	30

ამრიგად, ჩვენს მიერ ჩატარებული ზღვის წყლის ქიმიური ანალიზის კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თბილისის ზღვის წყალი აკმაყოფილებს სტანდარტულ ნორმებს და წყალი შეიძლება იქნას მიწოდებული სალექარების გამოყენების გარეშე პირდაპირი ფილტრაციის შემდეგ.

9	პოლიმერის სტრუქტურული ელემენტების დახასიათება და გავლენა მემბრანის ზოგიერთ თვისებაზე	გ. ბიბილეიშვილი მ. კეჟერაშვილი	მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილება. ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ლაბორატორია.
10	მემბრანის ფორმების ზომების და ხვედრითი წარმადობის განსაზღვრა ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ-ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავება	გ. ბიბილეიშვილი მ.კეჟერაშვილი	

თემა 9. ბუნებრივი წყლიდან მაღალი ხარისხის სასმელი წყლის მისაღებად, ასევე მემბრანული დანადგარის სტაბილური მუშაობისა და მაღალი წარმადობისთვის საჭიროა მისი დაკომპლექტება

მაღალხარისხოვანი ნანოფოროვანი სტრუქტურის მქონე მემბრანით. ასეთი მემბრანის მნიშვნელოვან მახასიათებლებს წარმოადგენს ფორის ზომები, ფორის ზომების მიხედვით განაწილების ხარისხი, სისქე, ზედაპირის ერთგვაროვნება, სიმქისე და სიპრიალე.

ჩვენს მიერ ადრე დამზადებულ საბაზისო მემბრანებში შეინიშნება ფორების ზომების (5-10ნმ) არაერთგვაროვნება, მათი გაფანტულობის დიაპაზონი შეადგენს 25%, ხოლო მემბრანის სისქე მერყეობს 0.23-0.25 მმ შორის. მემბრანის ზედაპირზე არსებული ამაღლებები აღემატება 100 ნმ, რაც იწვევს ფილტრაციის დროს მემბრანის ზედაპირზე ნაწილაკების შეყოვნებას, ეს კი ფილტრაციის პროცესში წარმადობის, სელექტიურობის შემცირებასთან და დამატებით ხარჯებთან არის დაკავშირებული. ამიტომ, სამუშაოს მიზანს შეადგენდა გაუმჯობესებელი პარამეტრების, მაღალი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების და სატრანსპორტო თვისებების მქონე მემბრანის მიღება. ლიტერატურაში ძალიან მწირი ინფორმაცია არსებობს ფოროვანი სტრუქტურის მქონე მემბრანის ფორმირების რაოდენობრივი აღწერის მექანიზმის შესახებ ფაზური დაყოფის რთული პროცესის გამო, ამიტომ, ჩვენს მიერ ჩატარებულ კვლევებში მიზნად დავისახეთ მემბრანის სტრუქტურის ურთიერთკავშირის დადგენა ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლებსა და მემბრანის სატრანსპორტო თვისებებს შორის სხვადასხვა კომპოზიციური შედგენილობის მქონე მემბრანებისთვის.

ჩვენს მიერ მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის საშუალებით შესწავლილი იქნა მემბრანის მიკრორელიეფი და მიკროსტრუქტურა პოლიმერის სტრუქტურული ორგანიზაციის სხვადასხვა დონეზე. მემბრანული ძირითადი მასალის, პოლიმერის სტრუქტურის ქვეშ მოიაზრება მაკრომოლეკულების ურთიერთგანლაგება სივრცეში, სტრუქტურული ელემენტების შინაგანი აგებულება და მათ შორის ურთიერთქმედება. მემბრანის სტრუქტურაში შეიძლება გამოიყოს მაკრო-, მეზო- და მიკროსკოპული დონე, რომლებსაც აქვთ სტრუქტურული ელემენტების შემდეგი მასშტაბები:

მაკრო: 50 ნმ-ზე მეტი, მეზო: 2ნმ-დან 50ნმ-მდე (ზემოლეკულური), მიკრო: 2ნმ-ზე ნაკლები (მოლეკულური).

