

მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

2018 წელს გაწეული სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის ანგარიში

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

2. სხვა პუბლიკაციები:

№	პუბლიკაციის ავტორი/ავტორები	ჟურნალი, ტომი, გვერდი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN
1	გ. ბიბილეიშვილი, ე. კაკაბაძე, ნ. გოგესაშვილი, ქ. ფარეშიშვილი, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 – 0686
2	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 – 0686
3	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 – 0686
4	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
5	გ. ბიბილეიშვილი, ნ.	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი,	1512 - 0686

	გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	ტომი 18, გვ. 2	
6	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
7	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჭერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
8	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჭერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
9	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჭერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
10	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჭერაშვილი, ზ. ჯავაშვილი, მ. მამლარაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
11	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჭერაშვილი, ზ. ჯავაშვილი, ხ. ზაქროშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
12	გ. ბიბილეიშვილი, ლ. ყუფარაძე, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ლ. ებანოიძე, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ.	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686

	ჯავაშვილი		
13	გ. ბიბილეიშვილი, ლ. ყუფარაძე, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჭერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
14	მ. მამულაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ლ. ებანოძე, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი.	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 18, გვ. 2	1512 - 0686
15	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი, გ. მჭედლიშვილი, ე. მაცაბერიძე, ლ. ქრისტესაშვილი	საერთაშორისო სამეცნიერო - პრაქტიკული კონფერენციის შრომების კრებული „თანამედროვე მეცნიერება და ინოვაციური პრაქტიკა“ ტომი II. გვ. 172-174	
16	ნ. ჩხუბიანიშვილი, მ. მამულაშვილი, გ. მჭედლიშვილი, ლ. ქრისტესაშვილი, ც. კურცხალია	„საქართველოს საინჟინრო სიახლენი 2 ⁰ 18, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, გვ. 73-74	1512 – 0287
17	ნ. ჩხუბიანიშვილი, მ. მამულაშვილი, გ. მჭედლიშვილი, ლ. ქრისტესაშვილი	„საქართველოს საინჟინრო სიახლენი 2 ⁰ 18, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, გვ. 71-72	1512-0287

7. სხვა შედეგები:

7.1. პუბლიკაცია საერთაშორისო კონფერენციის მასალებში

№	პუბლიკაციის ავტორი/ები	კონფერენციის სახელწოდება და ჩატარების ადგილი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN
---	------------------------	-------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

1	გ. ბიბილეიშვილი, ლ. ყუფარაძე, ე. კაკაბაძე, ნ. გოგესაშვილი, მ. კეჭერაშვილი, ქ. ფარეშიშვილი, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	„ქიმია-მიღწევები და პერსპექტივები“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი	
2	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი	სტუდენტთა საერთაშორისო - სამეცნიერო 86-ე კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი	
3	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი, გ. მჭედლიშვილი	„ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი	
4	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი, გ. მჭედლიშვილი	„ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი	

7.4. წიგნების და სხვა ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

№	წიგნის/გამოცემის ავტორები	გამომცემლობა	წიგნის/გამოცემის საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN
1	დ. ბიბილეიშვილი, ლ. ეზანოიძე	საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“	978-9941-28-222-5
2	ნ. მუმლაძე, თ. მეგრელიძე	გაეროს განვითარების პროგრამა (UNDP)	

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტი

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი - დოქტორი, გიორგი ბიბილეიშვილი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა

№	გვარი, სახელი	სტრუქტურული ერთეული და თანამდებობათა დასახელება	აკადემიური ხარისხი

1	ბიბილეიშვილი გიორგი	დირექტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი	დოქტორი
2	სვანიძე ნანა	სპეციალისტი	მაგისტრი
3	თანანაშვილი ლეილა	სწავლული მდივანი	მაგისტრი
4	ერისთავი დიმიტრი	კონსულტანტი	დოქტორი
5	გოგესაშვილი ნანა	ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავების განყოფილების უფროსი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი	დოქტორი
6	ყუფარაძე ლიანა	მთავარი მეცნ. თანამშრომელი	დოქტორი
7	კეჭერაშვილი მზია	მთავარი მეცნ. თანამშრომელი	დოქტორი
8	მუმლაძე ნინო	მთავარი მეცნ. თანამშრომელი	დოქტორი
9	ებანოიძე ლიანა	მემბრანული პროცესების კვლევისა და ნანოტექნოლოგიების დამუშავების განყოფილების უფროსი, უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი	დოქტორი
10	ბუთხუზი თინათინი	ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის ლაბორატორიის უფროსი, უფროსი მეცნ. თანამშრომელი	დოქტორი
11	ხატია ზაქროშვილი	ინჟინერ - კონსტრუქტორი	მაგისტრანტი
12	მამულაშვილი მანანა	მეცნიერი თანამშრომელი	დოქტორანტი
13	მეშვილდიშვილი ლელა	უფროსი ლაბორანტი	მაგისტრი
14	ქეთევან ფარეშიშვილი	ლაბორანტი	მაგისტრანტი
15	მედია მამლარაშვილი	ლაბორანტი	ბაკალავრი

16	გასიტაშვილი არჩილი	სპეციალისტი	მაგისტრი
17	ჯავაშვილი ზაზა	სპეციალისტი	დოქტორი
18	გოგიჩაშვილი დალი	დამლაგებელი	ბაკალავრი

1. პროგრამული დაფინანსებით შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

1.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
1	შავი ზღვის წყლის მაგალითზე მლაშე წყლების გამტკნარების მემბრანული ტექნოლოგიისა და ტექნიკის დამუშავება საინჟინრო მეცნიერებები-ნანო - და მემბრანული ტექნოლოგიები	2016-2020	გ. ბიბილეიშვილი-ხელმძღვანელი შემსრულებლები: მ. კუჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი, ქ. ფარეშიშვილი, მ. მამლარაშვილი, ხ. ზაქროშვილი, მ. მამულაშვილი
2	კასპიის ზღვის წყლის მაგალითზე მლაშე წყლების გამტკნარების მემბრანული ტექნოლოგიისა და ტექნიკის დამუშავება საინჟინრო მეცნიერებები-ნანო - და მემბრანული ტექნოლოგიები	2016-2020	გ. ბიბილეიშვილი-ხელმძღვანელი შემსრულებლები: მ. კუჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი, ქ. ფარეშიშვილი, მ. მამლარაშვილი, ხ. ზაქროშვილი, მ. მამულაშვილი
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			
1. შავი ზღვის წყლის გამტკნარება უზრუნველყოფს ზღვისპირა რეგიონს, აკვატორიის გემებს, სავაჭრო			

პირობებში მყოფ სამხედრო ნაწილებს, ზღვისპირა დასახლებებს და შავი ზღვის აუზის ქვეყნების ტურისტულ ინფრასტრუქტურას იაფი, ეკოლოგიურად სუფთა მაღალხარისხოვანი სასმელი წყლით მომარაგებას. ცხრილში-1 მოყვანილია შავი ზღვის წყლის მარილოვანი შედგენილობა. ცხრილში-2 მოყვანილია არსებული იონების კონცენტრაცია, ხოლო ცხრილში-3 ნაჩვენებია ძირითადი იონების მასა, რადიუსი და სასმელ წყალში ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია.

ცხრილი 1

	შავი ზღვის მარილოვანი შედგენილობა	რაოდენობა გ/ლ	პროცენტული შედგენილობა %
	NaCl	14.02	1.402
	MgCl ₂	1.304	0.1304
	MgSO ₄	0.470	0.0470
	CaSO ₄	0.105	0.0105
	Ca(HCO ₃) ₂	1.359	0.1359
	Mg(HCO ₃) ₂	0.209	0.0209
	MgBr ₂	0.005	0.0005
	KCl	1.89	0.189

ცხრილი 2

	იონების დასახელება	რაოდენობა გ/ლ
	Na ⁺	5.52
	K ⁺	0.372
	Mg ²⁺	0.366
	Ca ²⁺	0.366
	Cl ⁻	9.581
	SO ₄ ²⁻	0.45
	HCO ₃ ⁻	1.199

	Br-	0.0043
	საერთო ჯამი	17.59

ცხრილი 3

იონის დასახელება	მოლეკულური მასა (დალტონი)	იონის რადიუსი (ნმ)	სასმელი წყლის ზღვ. მგ/ლ
Cl ⁻	35,5	0.181	250
Na ⁺	23	0.098	200
HCO ₃ ⁻	61	0.156	

ცხრილებში მოყვანილი მნიშვნელობების საფუძველზე შერჩეული ძირითადი იონების დიამეტრისა და მემბრანების ფორების ზომების ფარდობის სიდიდე უნდა აღემატებოდეს 0,5-ს, რაც გამოისახება ფორმულით:

$$d_{\text{იონ}}/d_{\text{ფორ}} > 0.5$$

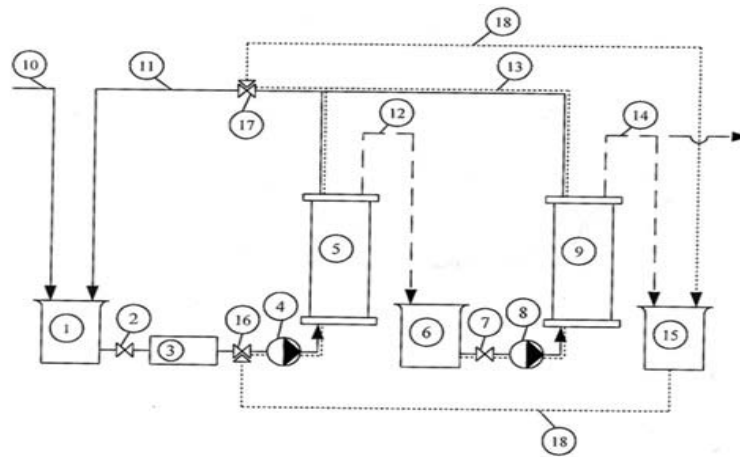
ცხრილში 4 მოცემულია ძირითადი შემადგენელი კომპონენტების დიამეტრისა და მემბრანების ფორების ზომების ფარდობა.

ცხრილი 4

მემბრანები	RO 0,1	RO 0,5	NF 1,0	NF 1,5	NF 3,0	UF 5,0
ფორის ზომები						
იონის დასახელება	0,16მ	0,56მ	1,06მ	1,56მ	3,0 6მ	5,0 6მ
Cl ⁻						
0,18 6მ	0.18/0,1=1,8	0.18/0,5=0.36	0.18/1,0=0.18	0.18/1,5=0,12	0.18/3,0=0,06	0.18/5,0=0,036

Na ⁺						
0,1 მგ	0.1/0.1=1	0.1/0.5=0,2	0.1/1.0=0,1	0.1/1.5=0,06	0.1/3.0=0,03	0.1/5.0=0,02
SO ₄ ²⁻						
0.23 მგ	0.23/0.1=2.3	0.23/0.5=0.46	0.23/1.0=0.23	0.23/1.5=0,15	0.23/3.0=0,07	0.23/5.0=0.046
HCO ₃ ⁻						
0.16 მგ	0.16/0.1=1.6	0.16/0.5=0.32	0.16/1.0=0.16	0.16/1.5=0.1	0.16/3.0=0.05	0.16/5.0=0.032

ცხრილში მოყვანილი შედეგების საფუძველზე მიზანშეწონილია ფილტრაციის პირველი ეტაპზე გამოყენებული იქნას ულტრაფილტრაცია, მეორე ეტაპზე NF 1,0 ნანოფილტრაცია, ხოლო მესამე ეტაპზე RO 0,5 უკუოსმოსური ბარომემბრანული პროცესები სათანადო აპარატურული უზრუნველყოფით. მემბრანული საფილტრაციო სისტემის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე 1.



ნახაზი 1. 20 გ/ლ-მდე კონცენტრაციის მარილიანობის წყლის გამტკნარების მემბრანული საფილტრაციო სისტემა

2. კასპიის ზღვის წყლის გამტკნარება უზრუნველყოფს ზღვისპირა რეგიონს ეკოლოგიურად სუფთა მაღალხარისხოვანი სასმელი წყლით მომარაგებას. სხვადასხვა ტიპის მლაშე წყლების (ოკეანე, ზღვა, ზოგირთი ტბები) მიკრობიოლოგიური, ორგანული, ბიოგენური, მინერალური და ქიმიური შედგენილობის მნიშვნელოვანი სხვაობის გამო მათი გამტკნარებისათვის უნდა დამუშავდეს სათანადო მემბრანული ტექნოლოგიები და ტექნიკა. ცხრილში-1 მოყვანილია კასპიის ზღვის წყლის მარილოვანი შედგენილობა. ცხრილში-2 მოყვანილია არსებული იონების კონცენტრაცია, ხოლო ცხრილში-3 ნაჩვენებია ძირითადი იონების მასა, რადიუსი და სასმელ წყალში ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია.

კასპიის ზღვის მარილოვანი შედგენილობა	რაოდენობა გ/ლ	პროცენტული შედგენილობა %
NaCl	7.63	62.2
MgCl ₂ , MgBr ₂	0.55	4.54
MgSO ₄	2.89	23.6
CaSO ₄	0.84	6.92
CaCO ₃	0.15	1.24
KCl	0.14	1.21

ცხრილი 2

იონების დასახელება	რაოდენობა გ/ლ
Na ⁺	2.99
K ⁺	0.09
Mg ²⁺	0.70
Ca ²⁺	0.34
Cl ⁻	5.18
SO ₄ ²⁻	2.98
საერთო ჯამი	12.28

ცხრილი 3

იონის დასახელება	იონის მასა (დალტონი)	იონის რადიუსი (ნმ)	სასმელი წყლის ზღვ.მგ/ლ
Cl ⁻	35,5	0.181	250
Na ⁺	23	0.098	200
SO ₄ ²⁻	96	0.230	250
Mg ²⁺	24	0.078	85

ცხრილებში მოყვანილი მნიშვნელობების საფუძველზე შერჩეული ძირითადი იონების დიამეტრისა და მემბრანების ფორების ზომების ფარდობის სიდიდე უნდა აღემატებოდეს 0,5-ს, რაც გამოისახება ფორმულით:

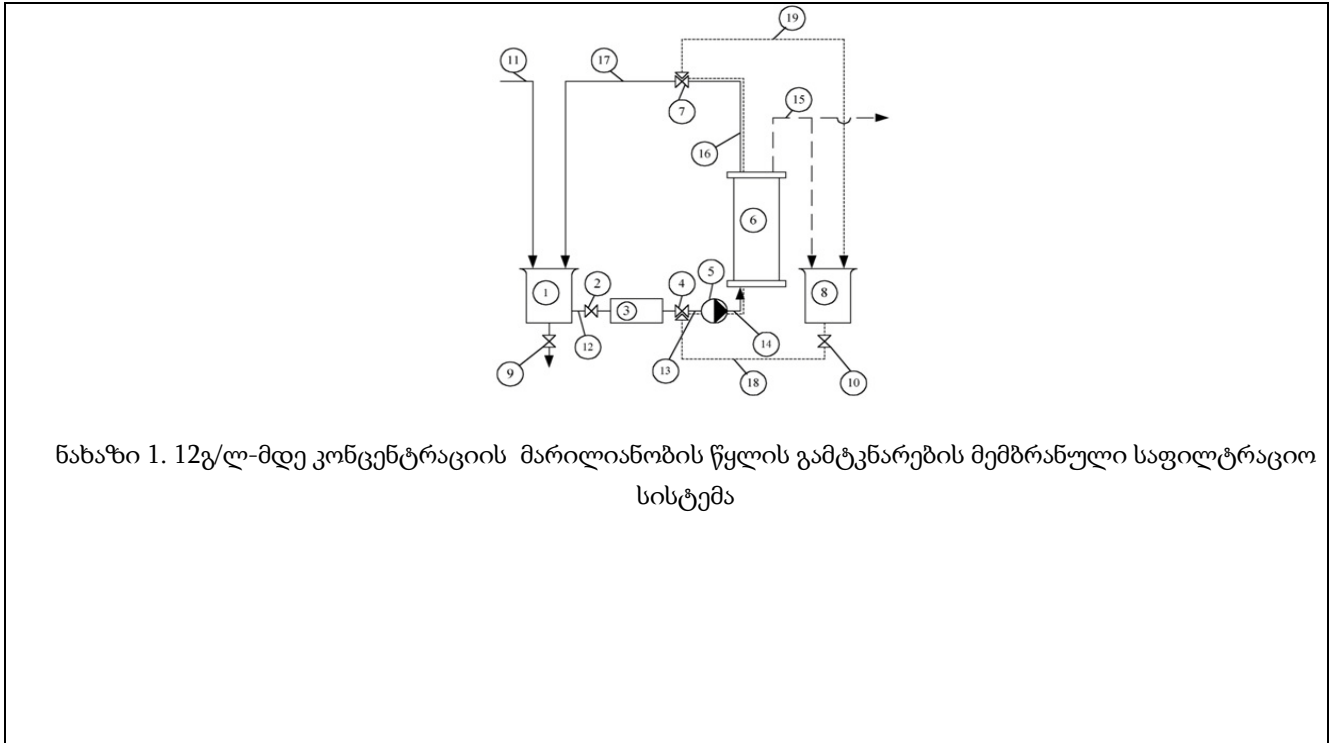
$$d_{\text{იონ}}/d_{\text{ფორ}} > 0.5$$

ცხრილში 4 მოცემულია ძირითადი შემადგენელი კომპონენტების დიამეტრისა და მემბრანების ფორების ზომების ფარდობა.

ცხრილი 4

მემბრანები	RO 0,1	RO 0,5	NF 1,0	NF 1,5	NF 3,0	UF 5,0
ფორის ზომები იონის დასახელება	0,15მ	0,55მ	1,05მ	1,55მ	3,0 მმ	5,0 მმ
Cl ⁻ 0,18 მმ	0.18/0.1=1,8	0.18/0.5=0.36	0.18/1.0=0.18	0.18/1.5=0,12	0.18/3.0=0,06	0.18/5.0=0,036
Na ⁺ 0,1 მმ	0.1/0.1=1	0.1/0.5=0,2	0.1/1.0=0,1	0.1/1.5=0,06	0.1/3.0=0,03	0.1/5.0=0,02
SO ₄ ²⁻ 0.23 მმ	0.23/0.1=2.3	0.23/0.5=0.46	0.23/1.0=0.23	0.23/1.5=0,15	0.23/3.0=0,07	0.23/5.0=0.046
Mg ²⁺ 0.08 მმ	0.08/0.1=0.8	0.08/0.5=0.16	0.08/1.0=0.08	0.08/1.5=0.05	0.08/3.0=0.02	0.08/5.0=0.016

ცხრილში მოყვანილი შედეგების საფუძველზე მიზანშეწონილია ფილტრაციის პირველი ეტაპზე გამოყენებული იქნას ულტრაფილტრაცია, მეორე ეტაპზე NF 1,0 ნანოფილტრაცია, ხოლო მესამე ეტაპზე RO 0,5 უკუოსმოსური ბარომემბრანული პროცესები სათანადო აპარატურული უზრუნველყოფით. მემბრანული საფილტრაციო სისტემის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე 1.



1.2.

№	დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
1	მოლეკულური მასის განსაზღვრის მეთოდიკის დამუშავება ხელსაწყო Zetasaizer Nano ZS90 საშუალებით, საინჟინრო მეცნიერებები-ნანო - და მემბრანული ტექნოლოგიები	2018	გ.ბიბილეიშვილი-ხელმძღვანელი
2	ფორწარმოქმნელების გავლენის შესწავლა ფორების რაოდენობაზე მემბრანის ერთეულ ფართობზე. საინჟინრო მეცნიერებები-ნანო-და მემბრანული ტექნოლოგიები.	2018	მ. კუჭერაშვილი-ხელმძღვანელი

3	<p>მემბრანის მისაღებ კომპოზიციაში დანამატების გავლენის შესწავლა მემბრანის მიკრორელიეფსა და სიმქისეზე.</p> <p>საინჟინრო მეცნიერებები-ნანო-და მემბრანული ტექნოლოგიები.</p>	2018	მ. კეჭერაშვილი-ხელმძღვანელი
4	<p>ფაზური ინვერსიის პროცესში საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურის გავლენა მიღებული მემბრანების ფორის ზომებზე.</p> <p>ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ-ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავება</p>	2018	ნ. გოგესაშვილი-ხელმძღვანელი
5	<p>პოლიმერული კომპოზიციის (აბაზანაში ჩაშვებამდე) აორთქლების დროის ხანგრძლივობის გავლენა მემბრანების მახასიათებლებზე.</p> <p>ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ-ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავება</p>	2018	ნ. გოგესაშვილი-ხელმძღვანელი
6	<p>პოლიმერული მემბრანების მისაღები ზოგიერთი პოლიმერული მასალის სინთეზი და კვლევა.</p> <p>ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ-ნანოკომპოზიციური მასალების დამუშავება</p>	2018	ნ. გოგესაშვილი-ხელმძღვანელი

7	პირველი რიგის მიახლოების ორფაქტორიანი მათემატიკური გეგმარება ფაზური ინვერსიის პარამეტრების პიკური მონაცემებისთვის, მათემატიკური მეცნიერებები-გეომეტრია, მექანიკის თემატიკური პრობლემები	2018	ლ. ყუფარაძე-ხელმძღვანელი
8	სადაწნო საკანში ჰიდროდინამიკური კვლევა ლაბორატორიულ დანადგარზე ჩატარებული ექსპერიმენტების მიხედვით, მათემატიკური მეცნიერებები-გეომეტრია, მექანიკის თემატიკური პრობლემები	2018	ლ. ყუფარაძე-ხელმძღვანელი
9	წყლის ნანოფილტაციული პროცესის კვლევა კალციუმის იონომეტრული განსაზღვრის მეთოდით, ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ- ადამიანისა და ბიოსფეროს ქიმიური დაცვის პრობლემათა დამუშავება	2018	ლ. ებანოძე-ხელმძღვანელი
10	ნანოფილტაციული პროცესის კვლევა ქიმიური ელემენტის - კალციუმის (Ca^{+2}) რაოდენობრივი განსაზღვრით, ქიმია და მეცნიერება მასალების შესახებ- ადამიანისა და ბიოსფეროს ქიმიური დაცვის პრობლემათა დამუშავება	2018	მ. მამულაშვილი-ხელმძღვანელი

დასრულებული კვლევითი პროექტების ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაციები (ქართულ ენაზე)

1. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის ერთ-ერთი მთავარი მიმართულებაა კომპოზიციური მემბრანების დამუშავება. პოლიმერული კომპოზიციების შექმნისთვის ნივთიერების მოლეკულური მასა, ნაწილაკის ზომა და ზეტა-პოტენციალი განისაზღვრება ნანო- ნაწილაკების (0,3 ნმ-დან) მზომ ხელსაწყოზე Zetasizer Nano ZS90. საკვლევი ნიმუშის სიმღვრივე შეადგენს FNU-0,1798 ფორმაზინის ერთეულით (სიმღვრივის მზომი -Turb 555), ხოლო წყლის ელ. გამტარობა 2×10^{-4} სიმ/მ. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ნანოკომპოზიციური მასალების შექმნისთვის საჭირო კომპონენტების მოლეკულური მასის განსაზღვრისთვის მეთოდიკის ექსპერიმენტული დამუშავება. დასახული ამოცანის განხორციელებისთვის შესასწავლად შეირჩა დაბალმოლეკულური მასის მქონე ნაერთი მოლეკულური მასით 380გ/ლ-420გ/ლ.

მოლეკულური მასის გაზომვისთვის მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენდა ნიმუშის სწორად მომზადება. პირველ ეტაპზე მოხდა სხვადასხვა კონცენტრაციის მქონე ნიმუშების დამზადება, შესწავლა, შედარება, ანალიზი და დასკვნის გამოტანა. პირველი სამი გაზომვის დროს პირობები ერთნაირია, ნიმუშის ტემპერატურა 25°C , კიუვეტი პოლისტიროლი, ნიმუშის დაყოვნების დრო 1-4სთ, თავდაპირველად გაზომილი იქნა მაღალი კონცენტრაციის მქონე ნიმუშები 360გ/ლ-დან 680გ/ლ-მდე საწყისი კონცენტრაცია 360 ბიჯით-160, 80, 40, 20, 10, 5, kcps -ის მნიშვნელობების დიაპაზონი 0.4 - 1.2. აღნიშნული კონცენტრაციის გაზომვის შედეგი შეადგენდა 0კდა-ს. მეორე ეტაპზე კონცენტრაცია შევამცირეთ 10-ჯერ 36გ/ლ-დან 100გ/ლ-მდე, საწყისი კონცენტრაცია 36გ/ლ, ბიჯით - 32, 16, 8, 4, 2, 1, kcps-ის მნიშვნელობების დიაპაზონი 0.5-0.9. კონცენტრაციის შემცირების შედეგად მიღებული მონაცემები არ აკმაყოფილებდა დადგენილ ზღვრებს (4,1კდა-6,8კდა). მესამე გაზომვისას ნიმუშის საწყისი კონცენტრაცია გვქონდა 3,6გ/ლ, ბიჯით - 3.2, 1.6, 0.8, 0.4, 0.2, 0.1, kcps -ის მნიშვნელობების დიაპაზონი 0,6- 0,9. ექვსი გაზომვის შედეგად მივიღეთ მონაცემები 4 ნიმუშზე მნიშვნელობათა დიდი დიაპაზონით 0.00245, 0.399, 1.2 და 15,9.