პოლიმერის სტრუქტურის გლობულარულ -“დასტობრივი” მოდელი. ელემენტარულ პირველად ზემოლეკულურ წარმონაქმნად მიჩნეულია გლობულები-მონომოლეკულური ბურთები ან მაკრომოლეკულები მოუწესრიგებლობის სხვადასხვა ხარისხით “დასტების” შიგნით.

პოლიმერის მოლეკულის სტრუქტურას (მასში შემავალი ელემენტარული რგოლის თანამიმდევრობით შეერთება და ორიენტაცია) უწოდებენ მოლეკულურს ანუ პირველადს. პოლიმერის მოლეკულის სხვადასხვანაირი კომბინაციას უწოდებენ ზემოლეკულურს ანუ მეორად სტრუქტურას. მეტ-ნაკლებად სრულყოფილ მეორად სტრუქტურად მიჩნეულია ცალკეული კრისტალები. ნაკლებად სრულყოფილად ითვლება სფეროლიტები, რომლისგანაც აგებულია “ლენტები” და “ფურცლები”. იმავდროულად პოლიმერში არსებობს ამორფული ფაზა, რომელიც აგებულია გლობულებისგან, რომლებიც არარის დაკრისტალებული “დასტებში”, სხვადასხვა დეფექტები (ეს შეიძლება იყოს “დასტების” და “ფურცლების” მოხვევის ადგილი). თავისმხრივ “დასტები” წარმოქმნის ფორმით და ზომით განსხვავებულ რთულფიბრილარულ სტრუქტურებს.

პოლიმერისა და მემბრანის სტრუქტურის შესწავლის პროცესში თავი იჩინა სირთულეებმა, რაც ჩვენი აზრით აიხსნება მემბრანის სტრუქტურის ცვლილებით დაყოფის პროცესის მიმდინარეობის დროს. ეს ცვლილებები, სავარაუდოდ, გამოწვეულია სხვადასხვა პარამეტრების- პოლიმერის ჯაჭვის განშტოება, რეგულარობა, მემბრანის მიღების საშუალებები და რეჟიმები, პლასტიფიკატორის და სტაბილიზატორის არსებობა- გავლენით. სწორედ ამით შეიძლება აიხსნას ექსპერიმენტების დროს დაფიქსირებული მონაცემები, რომლის დროსაც ერთიდაიგივე პოლიმერისგან ერთნაირ პირობებში მიიღება სხვადასხვა წარმადობის მქონე მემბრანები. საწყის პოლიმერს “დასტებში” გააჩნია კრისტალურობის ერთიდაიგივე ხარისხი, ხოლო მისგან მიღებული ორი მემბრანიდან ერთ მემბრანაში სტრუქტურის ფორმირება შესაძლოა შეჩერდა “დასტის” დონეზე, მეორე შემთხვევაში სტრუქტურირება დამთავრდა სხვადასხვა ზომის სფეროლიტების წარმოქმნის პროცესზე. მოწესრიგებლობის ხარისხი პირველ შემთხვევაში ნაკლებია, ვიდრე მეორეში და შესაბამისად, მემბრანების თვისებები(მაგ; წარმადობა) აღმოჩნდა განსხვავებული. ერთი და იგივე სელექტიურობის მქონე მემბრანისთვის წარმადობა ნაკლებია დიდი ზომის სფეროლიტების შემცველი მემბრანისთვის. სწორედ ამიტომ, სელექტიურობის და წარმადობის შესწავლის პროცესში აუცილებელია იმის გათვალისწინება, რომ პოლიმერზე მოლეკულური წარმონაქმნები წარმოადგენენ სხვადასხვა ხარისხით მდგრად სტრუქტურებს ტემპერატურის, გამხსნელის ბუნების და მექანიკური დატვირთვის მიმართ. ზემოლექულური სტრუქტურის ცვლილება ეხება პოლიმერის როგორც ამორფულ ასევე, კრისტალურ უბანს.