მომდევნო ჩატარებული ცდების 4 (5, 6, 7 სერია) სერია წარმოადგენდა პირველი სამ გაზომვათა სერიის გამეორებას დაყოვნების დროის გაზრდის მიხედვით. ცდები ჩატარდა შემდეგი პირობების დაცვით: ნიმუშის ტემპერატურა 25°C , კიუვეტი პოლისტიროლი, ნიმუშის დაყოვნების დრო 24-72 სთ. ნიმუშები კონცენტრაციით 360გ/ლ-დან 680გ/ლ-მდე, მივიღეთ ანალოგიური შედეგი, როგორც პირველი გაზომვისას 0-კდა. კონცენტრაციით 36გ/ლ-დან 100გ/ლ-მდე მივიღეთ შემდეგი მონაცემები: 2.9, 3.38, 3.81 და 12.5. მესამე სერიის გამეორება მოხდა 12 ცდით და მხოლოდ 3 გაზომვის შედეგად მივიღეთ გაზრდილი მონაცემები - 4.66, 13.6, 13.6 და 488.

ცდების მე-8 სერიაში ნივთიერება შესწავლილი იქნა დაბალ კონცენტრაციაზე 0.36გ/ლ - დან 0.1გ/ლ-მდე, ბიჯით - 0.32, 0.16, 0.08, 0.04, 0.02. გაზომვა ტარდებოდა შემდეგი პირობების დაცვით: ნიმუშის ტემპერატურა 25°C , კიუვეტი პოლისტიროლი, ნიმუშის დაყოვნების დრო 1-4სთ, kcps -ის მნიშვნელობების დიაპაზონი 0.6- 0.7. გაზომვების მერვე სერიაში მიღებული შედეგებია 0.149, 4.08, 8.72 და 24.5. მეცხრე სერიაში გაზომვა მიმდინარეობდა კონცენტრაციის შემცირებით. 10გ/ლ, 7.5გ/ლ, 5გ/ლ, 2.5გ/ლ kcps -ის მნიშვნელობა 0.6, კიუვეტი - მინა, მონაცემები 2.29, 3.0 და 1.59. მიღებული შედეგები არ ჯდება საკვლევი მასის დიაპაზონში.

ცდების უმეტესობა ჩატარდა 4გ/ლ, 6გ/ლ, 8გ/ლ, 10გ/ლ კონცენტრაციაზე დაყოვნების დროის სხვადასხვა დიაპაზონში, კიუვეტი - მინა, kcps -ის მნიშვნელობა 0.6. მიღებული შედეგების მონაცემები მერყეობდა 0.167გ/ლ - დან 26,9გ/ლ- მდე.

ცხრილი 1. მოლეკულური მასის განსაზღვრის პირობები და შედეგები

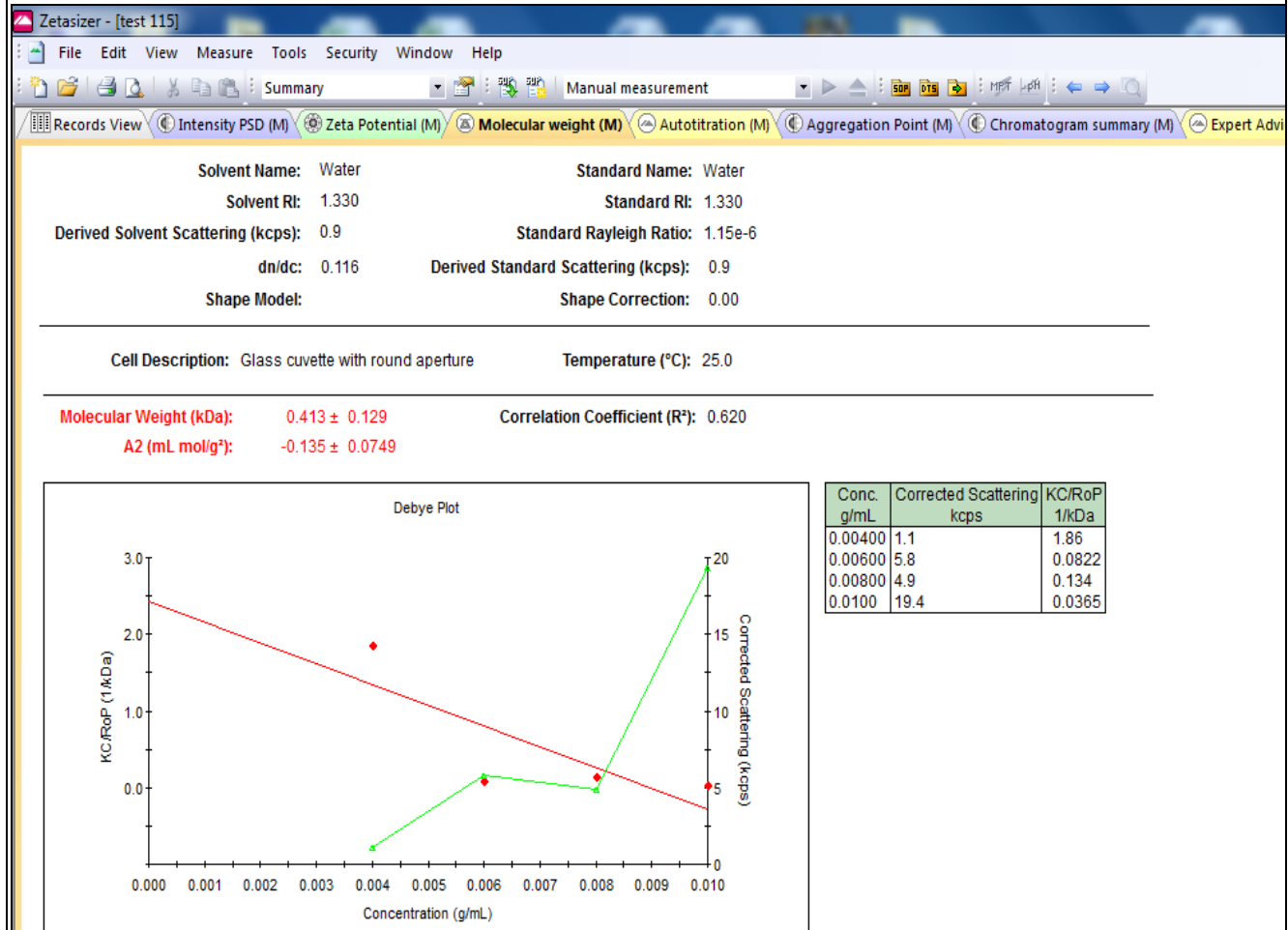
გაზომვის სერია 1

ნიმუში გ/ლ					ტემპერატურა C°	კოუპეტი	დაყ.დრო სთ.	ბიჯი	kcps	მოლ.მ kDa
№	1	2	3	4						
	360	520	680	-	25	პოლისტ.	1-4	160	0,4	0
	360	440	520	-	25	პოლისტ.	1-4	80	0,7	0
	360	400	440	-	25	პოლისტ.	1-4	40	0,5	0
	360	380	400	-	25	პოლისტ.	1-4	20	1,2	0
	360	370	380	-	25	პოლისტ.	1-4	10	0,7	0
	360	365	370	-	25	პოლისტ.	1-4	5	0,6	0
გაზომვის სერია 2										
	36	68	100	-	25	პოლისტ.	1-4	32	0,8	6,8
	36	52	68	-	25	პოლისტ.	1-4	16	0,9	0
	36	44	52	-	25	პოლისტ.	1-4	8	0,6	4,16
	36	40	44	-	25	პოლისტ.	1-4	4	0,7	0
	36	38	40	-	25	პოლისტ.	1-4	2	0,5	0
	36	37	38	-	25	პოლისტ.	1-4	1	0,7	0
გაზომვის სერია 3										
	3,6	6,8	10	-	25	პოლისტ.	1-4	3,2	0,6	0
	3,6	5,2	6,8	-	25	პოლისტ.	1-4	1,6	0,8	0,399
	3,6	4,4	5,2	-	25	პოლისტ.	1-4	0,8	0,9	0,00245
	3,6	4	4,4	-	25	პოლისტ.	1-4	0,4	0,7	1,2
	3,6	3,8	4	0	25	პოლისტ.	1-4	0,2	0,8	0
	3,6	3,7	3,8	-	25	პოლისტ.	1-4	0,1	0,6	15,9
გაზომვის სერია 9										
	10	7,5	5	2,5	25	მინა	1-4	2,5	0,6	2,29
	10	7,5	5	2,5	25	მინა	1-4	2,5	0,6	3,06
	10	7,5	5	2,5	25	მინა	1-4	2,5	0,6	1,59

გაზომვის სერია 10										
	4	6	8	10	25	მინა	1-4	2	0,6	0,167
	4	6	8	10	25	მინა	1-4	2	0,6	1,06
	4	6	8	10	25	მინა	1-4	2	0,6	18,5
	4	6	8	10	25	მინა	1-4	2	0,6	0
	4	6	8	10	25	მინა	1-4	2	0,6	1,77
	4	6	8	10	25	მინა	1-4	2	0,6	4,42
	4	6	8	10	25	მინა	0,5	2	0,6	26,9
	4	6	8	10	25	მინა	1,5	2	0,6	0,369
	4	6	8	10	25	მინა	2,5	2	0,6	0
	4	6	8	10	25	მინა	3,5	2	0,6	0
	4	6	8	10	25	მინა	0,5	2	0,6	0
	4	6	8	10	25	მინა	1	2	0,6	0
	4	6	8	10	25	მინა	2,5	2	0,6	2,95
	4	6	8	10	25	მინა	3,5	2	0,6	1,94
	4	6	8	10	25	მინა	0,5	2	0,6	0
	4	6	8	10	25	მინა	1	2	0,6	0
	4	6	8	10	25	მინა	2,5	2	0,6	9,96
	4	6	8	10	25	მინა	3,5	2	0,6	6,8
	4	6	8	10	25	მინა	1,5	2	0,6	22,6
	4	6	8	10	25	მინა	2,5	2	0,6	8,28
	4	6	8	10	25	მინა	4,5	2	0,6	15
	4	6	8	10	25	მინა	24	2	0,6	13
	4	6	8	10	25	მინა	1,5	2	0,6	45,7
გაზომვის სერია 11										
	4	6	8	10	25	მინა	96	2	0,9	0,413
	4	6	8	10	25	მინა	96	2	0,9	0,407

	4	6	8	10	25	მინა	96	2	0,9	0,400
--	---	---	---	----	----	------	----	---	-----	-------

სურათი 1 - მოცემულია ხელსაწყო Zetasaizet Nano ZS90- ზე მიღებული შედეგი, სადაც ნივთიერების მოლეკულური მასა ტოლია 0,413.



სურათი 1. ხელსაწყო Zetasaizet Nano ZS90- ზე მოლეკულური მასის გაზომვის შედეგი

საბოლოო გაზომვების სერიის დროს მიღებული მონაცემების შედეგად დადგინდა ნივთიერების მოლეკულური მასის განსაზღვრის შემდეგი ოპტიმალური პირობები: ნიმუშის ტემპერატურა 25 °C, კოუვეტი მინა, ნიმუშის დაყოვნების დრო 96სთ, ნიმუშის საწყისი კონცენტრაციის შედეგები: 0.413, 0.407 და 0.400. აღნიშნული შედეგები ჯდება ნივთიერების მოლეკულური მასის დიაპაზონში.