დაყოფის პროცესში პოლიმერის სტრუქტურის ცვლილება მიმდინარეობს სხვადასხვა ხარისხით მემბრანის სისქის მიხედვით. შეიძლება ითქვას, რომ მემბრანის სისქე წარმოადგენს სტრუქტურულ გრადიენტს. ჩვენი ექსპერიმენტის მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ წარმადობა იცვლება მემბრანის სისქის უკუპროპორციულად, რაც შეიძლება აიხსნას სტრუქტურული გრადიენტის არსებობით, ე. ი. პოლიმერული მემბრანის სტრუქტურის არაერთგვაროვანი ცვლილებით სისქის ცვლილების შესაბამისად.

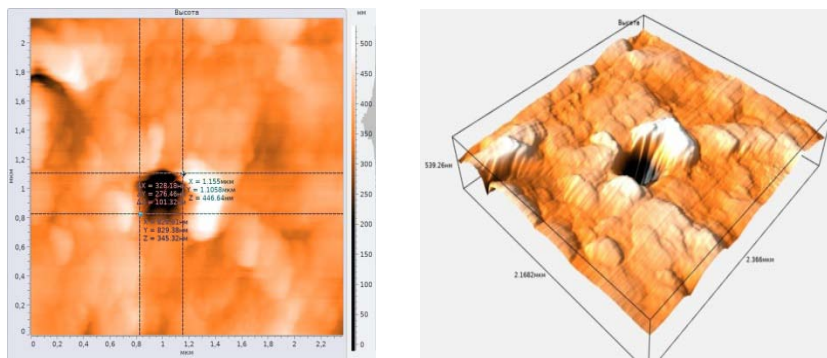
ფოროვანი მიკროფილტრაციული მემბრანების ექსპლოატაციური მახასიათებლები განისაზღვრება ფორების ზომით და ფორების ზომების მიხედვით განაწილების ხარისხით და მცირედ არის დამოკიდებული პოლიმერის ბუნებაზე. მემბრანის ძირითად თვისებებზე, როგორც არის სელექტიურობა და წარმადობა, მოქმედი პარამეტრებიდან მნიშვნელოვანია პოლიმერის მოლეკულური მასა, მისი კონცენტრაცია, ფაზური დაყოფის პროცესზე მოქმედი სხვადასხვა ფაქტორები (ტემპერატურა, გამხსნელის აორთქლების ხანგრძლივობა, ტენიანობა). როგორც წესი, სინთეზური პოლიმერული მემბრანის სელექტიურობაში იგულისხმება ფორების წინასწარ გამიზნულად განაწილება ზომების მიხედვით და ჰიდრავლიკური წინაღობა. თავის მხრივ, მემბრანულ პროცესებში დაყოფის შესაძლებლობა (წარმადობა) და ჰიდრავლიკური წინაღობა ასევე დამოკიდებულია ფორების ზომებზე, გამტარი არხების კონფიგურაციაზე, მემბრანის სისქეზე, ზედაპირის ერთვაროვნება/სიძქისეზე, სიპრიალესა და ჰაერის ტენიანობაზე.

ჩვენს მიერ ჩატარებულ სამუშაოებში ზემოთ ჩამოთვლილი პარამეტრების გასაუმჯობესებლად განხორციელდა აცელულოზას და მისი წარმოებულების მოდიფიცირება სპეციფიური გამხსნელებით (დმსო, დმაა და სხვა) ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით. კვლევები ტარდებოდა

სხვადასხვა კონცენტრაციისა და შედგენილობის მქონე პოლიმერულ ხსნარებზე (1%-დან 10 %-მდე), საიდანაც მზადდებოდა სხვადასხვა სისქის მქონე მემბრანული აფსკები.

პოლიმერის ხსნარის კონცენტრაციის გარკვეულ ფარგლებში შეინიშნებოდა მემბრანის ზედაპირის ერთგვაროვნებისა და სიპრიალის ზრდა. ფაზური ინვერსიის მეთოდით მიღებულ მემბრანებს შორის დაბალი წარმადობა, ფორიანობის შემცირება და ზედაპირის ნაკლები სიპრიალე აღმოაჩნდა მემბრანებს, რომლებიც მიღებული იქნა მაღალი ტენიანობის პირობებში. ცნობილია, რომ მემბრანის ზედაპირის ჭეშმარიტი ფართობი მეტია, ვიდრე გეომეტრიული ფართობი, ამიტომ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სიმქისის ფაქტორს, რომელიც გამოითვლება როგორც დამოკიდებულება ჭეშმარიტ ფართობსა და გეომეტრიულ ფართობს შორის. მოდიფიცირებამდე მემბრანის ზედაპირს ჰქონდა ქაოტური, არაერთგვაროვანი სტრუქტურა, დიდი სხვაობა შეინიშნებოდა ზედაპირის ველაზე მაღალსა და დაბალ წერტილებს შორის (R_z) და სიმქისის მასშტაბი 2 რიგით მაღალია, ვიდრე ეს შეესაბამება თანამედროვე სტანდარტებს.

დიდი სისქის მქონე (2მკმ) მემბრანები იჩენენ მასაგადატანის დაბალ სიჩქარეს, მეორე მხრივ მემბრანები ოპტიმალური სისქით 0,1-1მკმ არ იჩენენ საკმარის მექანიკურ სიმტკიცეს, ამიტომ სელექტიური ფენის სისქე არ უნდა იყოს 0,1-1მკმ-ზე ნაკლები. მემბრანის სისქე ნაკლებად ახდენს გავლენას სელექტიურობაზე, წარმადობის საჭირო დიაპაზონის შენარჩუნება ხდებოდა მემბრანის გამყოფი/აქტიური ფენის სისქის ვარირებით 0,5-5 მკმ-ის დიაპაზონში.



სურათი1. მემბრანის მიკროფოტოგრაფიული სურათები ორ- და სამგანზომილებიან სისტემაში (Certus Standart V)

ფაზურ-ინვერსიულ პროცესებში თხევადი ფაზიდან მყარ ფაზაში გადასვლის ფუნქციური დამოკიდებულების განსაზღვრა მოხდა ჩვენ მიერ ინსტიტუტში შექმნილი ლაბორატორიულ დანადგარზე, რომელზეც შესაძლებელია გამოლექვის პროცესის კონტროლი, საკოაგულაციო აბაზანაში ნიმუშის ჩაშვების კუთხის, ჩაშვების სიჩქარის, აბაზანაში დამლექვის მოცულობისა და ტემპერატული პარამეტრების დადგენა.

მემბრანების ფორმების ზომების, ტოპოლოგიური და ზედაპირული სტრუქტურის შესწავლა მოხდა მასკანირებელ ზონდური მიკროსკოპის საშუალებით(Certus Standard V). სკანირების ფართობი 13X13 ნმ, სკანირება ხორციელდება კანტილევერით SG20, ზონდის მომრგვალების რადიუსი 10ნმ, უკონტაქტო რეჟიმის პირობებში. ფორმების ზომები განისაზღვრა ჩვენ მიერ

შექმნილი ბუმტულაკების წერტილის წარმოქმნის განმსაზღვრელ ხელსაწყოზე, რომლის ძირითადი დეტალები დამზადდა ლაბორატორიაში არსებული 3Dპრინტერის საშუალებით(ULTIMAKER 2).

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, ჩვენს მიერ დამზადდა პოლიმერული სინთეზური მემბრანები, რომლებშიც ფორების ზომების გაფანტულობის დიაპაზონი არ აღემატება 0,2 %-ს, სისქე სადების გარეშე არის 0.1 მმ. შესწავლილ მემბრანულ აფსკებში შეინიშნებოდა რელიეფის ცალკეული ლოკალური არაერთგვაროვნება, სიმაღლის მოდულაცია ნანოზომებში არის 15 ± 2 ნმ რიგის, სიმქისის პარამეტრი R_z შეესაბამება 10 ნმ-ს, ხოლო სიმქისის საშუალო მასშტაბიდა განისაზღვრა 52 ნმ-ით. ცელულოზასა და მისი ნაწარმების მოდიფიცირების გზით იქნა მიღებული შესაბამისი მაჩვენებლების მქონე პოლიმერული მემბრანული ფირები. ამ გზით მოვახერხეთ პოლიმერების გააქტიურება, მოლეკულური და მაღალმოლეკულური სტრუქტურის ცვლილება; გამოვლინდა მოდიფიცირებული ფილტრაციული მემბრანის სტრუქტურული ორგანიზების თავისებურებები და მიღებული იქნა ახალი მონაცემები მემბრანების ფორიანობის, ფორების ზომების მიხედვით განაწილების, სიმტკიცის, სისქის შესახებ ექსპლოატაციის პირობებში.