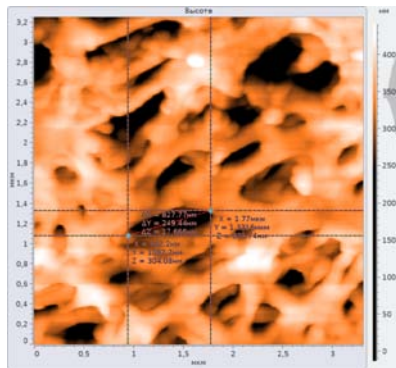
2. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს პოლიმერული მემბრანების ფაზური ინვერსიის გზით მიღების პროცესში, მაფორმირებელ ხსნარზე დამატებული სხვადასხვა კომპონენტის გავლენის შესწავლა მემბრანის ფორმის რაოდენობაზე. მემბრანის მისაღებად ჩვენს მიერ შერჩეული პოლიმერები მიეკუთვნება პოლისულფონების (პს) კლასს, ხოლო ფორწარმომქმნელად პოლიგლიკოლები მოლეკულური მასით 200-600 (გ-1) და 600 - 12000 (გ-2). დასახული ამოცანის განხორციელებისთვის შესწავლილი იქნა ფაზური დაყოფის პროცესის კინეტიკა, ფორმის ზომებზე და ფორმის ზომების მიხედვით განაწილებაზე მოქმედი ზოგიერთი ფაქტორი, კერძოდ, პოლიმერის ხსნარისა და ფორწარმომქმნელების კონცენტრაცია. დადგენილი იქნა, რომ ხსნარის დაბალი კონცენტრაციის დროს (1%-5%) მიმდინარეობს პოლიმერის პოლიმერული კარკასის სრული რღვევა, დეფექტური და არაფოროვანი სტრუქტურა, მაღალი კონცენტრაციების დროს (15%-25%) პოლიმერული კარკასი მტკიცე, იზოლირებული ფორმის მქონე სტრუქტურა, ხოლო საშუალო კონცენტრაციების დროს (10%-15%) მიმდინარეობს პოლიმერული კარკასის ნაწილობრივი რღვევა და წარმოიქმნება ურთიერთშელწევადი ფორმის მქონე ფოროვანი მემბრანა. ზოგადად, მიჩნეულია, რომ მაფორმირებელ კომპოზიციაში ფორწარმომქმნელის ძირითად ფუნქციას წარმოადგენს შექმნას განსაზღვრული ზომის სუპრამოლეკულური წარმონაქმნები, რომლებიც განაპირობებენ საბოლოო მემბრანის სელექტიური ფენის პოლიმერული ფაზის სივრცით განლაგებას. ექსპერიმენტების მიმდინარეობის დროს ფორწარმომქმნელის რაოდენობა იცვლებოდა 10%-დან 60%-მდე (მასური წილი). დადგენილი იქნა, რომ, პოლიგლიკოლების, როგორც ფორწარმომქმნელების გავლენა გამოხატება შემდეგში: 1) ის მოქმედებს როგორც სუსტი გამხსნელი პოლისულფონებისთვის, წარმოადგენს მიკროფორმის ეფექტურ წარმომქმნელს, ძირითად ხსნარზე მისი დამატება იწვევს მიკროფაზური დაყოფის ეფექტის გაუმჯობესებას. 2) პოლიგლიკოლები ამაღლებენ მაფორმირებელი ხსნარების სიბლანტეს ჩვეულებრივი მიკროფორმის წარმომქმნელ აგენტებთან შედარებით, ისეთების, როგორიცაა წყალი, სპირტები, გლიცერინი, არაორგანული მარილები. რადგან მაფორმირებელი ხსნარის სიბლანტე იცვლება პოლიგლიკოლების რაოდენობის და მოლეკულური მასის შესაბამისად (0,26-2,7 პუაზ), ადვილია ხსნარის ისეთი სიბლანტის რეგულირება, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო ზომის ფორმის მქონე მემბრანების მიღებას. 3) პოლიგლიკოლები ახდენენ ერთგვარ კოაგულაციურ ზემოქმედებას სხვა ფორწარმომქმნელებთან შედარებით და ასრულებენ მადისპერგირებელი აგენტის როლსაც. 4) საგულისხმოა აგრეთვე, რომ პოლიგლიკოლები ფაზური დაყოფის პროცესის დასრულების შემდეგაც კი ბოლომდე არ სცილდება პოლიმერულ მემბრანას და მისი გარკვეული რაოდენობა რჩება საბოლოო მემბრანაში. ექსპერიმენტების მიმდინარეობის დროს ფორწარმომქმნელის რაოდენობა იცვლებოდა 5%-დან 60%-მდე (მასური წილი). პოლიგლიკოლების დამატება ზრდის ფორიანობას 35%-დან 70%-მდე. პოლიგლიკოლების კონცენტრაციის გავლენა მემბრანის ფორმირების კინეტიკაზე განისაზღვრება სამი ძირითადი ფაქტორით: თერმოდინამიკური, რეოლოგიური და მორფოლოგიური. პოლიგლიკოლების დამატება აჩქარებს ფაზური ინვერსიის პროცესს, ცვლის ხსნარის ქიმიურ პოტენციალს და ამცირებს პოლისულფონებისა და გამხსნელის თერმოდინამიკურ სწრაფვას, შესაბამისად ამცირებს გამხსნელის რეოლოგიური ფაქტორი თავს იჩენს ფაზური ინვერსიის სიჩქარის შემცირებით მაფორმირებელი ხსნარის სიბლანტის გაზრდის დროს. დიფუზიის კოეფიციენტი სიბლანტის უკუპროპორციულია და როგორც ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, პოლიგლიკოლების 12%- (მასური წილი) დამატების დროს იზრდება ფორმის რიცხვი ზედაპირის ერთეულზე, იზრდება გამხსნელისა და არაგამხსნელის დიფუზიის კოეფიციენტი მაფორმირებელი ხსნარის გამყოფ ზედაპირზე. ძალიან მაღალი კონცენტრაციით პგ-ის დამატებით ხსნარის სიბლანტე იმდენად დიდი ხდება, რომ დიფუზიის სიჩქარე მცირდება და ფორმის რაოდენობა მცირდება. იმავე დროს, პგ-ის მოლეკულური მასის ზრდასთან ერთად იზრდება ფორმის ზომა. პოლიმერული მემბრანის ფორმის ზომები შესწავლილი იქნა ბუშტულაკების წერტილის მეთოდისა და მასკანირებელი

ზონდური მიკროსკოპის საშუალებით. ამ მეთოდებით განსაზღვრული იქნა მემბრანის მაქსიმალური და მინიმალური დიამეტრის ფორები, კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 1).

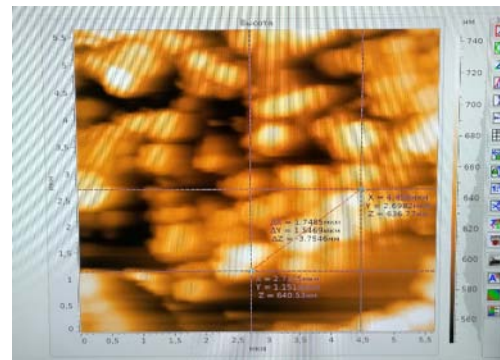
გამოთვლილი პარამეტრები	30% პგ-1 20 % პგ-2	15% პგ-1 25% პგ-2	20% პგ-1 25% პგ-2	15% პგ-2 25% პგ-1	25% პგ-1
ბუშტულაკების წერტილის მეთოდით განს. წნევა P (ბარი)	8.1-1.1	4	8.1-4.05	2	2
ფორის დიამეტრი, d მკმ	0.1-0.7	0.2	0.1-0.2	0.4	0.4
ფორიანობა ერთ. ფართობზე 100/100 მკმ ²	591	512	295	384	277

ცხრილი 1. კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემები

მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის საშუალებით მიღებულმა მიკროფოტოგრაფიულმა სურათებმა (სურათი 1) საშუალება მოგვცა მოგვეხდინა მემბრანის ფორების გეომეტრიული ვიზუალიზაცია, გაგვესაზღვრა ფორების ზომა და ფორების განაწილება ზომების მიხედვით.



ა



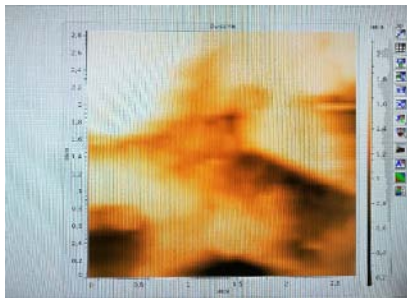
ბ

სურათი 1. მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით გადაღებული მემბრანის ზედაპირის 2D გამოსახულება; ა-ფორწარმომქმნელი 30% პგ-1 და 20 % პგ-2; ბ-ფორწარმომქმნელი 25% პგ-1

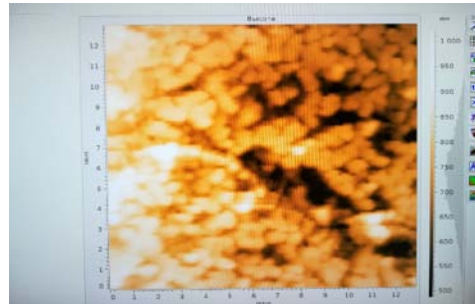
ამრიგად, პოლიმერის მაფორმირებელ ხსნარებზე სხვადასხვა დანამატის (ფორწარმომქმნელი) კონცენტრაციების ცვლილებით მიღებულია შესაბამისი ზომის ფორების მიკრო- და ნანოფილტრაციული

პოლიმერული მემბრანები ფორების ზომების მიხედვით განაწილების ვიწრო ინტერვალში.

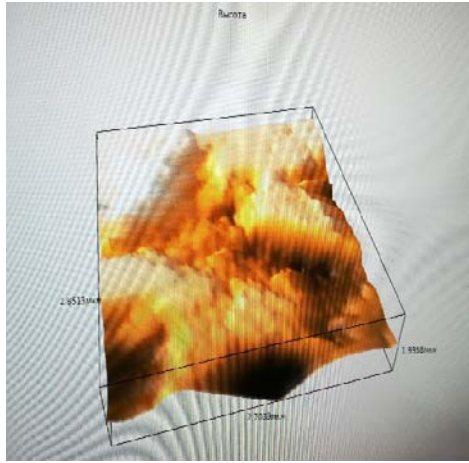
3. მემბრანის ზედაპირის არაერთგვაროვნების შემთხვევაში, მასში არსებული ამაღლებები აღემატება 100 ნმ, მემბრანული აპარატებით სითხეების ფილტრაციის დროს მემბრანების ზედაპირზე და მისი ფორების კედლებზე მიმდინარეობს წყალში არსებული სხვადასხვა ნივთიერების სორბირება, ილექება დამაჭუჭყიანებელი ნაწილაკები, იზრდება მემბრანული აპარატის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა და მკვეთრად უარესდება გაყოფის პროცესის ძირითადი მახასიათებლები - წარმადობა და მემბრანების სელექტიურობა. ჩვენი სამუშაოს მიზანს შეადგენდა შეგვემუშავებინა პოლიმერული მემბრანის მისაღები კომპოზიცია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნებოდა მიგველო მემბრანა, რომლის ზედაპირის სიმქისის პარამეტრები დააკმაყოფილებდა თანამედროვე სტანდარტებს. პოლისულფონების ბაზაზე შემუშავებული იქნა სხვადასხვა შედგენილობის მქონე მემბრანის მისაღები კომპოზიცია. დანამატებად, ე.წ. მამოდიფიცირებელ აგენტებად შერჩეული იქნა სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობისა და მოლეკულური მასის მქონე მოდიფიკატორები, რომელთა რაოდენობის ვარირებას ვახდენდით კონცენტრაციების ფართო დიაპაზონში (5%-დან 50%)-მდე. მემბრანების მიღება ხდება ფაზური ინვერსიის (სველი) გზით. მიღებული მემბრანების ზედაპირის მორფოლოგია შესწავლილი იქნა მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის საშუალებით (Certus Standart V), NSG20 ტიპის კანტილევრით, ზონდის მომრგვალების რადიუსი შეადგენს 10 ნმ, ნახევრადკონტაქტური რეჟიმის პირობებში. ექსპერიმენტები ტარდებოდა 20-25°C-ზე, ტენიანობა 58%, ზონდის მგმობიარობა და მიკროსკოპის სკანერის სიზუსტე საშუალებას იძლეოდა მიგველო ზედაპირის გამოსახულება განივი 0.2 ნმ და ვერტიკალური 0.01 ნმ დაშვებით. სკანირების ფართობის ცვლილება ხდებოდა დასმული ამოცანის შესაბამისად (13X13, 6X6 მკმ²).



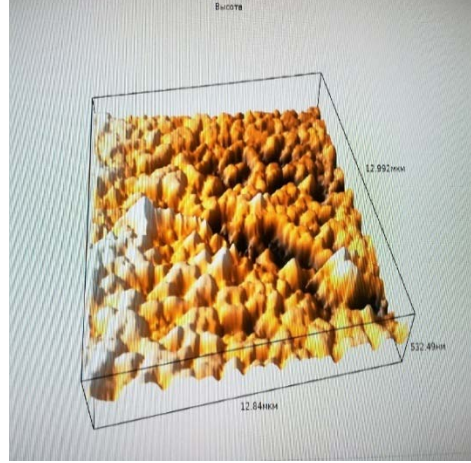
ა



ბ



ბ



დ

სურათი 1. 2D, გ) და 3D სამგანზომილებიანი (ბ ,დ) მზმ-გამოსახულება. ა, ბ საკონტროლო ნიმუშები, გ, დ-მოდიფიცირებული ნიმუშები

როგორც მიღებული მიკროფოტოგრაფიული სურათების 2D და 3D გამოსახულებებიდან ჩანს, საანალიზო ნიმუშების ზედაპირზე შეინიშნება მრავალრიცხოვანი მუქი ფერის, ყველაზე დაბალი სიმაღლის მქონე მონაკვეთები, რომელთა ინტერპრეტაცია მოხდა, როგორც ფორების, მემბრანის ზედაპირები დანამატის გარეშე (ა, ბ) ქაფისმაგვარ მატრიცას წარმოადგენს, რომელიც აგებულია გლობულარული წარმონაქმნებისგან და თავის მხრივ შეიცავენ ელიფსოიდურ ვაკუოლებს. ზედაპირი არაერთგვაროვანია და უსწორმასწორო, ფორები ხასიათდებიან არარეგულარული სტრუქტურით. დამატებული მოდიფიკატორების გავლენით, მათი მოლეკულური მასებისა და კონცენტრაციების შესაბამისად, იცვლება აფსკების სტრუქტურის ტიპი და რელიეფი თავდაპირველ სურათთან შედარებით. იცვლება (გ, დ) მიღებული მემბრანების სიქისე, ზედაპირი ხდება ერთგვაროვანი, გლუვი, შესაბამისად მცირდება ფორების ზომა და მათი განლაგება უფრო რეგულარულ სახეს იღებს.

მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით მიღებული გამოსახულებების საშუალებით ჩვენს მიერ არა მარტო ხარისხობრივად, არამედ რაოდენობრივად შეფასდა საკონტროლო და მოდიფიცირებული ნიმუშების ამპლიტიდური საშუალო სტატისტიკური სიქისის პარამეტრები საერთაშორისო სტანდარტის მიხედვით. ეს მონაცემები მოტანილია ცხრილში (ცხრილი 1). განისაზღვრა R_y -პროფილის ზედაპირის ყველაზე მაღალ და დაბალ წერტილებს შორის, R_a - საშუალო არითმეტიკული სიქისე, R_q -საშუალო კვადრატული სიქისე, R_z - ზედაპირის სიქისე (5 ყველაზე მაღალი და 5 ყველაზე ღრმა წერტილის საშუალო აბსოლუტური მნიშვნელობა)

პარამეტრები	R_y ნმ	R_z ნმ	R_a ნმ	R_q ნმ
საკონტროლო	172.2±11.1	115.2±14.8	28.3±4.1	28.3±4.1
მოდიფიცირებული	28.3±4.1	42.1±5.2	8.2±1.1	10.2±1.3

ცხრილი 1. პოლიმერული მემბრანის სიქისის პარამეტრები

Ry- პროფილის ზედაპირის ყველაზე მაღალ და დაბალ წერტილებს შორის, R_a- საშუალო არითმეტიკული სიმქისე, R_q-საშუალო კვადრატული სიმქისე, R_z- ზედაპირის სიმქისე (5 ყველაზე მაღალი და 5 ყველაზე ღრმა წერტილის საშუალო აბსოლუტური მნიშვნელობა).

ამრიგად, ჩატარებული სამუშაოების შედეგად, ჩვენს მიერ შემუშავებულია სხვადასხვა პოლიმერების ბაზაზე პოლიმერული მემბრანების მისაღები კომპოზიციები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია მივიღოთ თანამედროვე სტანდარტების შესაბამისი სიმქისის პარამეტრების მქონე მიკროფ-, ულტრა- და ნანოფილტრაციული მემბრანები, რომელთა კომერციალიზაცია სრულიად შესაძლებელია.

4. პოლიმერული მემბრანების სტრუქტურის ფორმირებისა და წარმოქმნის მექანიზმის გარკვევა მთავარი ფაქტორია სასურველი თვისებების მქონე მემბრანების შექმნისთვის. ეს საკითხი მოიცავს პოლიმერული მასალისთვის გამხსნელი-არაგამხსნელის სისტემის შერჩევას, პოლიმერული ხსნარების მოზადების სხვადასხვა მეთოდს, ასევე მემბრანების ფორმირებისთვის ჩასატარებელ მრავალრიცხოვან ოპერაციებს და აღნიშნული პროცესებისთვის პარამეტრების შერჩევას. ამ ოპერაციებიდან უმნიშვნელოვანესია ფაზური ინვერსიის პროცესის ჩატარება.

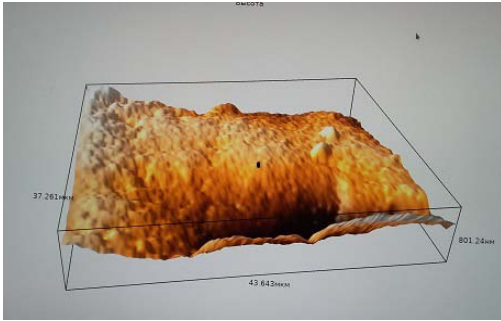
ფაზური ინვერსიის პროცესში მონაწილეობს ძირითადად სამი კომპონენტი: პოლიმერი-გამხსნელი-არაგამხსნელი. ამ კომპონენტების გარდა ხსნარში შეიძლება იყოს ლიოტროპული დანამატები და ფორწარმოქმნელი აგენტები. პოლიმერისა და მაფორმირებელი აგენტების კონცენტრაციის გარდა, ფაზური ინვერსიის პროცესის და საბოლოო მემბრანის ფორმირებაზე გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი. მათ შორის: საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურა, აბაზანის შემადგენლობა, აბაზანაში ნიმუშის ჩაშვების კუთხე და სხვა პარამეტრები. პოლიმერული მემბრანების წარმოების მთლიანი ტექნოლოგიური სექტის დასადგენად მემბრანული ტექნოლოგიის ინსტიტუტში შექმნილ ავტომატურ ლაბორატორიულ დანადგარებზე მიმდინარეობს კვლევები პოლიმერული მემბრანების თითოეული ზემოთაღნიშნული პარამეტრის გავლენის დასადგენად. სველი ფორმირების საბოლოო პროდუქტებია წყლით გაჟღენთილი მემბრანები, რომლებშიც წყლის შემცველობა არის ფორიანობის ექვივალენტური და წარმოადგენს მემბრანების მახასიათებლების განმსაზღვრელ ერთერთ ფაქტორს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდის გამოყენებისას, გარდა პოლიმერული კომპოზიციის შედგენლობისა, ყურადღება უნდა მიექცეს გარემო პირობების პარამეტრებს, იმის გათვალისწინებით თუ როგორ გავლენას ახდენენ ისინი მემბრანაში წყლის შემცველობაზე. ხშირ შემთხვევაში სველი მეთოდით მემბრანების წარმოებისას ფორწარმოქმნელებად ირჩევენ ისეთ ნივთიერებებს, რომლებიც იწვევენ გაჯირჯვებას. თუ პროცესის დროს გამხსნელად გამოყენებულია არაგამხსნელის მსგავსი არააქროლადი ნივთიერება, მაშინ ფაზური ინვერსიის თანმიმდევრობა ზოლი1- ზოლი 2- გელი შეიმჩნევა ნიმუშის ჩაშვებისას არაგამხსნელში. ასეთ შემთხვევაში, ორკომპონენტიანი ხსნარი (პოლიმერი-გამხსნელი) ხდება სამკომპონენტიანი, (პოლიმერი+გამხსნელი+უხსნადი ფორწარმოქმნელი) არაგამხსნელის დიფუზიის შედეგად მემბრანის შიგნით, ხოლო გამხსნელისა შიგნიდან (ახლადწარმოქმნილი გელიდან) გარეთ. ითვლება, რომ ხსნარი, რომელშიც უხსნადი ნივთიერებების კონცენტრაცია მაღალია უკვე შეესაბამება ზოლ 2-ს, რომელიც ახლოს არის გელის წარმოქმნასთან და ამიტომ მისი ჩატვირთვისას არაგამხსნელიან აბაზანაში და შემდგომი გელის წარმოქმნა წარიმართება გელის უფრო ნაკლები შეკუმშვით, ვიდრე ჩვეულებრივ პირობებში.

წარმოდგენილი სამუშაო მოიცავს ფაზური ინვერსიის პროცესის კვლევებს საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურის გავლენის შესასწავლად მიღებული მემბრანების მახასიათებლებზე. პოლიმერული კომპოზიციის შემადგენლობა და კონცენტრაცია აღნიშნულ კვლევებში ისევე, როგორც აბაზანაში ნიმუშის ჩაშვების სიჩქარე (600 მმ/წთ) და ნიმუშის ჩაშვების კუთხე (45°) იყო მუდმივი. ექსპერიმენტები ტარდებოდა აცეტატცელულოზას ერთი და იგივე კონცენტრაციის ხსნარებზე. საკოაგულაციო აბაზანის 10°C , 20°C , 30°C და 40°C ტემპერატურებზე.

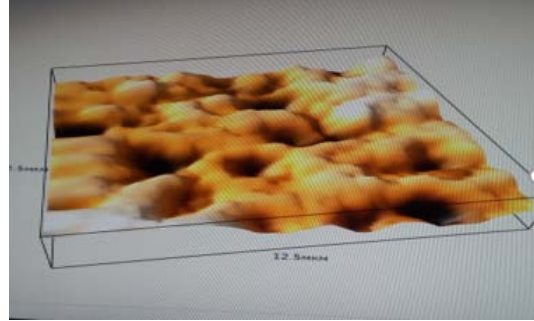
პოლიმერის კონც.%	საკოაგულაციო აბაზანის , $^\circ\text{C}$	ფორის ზომა, მკმ(r)	ხვ. წარმადობა ლ/სთ.მ ²		გაფილტრული წყლის სიმღვრივე NTU
			0,5 ბარი	1 ბარი	
9	10	5.7	-----	გაიხა	4.0
9	20	0.72	867.44	1367	0.25-0.12
9	30	1, 01	534.99	889.99	0.7
9	40	1,93	1134	გაიხა	0.49-0.52

ცხრილი 1. ფაზური ინვერსიის პროცესის და მიღებული მემბრანების მახასიათებლები

საკოაგულაციო აბაზანის სხადასხვა ტემპერატურაზე გამოლექილი ნიმუშების მაქსიმალური ფორის ზომები განსაზღვრულია ბუმტულაკის წერტილის განმსაზღვრელ ხელსაწყოზე. ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ სააბაზანოს ტემპერატურის გაზრდისას გამოლექილი მემბრანების მაქსიმალური ფორის ზომა მცირდება (ცხრილი 1). შესაძლებელია, რომ აღნიშნული შედეგი გამოწვეული იყოს ტემპერატურის აწევისას სტრუქტურაწარმომქმნელი ცენტრების გაჩენით და გამრავლებით, რის გამოც წარმოიქმნება უფრო მეტი, მაგრამ შედარებით მცირე ზომის ფორა. შესწავლილია მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები 0,5-1.0 ბარ წნევაზე. დადგენილია, რომ საკოაგულაციო აბაზანის 10°C და 40°C გამოლექილი მემბრანების მექანიკური თვისებები 1ბარ წნევაზე არადაამაკმაყოფილებელია. ატომურ-ძალური მიკროსკოპით ჩატარებულია მემბრანების მიკროკროსკოპული კვლევა. სურათებზე 1 და 2 მოცემულია აბაზანის 10°C და 20°C -ზე გამოლექილი მემბრანების მიკროსურათები 3D განზომილებაში.



სურათი 1. აბაზანის 10°C -ზე გამოლეკილი
მემბრანა 3D განზომილებაში.



სურათი 2. აბაზანის 20°C -ზე გამოლეკილი
მემბრანა 3D განზომილებაში.

მიღებული მემბრანებიდან ოპტიმალური ფორის ზომები და დამაკმაყოფილებელი წარმადობები გააჩნია 20°C -ზე გამოლეკილ მემბრანას. განსაზღვრულია აგრეთვე მიღებული მემბრანების გამოყენებით გაფილტრული წყლის სიმღვრივეები. აქაც უპირატესი და დამაკმაყოფილებელი შედეგი მიღებულია 20°C-ზე გამოლეკილი მემბრანისთვის. ეს შედეგები საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: აღნიშნული შემადგენლობით პოლიმერული კომპოზიციის გამოლეკვა უნდა მოხდეს საკოაგულაციო აბაზანის 20°C ტემპერატურაზე ნიმუშის აბაზანაში 600 მმ/წთ სიჩქარით და 45^წ-იანი კუთხით ჩაშვებისას.