თემა 10. სინთეზური პოლიმერული მიკროფილტრაციული მემბრანების ექსპლოატაციური მახასიათებლებისა და ხარისხის ძირითადი კრიტერიუმები განისაზღვრება ფორების ზომებითა და მისი განაწილების ხარისხით.

ამიტომ, სამუშაოს ძირითად მიზანს წარმოადგენს ჩვენს მიერ სხვადასხვა ხერხებით (ფიზიკური, ქიმიური) მოდიფიცირებული აცეტატცელულოზის ბაზაზე მიღებული სინთეზური პოლიმერული მემბრანების დასახასიათებლად ფორების ზომების და ხვედრითი წარმადობის განსაზღვრა. პოლიმერული მიკროფილტრაციული ჰიდროფილური და ჰიდროფობური მემბრანების ფორების ზომების განსაზღვრისათვის იყენებენ რამოდენიმე მეთოდს, მათ შორის ატომურ ძალურ მიკროსკოპიას, მასკანირებელ ელექტრონულ მიკროსკოპიას, ბუმტულაკების განსაზღვის მეთოდს და ა.შ. ფორების ზომების დასადგენად ამ მეთოდებიდან ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა ბუმტულაკების წერტილის განსაზღვრის მეთოდი. მისი განსაზღვრა მოხდა ინსტიტუტში დამზადებულ ბუმტულაკების წერტილის განმსაზღვრელ ექსპერიმენტულ ხელსაწყოზე, რომლის მუშაობის პრინციპი დამყარებულია მემბრანაში გარკვეული წნევის დროს აირის გავლის შედეგად ბუმტულაკის წერტილის წარმოქმნის დაფიქსირებაზე. პრაქტიკაში ეს მეთოდი გამოიყენება მემბრანაში ყველაზე დიდი და აქტიური ფორების გასაზომად და წარმოადგენს სტანდარტულ მეთოდს მიკროფილტრაციული მემბრანის დასახასიათებლად. მეთოდი ვრცელდება მემბრანებზე, რომელთა ფორების ზომები 0,1-15 მკმ დიაპაზონში მდებარეობს. დამოკიდებულება წნევასა და რადიუსს შორის გამოთვლილი იქნა ლაპლასის განტოლებით: $r = 2\sigma \cos\theta / \Delta P$

სადაც, σ — ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი საზღვარზე სითხე-აირი, ჩვენს შემთხვევაში მემბრანის შემსველელ სითხედ გამოყენებული წყლისათვის 22 C⁰-ზე

0,07245/მ,θ— მემბრანის შესველების საკონტაქტო ე. წ. ნაპირა კუთხე, მემბრანაში აირის გაღწევის მომენტში $\cos\theta=1$, ხოლო P —წნევა (ბარი), რომლის დროსაც მოხდა პირველი ბუმტულაკის წარმოქმნა.