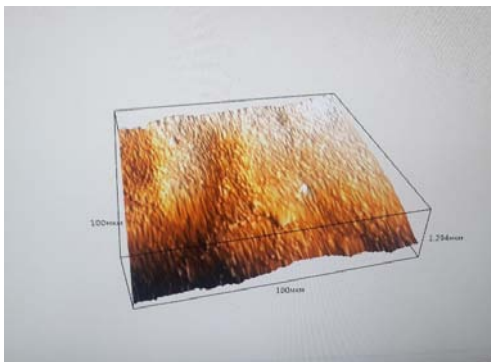
5. მე-20 საუკუნის 70-იანი წლებიდან სინთეზურმა პოლიმერებმა კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი გამოყენება ჰპოვა მემბრანულ ტექნოლოგიაში, რადგან დადგინდა, რომ პოლიმერები წარმოადგენენ უნიკალურ მასალას მემბრანების შესაქმნელად. ინსტიტუტში პოლიმერული მემბრანების მისაღებად მიმდინარეობს ინტენსიური მუშაობა სხვადასხვა პოლიმერული მასალებიდან ახალი გაუმჯობესებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე პოლიმერული მემბრანების შექმნის მთლიანი ტექნოლოგიური სქემის დასადგენად. ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდით, პოლიმერული მემბრანების მიღებისას მრავალ პარამეტრს შორის მნიშვნელოვანია არაგამხსნელში ჩაშვებამდე ფუძემრეზე დატანილი კომპოზიციის აორთქლების ოპტიმალური დროის განსაზღვრა. ეს პარამეტრი გავლენას ახდენს პოლიმერული მემბრანების ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლებზე. ამასთანავე, უნდა აღინიშნოს, რომ გამხსნელის მოცილების სიჩქარე არის ფუნქცია იმ აირის წნევისა, რომელიც იმყოფება ფუძემრეზე დატანილი ნიმუშის ზემოთ. თავდაპირველად გამხსნელის აორთქლების შედეგად პოლიმერის კონცენტრაცია იზრდება, უპირველეს ყოვლისა, ზედაპირულ ფენებში, რაც თავის მხრივ იწვევს გამხსნელის დიფუზიას შიგა ფენებიდან ზემოთ. ზედა ფენის სიბლანტის გაზრდის გამო დიფუზიაც მცირდება. ამიტომ სხვადასხვა ფენიდან გამხსნელის სხვადასხვა სიჩქარით მოცილების გამო ზედაპირულ ფენებში მაკრომოლეკულები ორიენტირდება ზედაპირის პერპენდიკულარულად. შუა ფენებში წარმოიქმნება იზოტროპული სტრუქტურა, ხოლო ქვედა ფენებში ფუძე შრიდან გამხსნელის უფრო ნელი აორთქლების გამო, ქვედა ფენების მაკრომოლეკულების ორიენტაცია ზედაპირის პარალელურია. აღნიშნული პროცესებისა და საკოაგულაციო აბაზანაში ჩაშვებამდე ფუძემრეზე დასხმული პოლიმერული კომპოზიციის აორთქლების დროის გავლენის შესასწავლად მიღებული მემბრანების მახასიათებლებზე, ჩვენს მიერ გამოყენებული იყო აცეტატცელულოზას შემდეგი შემადგენლობის პოლიმერული კომპოზიცია : აცეტატცელულოზა /

დიმეთილაცეტამიდი / კალციუმის ქლორიდი. აცეტატცელულოზას კონცენტრაცია აღნიშნულ ხსნარში იყო 10%. ფუძემრედე გამოვიყენეთ მინა. ფუძემრეზე დასხმული ნიმუშის დაყოვნება ხდებოდა ჰაერზე, ოთახის ტემპერატურაზე, ტენიანობა იყო 42-43%. ფაზური ინვერსიის პროცესი ტარდებოდა წყალში, ინსტიტუტში შექმნილ ავტომატურ ლაბორატორიულ დანადგარზე, ოთახის ტემპერატურაზე. აბაზანაში ნიმუშების ჩაშვების სიჩქარე იყო 400მმ/წთ, ჩაშვების კუთხე კი 45°. ფუძემრეზე დასხმული კომპოზიციების აორთქლების პროცესის ვიზუალურ დაკვირვებას ვაწარმოებდით ოპტიკურ მიკროსკოპზე. კვლევების ზოგიერთი მახასიათებელი მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 1).

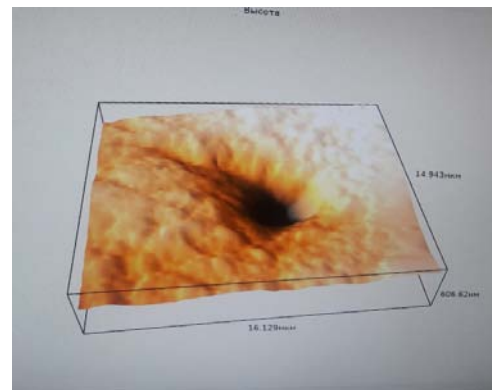
აორთქლების დრო ფუძემრეზე დატანიდან, წთ	მემბრანებში ვიზუალური დახასიათება	შედწევადობა, ლ/მ ² სთ
1	ნიმუშის გვერდებზე დაწყებულია კოაგულაცია, ცენტრში გამჭვირვლე კომპოზიციაა.	400
5	ნიმუში გელის სახითაა ცენტრში, კოაგულაცია ნიმუშის კიდეებზე გადიდებულია	300
10	წარმოქმნილია ულტრაგელი	200
20	„-----□-----„	100

ცხრილი 1. აორთქლების დროის ხანგრძლივობის გავლენა მემბრანების თვისებებზე 10%-იან კომპოზიციისათვის (აცეტატცელულოზა/დიმეთილაცეტამიდი/კალციუმის ქლორიდი).

აღნიშნული კომპოზიციების გამოლექვის შედეგად მიღებული მემბრანების შესწავლა ხდებოდა ატომურ-ძალურ მიკროსკოპზე. საკოაგულაციო აბაზანაში ჩაშვებამდე სხვადასხვა დროით დაყოვნებული ნიმუშებისგან მიღებული მემბრანების მიკროსურათები მოცემულია სურათებში (სურათი 1,2) , ხოლო (ცხრილი 2) ამ მემბრანების მიკროსკოპიული კვლევის ზოგიერთი მახასიათებელი.



სურათი 1. აბაზანაში ჩაშვებამდე ფუძემრეზე 5წთ-ით დაყოვნებული ნიმუშისგან მიღებული მემბრანის მიკროსურათი



სურათი 2. აბაზანაში ჩაშვებამდე 20წთ-ით დაყოვნებული ნიმუშისგან მიღებული მემბრანის მიკროსურათი

აორთქლების დრო ფუძემრეზე დატანიდან, წთ	ფართობი, მკმ ²	ფორის დიამეტრი, მკმ	ფორის სიღრმე, მკმ	ფორების რაოდენობა, 100/100 მკმ ²
1	8/16	0,6	0,02	78
5	12,5/12,5	1.2	0,03	64
10	14/16	1	0,17	44
20	26/25	1	0,7	15

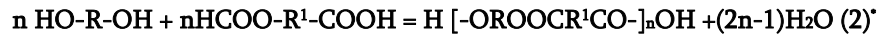
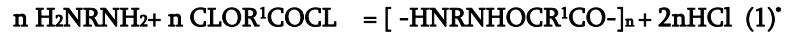
ცხრილი 2. აბაზანაში ჩაშვებამდე აორთქლების სხვადასხვა დროით დაყოფილი ნიმუშებისგან მიღებული მემბრანების მიკროსკოპიული კვლევის მახასიათებლები

აღნიშნული კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ ნიმუშების საკოაგულაციო აბაზანაში ჩაშვებამდე ფილერზე დატანილი კომპოზიციის ზედაპირზე პოლიმერის კონცენტრაცია გამხსნელის ნაწილობრივი აორთქლების დროს იზრდება. ზედა ფენის სიბლანტის გაზრდასთან ერთად დიფუზია მცირდება. სხვადასხვა ფენიდან გამხსნელის სხვადასხვა სიჩქარით აორთქლებისას და ასეთი აფსკის საკოაგულაციო აბაზანაში ჩაშვებისას ფორმირდება ანიზოტროპიული მემბრანები. დადგენილია, რომ აორთქლების ხანგრძლივობის დროს გაზრდა იწვევს უჯრედების ზომებისა და ფორიანობის შემცირებას და შესაბამისად შედგენადობის შემცირებასაც (ცხრილი 1). სელექციურობის შემცირება კი შესაძლებელია ხდებოდეს ნიმუშების ბარიერული ფენის გამყარების და გაჯირჯვების გამო.

6. მთავარი მახასიათებელი, რომელიც გამოარჩევს პოლიმერებს სხვა კლასის ქიმიური ნაერთებისგან და განსაზღვრავს მათ, როგორც იდეალურ მასალას პოლიმერული მემბრანების მისაღებად, არის მათი ფიბრიალური ბუნება და მოლეკულების დიდი ზომები, რომლებიც თავის მხრივ განაპირობებენ პოლიმერებში მაკროსკოპიულ დონეზე მოქმედი კოგეზიური ძალების არსებობას. პოლიმერებს ახასიათებთ მაღალი გამძლეობა მჟავებისა და ტუტეების მიმართ, არ განიცდიან კოროზიას. მათი უმეტესობა დიელექტრიკია. ისინი შეიძლება იყვნენ თხევად, მყარ, კრისტალურ, ამორფულ, მაღალელასტიურ და დენად დეფორმაციულ ფიზიკურ მდგომარეობაში. პოლიმერებისთვის დამახასიათებელია მექანიკური მახასიათებლების ფართო დიაპაზონი, რომლებიც დამოკიდებულია ძირითადად მათ სტრუქტურაზე. პოლიმერების მექანიკური თვისებების განსაკუთრებულობას წარმოადგენს დამაკმაყოფილებელი სიმტკიცე. ძირითადად ისინი იხსნებიან ორგანულ გამხსნელებში და მათი ხსნადობა მოლეკულური მასის ზრდასთან ერთად მცირდება.

პრაქტიკაში პოლიმერული მემბრანების მისაღები მასალებიდან განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება პოლიკონდენსაციური პოლიმერები, რომლებიც მიიღება დიამინებისა და ორგანული დიკარბონმჟავებისა და მათი დიქლორანაწარმების, ქლორანჰიდრებისა და გლიკოლების ან ფენოლების, ქლორნახშირმჟავასა და ბისფენოლების ფაზათაშორისი პოლიკონდენსაციით. პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი სქემების

მიხედვით.



ჩვენს მიერ სინთეზში გამოყენებული საწყისი ნივთიერებების ზოგიერთი მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 1).

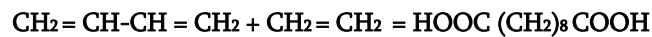
N	ნივთიერება	ლლ. t ^{°C}	დულ. t ^{°C}	ხსნადობა გ/100მლ	სიმკვრივე გ/სმ ³
1	ჰექსამეთილენდიამინი	42	205	96	0,84
2	ადიპინის მჟავა	153	265(100მმ)	1,44(15 ^{°C})	1,36
3	სებაცინის მჟავა	134-135	232	0,1(15 ^{°C})	1,209
4	ტერეფტალის მჟავა	427	680(ქროლ)	1,9	1,51
5	ეთილენგლიკოლი	-12,9	197,3		1,113

ცხრილი 1. საწყისი ნივთიერებების მახასიათებლები

საწყისი ნივთიერება, ადიპინის მჟავა მიღებულია ციკლოჰექსანოლის დაჟანგვით ქრომის ანჰიდრიდით გოგირდმჟავას თანაობისას:



სებაცინის მჟავა კი სინთეზირებულია 1,3 - ბუტადიენისა და ეთილენისგან ნიკელის კატალიზატორის გამოყენებით:



შემდეგ საფეხურზე (1') და(2)' რეაქციებით ჩვენს მიერ მიღებულია პოლიკონდენსაციური მასალები (ცხრილი 1). პოლიკონდენსაცია ტარდებოდა 15-20^{°C}-ზე, გამხსნელად გამოყენებულია დიმეთილაცეტამიდი, რომელიც ასრულებს არამარტო გამხსნელის, არამედ თანამდე დაბალმოლეკულური

პროდუქტები აქცეპტორის როლს. ჩატარებული ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ ტემპერატურის აწევით მიიღება უფრო დაბალიმოლეკულური მასის მქონე პოლიმერები. ცხრილი 1, მოცემულია მიღებული პოლიმერების ზოგიერთი მახასიათებლები.

პოლიმერი	სიმკვრივე გ/სმ ³	ლღ. t [°] C	წყალშთანთქმა, %
პოლიჰექსამეთილენადიპინამიდი [-HN(CH ₂) ₆ NHCO(CH ₂) ₄ CO-] _n	[- 1,02	250	1,4
პოლიჰექსამეთილენსებაცინამიდი [-HN)(CH ₂) ₆ NHCO(CH ₂) ₈ CO-] _n	[- 1,14	210-230	0,56
პოლიეთილენტერეფტალატი [- OCOC ₆ H ₄ COO-] _n	- 1,35	>240	0,3

ცხრილი 1. სინთეზირებული პოლიმერების მახასიათებლები

სინთეზირებული პოლიმერები გამოირჩევიან მაღალი თერმომდგრადობითა და კარგი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით, რაც გამოწვეულია კრისტალურობის მაღალი ხარისხითა და მოლეკულათაშორისი წყალბადური ბმებით მაკრომოლეკულებში. პოლიჰექსამეთილენადიპინამიდი (მიღებულია ჰექსამეთილენდიამინისა და ადიპინის მჟავას პოლიკონდენსაციით), პოლიჰექსამეთილენსებაცინამიდი (ჰექსამეთილენდიამინის და სებაცინის მჟავას პოლიკონდენსაციით) და პოლიეთილენტერეფტალატი (მიღებულია ტერეფტალის მჟავას და ეთილენგლიკოლის პოლიკონდენსაციით). მიღებული ნაერთები წარმოადგენენ ღია ფერის მყარ, მსუბუქ ნივთიერებებს მაღალი ლღობის ტემპერატურით. სხვა თერმოპლასტებთან შედარებით ისინი გამოირჩევიან მაღალი ჰიგროსკოპულობით. ამიტომ, აღნიშნული პოლიმერების ზედაპირები მგრძნობიარე არიან ტენიანობის ცვლილების მიმართ.