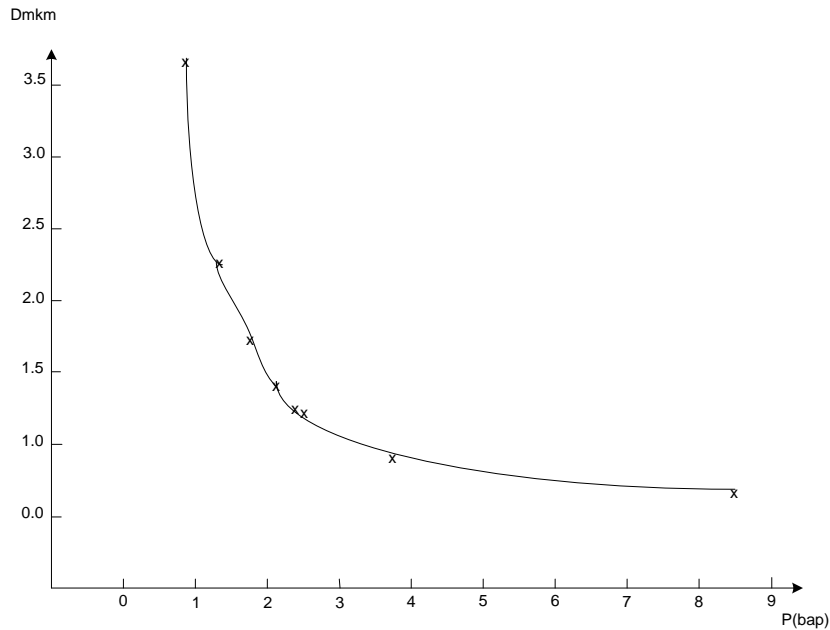
შესწავლილი იქნა სხვადასხვა კომპოზიციური შედგენილობის მქონე მემბრანები, რომელთა ფორების ზომები მოტანილია ცხრილში (ცხრ.1, ნიმუში 6,7,8). გათვლები განხორციელდა იმ დაშვებით, რომ ჩვენს მიერ მიღებულ მემბრანის ფორებს აქვთ სწორი ცილინდრული ფორმა. ხელსაწყოს დაკალიბრება მოხდა წინასწარ ცნობილი დიამეტრის მქონე მემბრანა სტანდარტებზე, რომელთა ფორების ზომები წინასწარ იყო ცნობილი (ნიმუში 1,2,3,4,5).

ცხრილი 1.

#	წნევა ბუმტულაკების წარმოქმნის მომენტში (ბარი)	ფორების ზომა (მკმ)	მემბრანის წარმადობა მ ³ /მ ² .სთ	მემბრანული მასალა	მემბრანის დამამზადებელი ორმა- ქვეყანა
1	8,5	0,17	133	ცელულოზას ეთერი	„მილიპორი“ (აშშ)
2	2,4	0,6	42	ცელულოზას ეთერი	„მილიპორი“ (აშშ)
3	1,3	1,11	135	აცეტატ ცელულოზა	„სარტორიუსი“, გერმანია
4	1,7	0,85	90	აცეტატ ცელულოზა	„სარტორიუსი“, გერმანია
5	3,7	0,39	15	აცეტატცელულო ზა	„სარტორიუსი“, გერმანია
6	2,5	0,57	25	ცელულოზა და მისი ნაწარმები	საცდელი ნიმუში
7	0,8	1,8	100	ცელულოზა და მისი ნაწარმები	საცდელი ნიმუში
8	1,72	0,8	45	ცელულოზა და მისი ნაწარმები	საცდელი ნიმუში

ცხრილი 1. მემბრანების ფორების ზომების და ხვედრითი წარმადობის მონაცემები

ასევე შესწავლილი იქნა ჩვენს მიერ მიღებული პოლიმერული მემბრანების ხვედრითი წარმადობა ინსტიტუტში დამზადებულ ლაბორატორიულ ხელსაწყოზე, რომლის ძირითადი დეტალები დამზადებულია 3D პრინტერის საშუალებით



ნახ. 2. მემბრანის ფორების დამოკიდებულება წნევაზე

ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემები შედარებული იქნა ცნობილი ფირმების მიერ წარმოებულ მემბრანებთან (გერმანია-„სარტორიუსი“, აშშ-„მილიპორი“). დადინდა, რომ ჩვენს მიერ სხვადასხვა ხერხებით მოდიფიცირებული აცეტატცელულოზას ბაზაზე დამზადებული მემბრანების ფორების ზომები და ხვედრითი წარმადობა სრულ თანხვედრაშია უცხოური წარმოების ანალოგიურ მემბრანების მონაცემებთან.

II. 1. პუბლიკაციები (საქართველოს სახელმწიფო ბიუჯეტით ან/და შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული კვლევითი პროექტის თემატიკის ფარგლებში)

ა) საქართველოში

სტატიები

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა-ური, ჟურნა- ლის/კრებულის დასახელება	ჟურნალის/ კრებულის ნომერი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1.	გ.ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ზ. ჯავაშვილი	პოლიმერული მასალების სტრუქტურული და ტოპოგრაფიული კვლევა ინდუსტრიული კომპოზიციური მემბრანების შექმნის მიზნით.	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი”	2
2.	გ. ბიბილეიშვილი	ულტრა- და ნანოფილტრაციული პროცესების კომბინირებული მეთოდის კვლევა მტკნარი წყლის ნაწილობრივი დემინერალიზაციისთვის	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი”	2
3.	გ. ბიბილეიშვილი	სასმელი წყლიდან ნაწილობრივი და სრულად დემინერალიზებული წყლის (გამოხდილი) მიღების მემბრანული გაყოფის პროცესის კვლევა და ათვისება.	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი”	2
4.	გ.ბიბილეიშვილი, ნ.გოგესაშვილი	პოლიმერული კომპოზიციისა და წყლის საფილტრაციო მემბრანების(0,5-1,5 მკმ ფორის ზომის) დამზადების მეთოდის დამუშავება.	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი”	2
5.	გ.ბიბილეიშვილი ნ.გოგესაშვილი	პოლიმერული მემბრანების მახასიათებლების დამოკიდებულება ფორწარმომქმნელის კონცენტრაციასა და მოლურ მასაზე.	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა “უნივერსალი”	2
6.	გ.ბიბილეიშვილი	სადაწნეო საკანში გამდინარე	ტ.17 №1	თბილისი,0179,	2

	ლ.ყუფარაძე	სითხის სხვადასხვა ჰიდროდინამიკური რეჟიმების ეფექტურობის შესახებ	2017წ.	ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა "უნივერსალი"	
7.	გ.ბიბილეიშვილი ლ.ყუფარაძე	მემბრანის ნალექიანი ზედაპირის გასუფთავების ზოგიერთი საკითხების შესახებ	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა "უნივერსალი"	2
8.	მ.მამულაშვილი	თბილისის ზღვის წყალში შეწონილი ნაწილაკებისა და ქიმიური კომპონენტების რაოდენობის რეგულირება ბარომემბრანული პროცესების გამოყენებით	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა "უნივერსალი"	2
9.	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი ზ. ჯავაშვილი	მემბრანის ზედაპირის ტოპოგრაფიული კვლევა	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა "უნივერსალი"	2
10.	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ზ. ჯავაშვილი	მემბრანის ფორის ზომების განსაზღვრა ბუმტულაკების წერტილის მეთოდით	ტ.17 №1 2017წ.	თბილისი,0179, ი.ჭავჭავაძის გამზ.1, გამომცემლობა "უნივერსალი"	2

1. ჩატარებული კვლევების შედეგების საფუძველზე დამზადდა 250 ლ/სთ წარმადობის საწარმოო ნანოფილტრაციული მემბრანული დანადგარი და ექსპლოატაციაში ჩაეშვა შპს. „არაგვი-ჰესის“ საწარმოში 2017 წლის სექტემბრის თვეში. დანადგარი შპს. „არაგვი-ჰესის“ მიერ შესყიდული იქნა 2650 ლარად და დღემდე წარმატებით ფუნქციონირებს.

2. ინსტიტუტში დამუშავდა პრინციპულად ახალი მემბრანული ტექნოლოგია და მრავალსაფეხურიანი მთლიანად ავტომატიზირებული მემბრანული დანადგარი. დანადგარები დამონტაჟებულია ინსტიტუტის ლაბორატორიებში და მთლიანად უზრუნველყოფენ მათ ნაწილობრივი და სრულად დემინერალიზებული წყლით.