მიღებული პოლიმერების ქიმიური თვისებები განპირობებულია მათ მაკრომოლეკულებში პოლარული ჯგუფების არსებობით. აღნიშნული პოლიმერული მასალებიდან პოლიმერული მემბრანების მისაღებად ინსტიტუტის კვლევით ლაბორატორიაში მიმდინარეობს ფაზური ინვერსიის პროცესის ღრმა და დეტალური კვლევა: 1. ამ მასალებისთვის გამხსნელისა და გახსნის პირობების დასადგენად. 2. თითოეული მასალისთვის შესაბამისი კონცენტრაციის შერჩევის მიზნით. 3. გამოლექვის პირობების დასადგენად. 4. საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურისა და შემადგენლობის დასადგენად.

აღნიშნული მასალები გამოყენებული იყო სხვადასხვა კონცენტრაციის პოლიმერული კომპოზიციების მისაღებად და მათ ბაზაზე მემბრანების შესაქმნელად.

7. თანამედროვე სტატისტიკური მეთოდები ექსპერიმენტების ორგანიზებისა და დაგეგმვის საშუალებას იძლევა. თემაში გამოყენებულია ორფაქტორიანი მათემატიკური გეგმარების არსებული თეორია. ვიყენებთ რა $K = 2$, x_1 და x_2 -ით გეგმარებას, ვთვლით, რომ ფაქტორების გავლენა საკვლევი ვარიების ინტერვალზე (P_1, P_2) წრფივია. აქედან გამომდინარე, ვეძებთ შემდეგი წრფივი განტოლების რეგრესიის კოეფიციენტების შეფასებას.

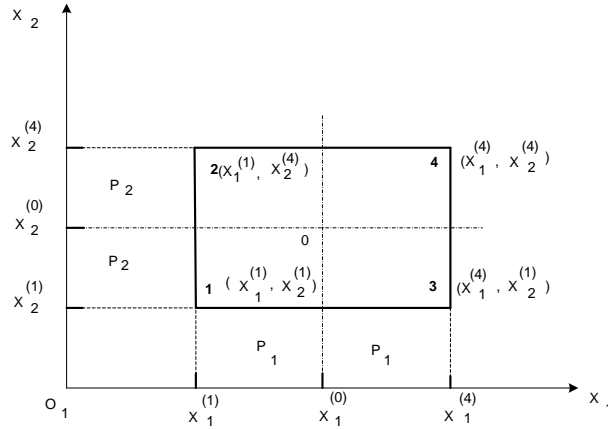
$$y = b_0^1 + b_1^1 x_1 + b_2^1 x_2 \quad (1)$$

ფაზური ინვერსიის ჩვენს ექსპერიმენტებში x_1 - ფაქტორი ხსნარია სხვადასხვა პროცენტულობით, კერძოდ, 7% და 10% და x_2 - ფაქტორი დანამატია სხვადასხვა პროცენტულობით, კერძოდ 0% და 25%. ექსპერიმენტებით ჩვენს მიერ მიღებული ცდების შედეგები მოგვყავს ცხრილში (ცხრილი 1).

ცხრილი 1

N ცდების	x_1	x_2	y
1	7	0	1
2	7	25	2,2
3	10	0	1,9
4	10	25	2,6

ამ ოთხკუთხედის ცენტრი 0 ავირჩიოთ კოორდინატა სათავედ, რომლის კოორდინატებია (1,5;12,5). პირველ რიგში განვახორციელოთ ცდებით მიღებული შედეგებით ორივე ფაქტორის ზედა და ქვედა დონეებზე ცვლილებები მათი ყველა შესაძლო $N=2^2=4$ კომბინაციისთვის. ამისთვის, შევქმნათ სათანადო საკვანძო წერტილები : 1($x_1^{(1)}; x_2^{(1)}$), 2($x_1^{(2)}; x_2^{(2)}$), 3($x_1^{(3)}; x_2^{(3)}$), 4($x_1^{(4)}; x_2^{(4)}$). ცდების მონაცემებიდან (ცხრილი 1) ავიღოთ: $x_1^{(1)} = 7, x_1^{(2)} = 7, x_1^{(3)} = 10, x_1^{(4)} = 10, x_2^{(1)} = 0, x_2^{(2)} = 25, x_2^{(3)} = 0, x_2^{(4)} = 25$.



სურათი 1

მივყვით მსვლელობის თანმიმდევრობას: გადავიდეთ უგანზომილებო კოდირებულ ცვლადებზე, ჯერ განვახორციელოთ კოორდინატა სათავის გადატანა **0 წერტილიდან** O_1 წერტილში კოორდინატა შემდეგი გარდაქმნით (სურათი 1):

$$(x_1^{01}, x_2^{01}) \text{ აქ } x_1^{01} = x_1^0 + \frac{x_1^{(4)} - x_1^{(1)}}{2} = 7 + \frac{10-7}{2} = 8,5, \quad x_2^{01} = 0 + \frac{x_2^{(4)} - x_2^{(1)}}{2} = \frac{25-0}{2} = 12,5 \quad \text{და შემდეგი}$$

$$\text{მასშტაბით: } \tilde{x}_1 = \frac{x_1 - x_1^0}{P_1} \text{ და } \tilde{x}_2 = \frac{x_2 - x_2^0}{P_2}, \text{ სადაც } P_1 = \frac{x_1^{(4)} - x_1^{(1)}}{2} = \frac{10-7}{2} = 1,5; \quad P_2 = \frac{x_2^{(4)} - x_2^{(1)}}{2} = \frac{25-0}{2} = 12,5. \text{ ამ}$$

შემთხვევაში მივიღებთ კვადრატს, კოორდინატა ახალ სისტემაში (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2) (კოდირებული კოორდინატა სისტემა). ამ სისტემაში კვადრატის კუთხის წერტილების კოორდინატებია: 1(-1,-1), 2(-1,+1), 3(+1,-1), 4(+1,+1); რეგრესიის წრფივი განტოლებას კოდირებულ ცვლადებში ზოგადად ექნება სახე:

$$\tilde{y} = b_0 + b_1 \tilde{x}_1 + b_2 \tilde{x}_2 \quad (2)$$

$$\text{აქ } b_0 = \frac{\sum_{u=1}^4 \tilde{x}_{1u} \tilde{y}_u}{4} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{1+2+2+1+9+2+6}{4} = \frac{7,7}{4} = 1,925, \quad b_1 = \frac{\sum_{u=1}^4 \tilde{x}_{1u} \tilde{y}_u}{4} = \frac{-y_1 - y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{-1-2+2+1+9+2+6}{4} = \frac{1,7}{4} = 0,425, \quad b_2 = \frac{\sum_{u=1}^4 \tilde{x}_{2u} \tilde{y}_u}{4} = \frac{-y_1 + y_2 - y_3 + y_4}{4} = \frac{1+2-2-1+9+2+6}{4} = \frac{1,9}{4} = 0,475 \text{ სათანადო გამოძახილების}$$

მნიშვნელობები კი იანგარიშება ფორმულით:

$$\tilde{y}_N = b_0 + b_1 \tilde{x}_1^N + b_2 \tilde{x}_2^N = 1,925 + 0,325 \tilde{x}_1^N + 0,475 \tilde{x}_2^N \text{ აქ } N = 1,2,3,4. \quad (3)$$

$\tilde{Y}_1 = 1,125; \tilde{Y}_2 = 2,075; \tilde{Y}_3 = 1,775; \tilde{Y}_4 = 2,725$ განსხვავება ცდების შედეგებსა და თეორიულად მიღებულ შედეგებს შორის 12,5% -ია.

მეთოდის საილუსტრაციოდ გადავიდეთ 9%-ანი ხსნარის გამოძახილის ანგარიშზე. ამ შემთხვევაში გეგმარების ცენტრი $(x_1^0, x_2^0) = (8,5; 12,5)$ - იგივეა, რაც ადრე გვქონდა ამ დროს იცვლება მხოლოდ $P_1 = \frac{x_1 - x_1^0}{2} = \frac{9-8,5}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25$, ამიტომ გვეცვლება \tilde{x}_1 -ის წინ კოეფიციენტი 0,25 – ით. P_2 - კი იგივე რჩება, ანუ \tilde{x}_2 -იც იგივე რჩება. ამ სიდიდეების შეტანით ვღებულობთ რეგრესიის შემდეგ განტოლებას: $\tilde{y} = 1,925 + 0,325 \tilde{x}_1 + 0,475 \tilde{x}_2 = 1,925 + 0,25 \times 0,325 + 0,475 = 1,925 + 0,08125 + 0,475 = 2,48125$. ცდებით მიღებული შედეგი კი არის $y = 2,4$. $y - \tilde{y} = -0,08125$, განსხვავება $\approx 9\%$ - მდია. მიღებული შედეგი დამაკმაყოფილებელია.

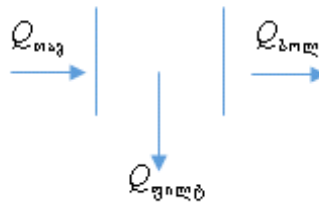
ამ მეთოდის გამოყენება საშუალებას იძლევა ექსპერიმენტების ჩატარების გარეშე მივიღოთ საკმარისი

სიზუსტის შედეგები

8. ჰიდროდინამიკური კვლევები ჩატარებული იყო ექსპერიმენტულ ლაბორატორიულ დანადგარზე, ცდებით მიღებული ანათვლების გამოყენებით. ექსპერიმენტული ლაბორატორიული დანადგარი წარმოადგენს პრიზმატული ფორმის სადწნეო საკანს, რომლის ერთ გვერდზე განთავსებულია მემბრანა ფართობით $\omega = (9 \times 30) \text{ მმ}^2 = 270 \text{ მმ}^2$. სითხის მიწოდება და გამოყვანა ხდება მილაკების დახმარებით, რომელთა დიამეტრი $D = 7,5 \text{ მმ}$ ფართობით $S = \frac{\pi D^2}{4} = 44,15 \text{ მმ}^2$. სადწნეო საკანის შესასვლელზე განთავსებულია მანომეტრი, რომლითაც იზომება საკანის შესასვლელში შემავალი სითხის წნევა. წნევის რეგულირება ხდება სპეციალური მარეგულირებელი ხელსაწყოთი, რომელიც მანომეტრზე ფიქსირდება. ექსპერიმენტულად იზომება გაფილტრული სითხის მოცულობა ($V_{\text{ფილტ}}$) (რაოდენობა) და ბოლოში გამოსული სითხის მოცულობა ($V_{\text{ბოლ}}$) გარკვეული ($\Delta \tau$) დროის მონაკვეთში. ხარჯების საანგარიშოდ გამოყენებულია შემდეგი განტოლებები:

$$Q_{\text{ფილტ}} = \frac{V_{\text{ფილტ}}}{\Delta \tau}, \quad Q_{\text{ბოლ}} = \frac{V_{\text{ბოლ}}}{\Delta \tau} \quad (1)$$

საკანში განვითარებული სიჩქარების საანგარიშოდ, შევიმუშავეთ შემდეგი საანგარიშო სქემა;



გამოვიყენეთ მასის უწყვეტობის შემდეგი განტოლება:

$$Q_{\text{თავ}} - Q_{\text{ფილტ}} = Q_{\text{ბოლ}} \quad (2)$$

განტოლება (2) გავყოთ და გავამრავლოთ მილაკის განივკვეთის ფართობზე მივიღებთ:

$$\frac{Q_{\text{თავ}}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{Q_{\text{ფილტ}}}{\frac{\pi D^2}{4}} + \frac{Q_{\text{ბოლ}}}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (3)$$

განტოლება (3)-ის მარჯვენა მხარის პირველი წევრი გავამრავლოთ და გავყოფთ მემბრანის ფართობზე ω -ზე და მივიღებთ:

$$\frac{Q_{\text{თავ}}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{\omega}{\frac{\pi D^2}{4}} \frac{Q_{\text{ფილტ}}}{\omega} + \frac{Q_{\text{ბოლ}}}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (4)$$

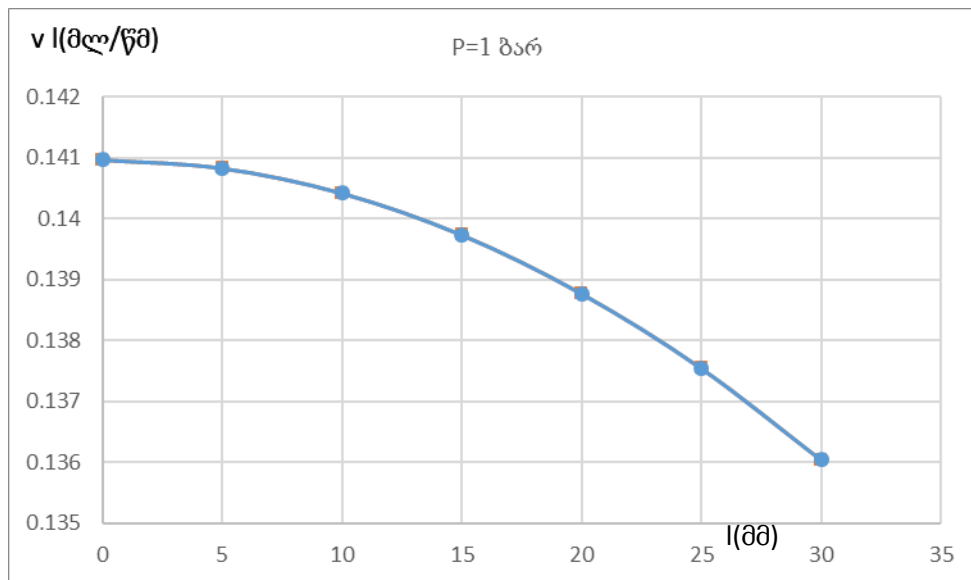
შევიტანოთ (4)-ში შემდეგი მნიშვნელობები $v_{\text{თავ}} = \frac{Q_{\text{თავ}}}{\frac{\pi D^2}{4}}$, $v_{\text{ფილტ}} = \frac{Q_{\text{ფილტ}}}{\omega}$, $v_{\text{ბოლ}} = \frac{Q_{\text{ბოლ}}}{\frac{\pi D^2}{4}}$. მივიღებთ საკანის თავში სიჩქარის მნიშვნელობას:

$$v_{\text{მაგ}} = \frac{\omega}{\pi D^2} v_{\text{ფილ}} + v_{\text{ბოლო}} \quad (5)$$

დავყოთ საკნის სიგრძე $l = 30$ მმ მონაკვეთებად: 5, 10, 15, 20, 25. ამ სიგრძეების მიხედვით იცვლება მემბრანის მუშა ფართობები ω_1 და შესაბამისად ფილტრაციის სიჩქარეები და განვითარებული სიჩქარეები v_1 საკანში. ფორმულა (5) – დან საკანში სიჩქარეების საანგარიშოდ მივიღებთ ფორმულას:

$$v_1 = v_{\text{მაგ}} - \frac{\omega_1}{\pi D^2} v_{\text{ფილ}} \quad (6)$$

ფორმულა (6)-ის მიხედვით და P= 1 ბარ-თვის გრაფიკული სახე მოცემულია სურათზე 1.



სურათი 1. დამოკიდებულება საკანში v_1 – სა და l შორის

P = 1 ბარ-თვის სიჩქარის განაწილება საკნის სიგრძის მიხედვით არის პარაბოლის ტოტები, რომლის წვერო მოთავსებულია წერტილში $v_1 = v_0 = v_{\text{მაგ}}$, ხოლო პარაბოლის ტოტის ბოლო $v_1 = v_{\text{ბოლო}}$, ზოგადად, ყველა წნეებისთვის სიჩქარის განაწილება საკნის სიგრძის მიხედვით აგებული გრაფიკებისა ერთნაირია და არის პარაბოლის ტოტები განსხვავებული რიცხვითი მნიშვნელობებით.

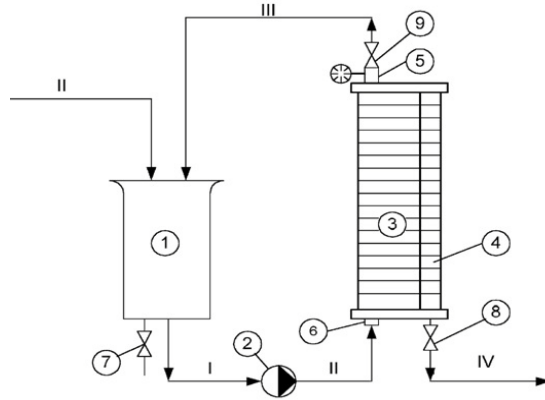
9. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის ლაბორატორიაში მიმდინარეობს ექსპერიმენტული კვლევები სხვადასხვა მიმართულებით, რომელთაგან ერთ-ერთს წარმოადგენს წყლის ნანოფილტრაციული პროცესის კვლევა კალციუმის იონომეტრიული განსაზღვრის მეთოდით. კვლევის მიზანია: 1. ქალაქის სასმელი წყლის გაწმენდა და ნაწილობრივი ან

სრული დემინერალიზაციის გზით ეკოლოგიურად სუფთა მაღალხარისხოვანი სასმელი წყლის მიღება; 2. გამოხდილი, გაფილტრული, გაუფილტრავი და ქლაქის სასმელი წყლის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლების (კალციუმის იონი) დადგენა და 3. სასინჯ წყლებში (Ca^{++}) იონის შემცველობის მიხედვით ნანოფილტრაციული პროცესის შეფასება.

ბუნებრივი წყლის გაწმენდის პროცესზე დაკვირვება ხორციელდება ინსტიტუტის ლაბორატორიაში დამონტაჟებულ 250 ლ/სთ წარმადობის ნანოფილტრაციულ დანადგარზე (სურათი 1), რომლის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია სურათზე 2.



სურათი 1. ნანოფილტრაციული დანადგარი



სურათი 2. ნანოფილტრაციული დანადგარის პრინციპული სქემა

1. საწყისი წყლის ავზი; 2. ტუმბო;
3. მემბრანული აპარტი;
4. ფილტრატის შემკრები; 5. უკუსარქველი;
6. შტუცერი; 7-8-9. ვენტილები;
- I, II, III, IV- მილგაყვანილობები

მემბრანული დანადგარი მუშაობს შემდეგნაირად: საწყისი ავზიდან (1) ქლაქის სასმელი წყალი მიეწოდება მემბრანულ აპარატს (3) ტუმბოს (2), მილგაყვანილობის (I, II) და შტუცერის (6) საშუალებით. მემბრანული აპარატის ყველა მუშა საკნის გავლით წყლის ნაწილი (ქვემოდან ზემოთ) გადადის მემბრანებში, იწმინდება არასასურველი მინარევებისაგან და ფილტრატის შემკრების (4), ვენტილის (8) და მილგაყვანილობის (IV) მეშვეობით ჩადის ფილტრატის სახით გაფილტრული წყლის ავზში. წყლის ის ნაწილი, რომელიც ვერ ასწრებს მემბრანებში გავლას, უკუსარქველით (5), ვენტილით (9) და მილგაყვანილობით (III) რეცირკულირდება წყლიდან გამოყოფილ მინარევებთან ერთად და კონცენტრატის სახით ბრუნდება საწყის ავზში (1).

კვლევა იწყება წყლის სინჯების აღებით. შემდეგ ხდება: 1. (Ca^{++}) იონის კონცენტრაციის დადგენა გამოხდილ, გაუფილტრავ (ნანოფილტრაციული პროცესის დაწყებამდე), გაფილტრულ (ნანოფილტრაციული პროცესის შემდეგ) და ქლაქის სასმელ წყლებში და 2. სასინჯ წყლებში (Ca^{++}) იონის შემცველობის მიხედვით ნანოფილტრაციული პროცესის შეფასება.

საანალიზოდ გამოყენებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სსსც „ანალიზხესლაწყოში“ დამზადებული იონების მზომი ლაბორატორიული ხელსაწყო - ი-120, კალციუმის იონსელექტური ელექტროდით. წინასწარ დადგენილია ცდის ჩატარების ოპტიმალური ტემპერატურა (18-20°C).

კალციუმის იონომეტრული განსაზღვრისთვის წინასწარ დამზადდა: 1 მოლ/ლ კონცენტრაციის KCl-ის ბუფერული ხსნარი, სხვადასხვას კონცენტრაციის CaCl_2 -ის სტანდარტული ხსნარი და დაკალიბრდა იონების მზომი ხელსაწყო - ი-120. თითოეულ სტანდარტულ ხსნარში განსაზღვრული Ca^{2+} -ის იონის შემცველობა მოცემულია ცხრილში 1

ცხრილი 1

0,1M CaCl ₂ -ის სტანდარტული ხსნარში Ca ²⁺ -ის იონის შემცველობა, მგ/ლ	CaCl ₂ -ის სხვადასხვა კონცენტრაციის სტანდარტულ ხსნარებში Ca ²⁺ -ის იონის შემცველობა, მგ/ლ			
	0,01M	0,001M	0,0001M	0,00005M
4808	400,8	40,08	4,008	2,004

ხელსაწყოს მუშაობა კონტროლდება გამოხდილ წყალთან შედარებით. გამოხდილ წყალში (Ca⁺⁺) იონების ზღვ - 0,8-1,4 მგ/ლ-ის ფარგლებშია, ხოლო სასმელ წყალში (Ca⁺⁺) იონების ზღვ - 30-დან 140 მგ/ლ-მდე. ლიტერატურული წყაროების მიხედვით იონების კონცენტრაციების სეზონური ცვლილება - დასაშვებია.

წყლის საანალიზო სინჯებში განსაზღვრული კალციუმის (Ca⁺⁺) იონის კონცენტრაციები მოყვანილია ცხრილში 2. პერიოდულად იზომებოდა წყლის სიმღვრივე ხელსაწყოზე Turb-555, რომელთა მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 2

Ca ²⁺ -ის იონის კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ							
გამოხდილი		გაუფილტრავი		გაფილტრული		ქალაქის	
t°C	C _{Ca⁺⁺}	t°C	C _{Ca⁺⁺}	t°C	C _{Ca⁺⁺}	t°C	C _{Ca⁺⁺}
1	2	3	4	5	6	7	8
13,0	1,04-1,06	11,9	79,9-83,7	14,9	44,0-46,4	13,9	49,8-53,9
20,1	1,07-1,09	20,3	93,9-106	20,5	32,2-36,3	18,3	50,3-55,5
17,6	1,03-1,07	16,4	65,3-67,6	26,4	46,8-54,8	16,4	53,0-58,9
20,9	1,07-1,11	20,6	45,6-47,0	20,6	37,2-39,9	20,6	41,8-44,2
17,0	1,01-1,03	20,8	69,7-87,9	21,2	60,9-67,9	21,2	62,5-68,8
17,0	1,01-1,02	22,0	65,5-69,7	22,2	57,3-60,6	22,0	63,1-65,4
21,4	1,00-1,01	21,0	96,8-102	21,8	65,4-97,4	20,8	72,7-80,8
18,1	1,05-1,10	17,8	67,7-71,8	17,8	56,6-62,4	17,2	64,6-68,3
18,8	1,02-1,09	18,9	60,2-64,8	18,8	54,2-59,0	18,8	58,5-61,8
16,1	1,08-1,10	16,9	95,7-106	17,0	62,8-75,2	16,4	73,5-86,9
20,8	1,01-1,02	20,7	64,8-69,9	20,7	55,9-60,5	20,8	57,3-60,0
22,8	1,08-1,10	21,6	58,1-60,4	21,8	46,6-51,3	21,7	53,4-57,0
22,3	1,03-1,05	21,6	42,9-47,7	21,8	32,5-35,1	22,9	35,0-38,3
21,0	1,01-1,02	20,3	50,4-53,3	20,3	40,9-43,6	20,4	43,9-45,5
20,5	1,01-1,02	20,5	70,5-74,9	20,7	53,4-61,2	20,9	58,9-62,4
21,6	1,10-1,12	20,6	79,9-85,4	21,2	61,7-66,9	20,5	69,8-73,2
21,4	1,09-1,10	21,3	49,8-54,8	21,4	41,6-43,8	20,5	46,7-49,2
22,4	1,09-1,12	22,4	46,1-52,4	22,2	40,4-44,0	22,4	43,9-46,7
24,2	1,08-1,12	23,4	80,8-84,9	23,7	66,6-75,8	22,9	76,7-78,9
22,9	1,09-1,12	22,4	68,7-76,3	22,3	42,4-47,8	22,3	52,8-58,5
23,6	1,01-1,03	23,2	50,7-54,2	23,2	26,8-49,7	23,1	38,9-44,7
28,0	1,02-1,03	26,9	48,4-51,6	26,9	42,7-44,3	26,2	46,7-50,8
27,0	1,01-1,01	27,3	64,9-71,3	27,5	53,7-58,7	27,2	60,8-66,2
26,1	1,09-1,00	25,6	74,4-80,2	25,7	60,3-65,2	25,3	64,6-69,6
24,7	1,01-1,03	24,4	76,6-78,2	25,0	62,6-64,4	24,3	67,0-70,8
25,9	1,01-1,02	24,5	84,9-87,6	23,9	74,7-80,0	25,9	78,7-82,9

ცხრილი 3

წყლის სიმღვრივე			
გამოხდილი	გაუფილტრავი	გაფილტრული	ქალაქის
0,1290	5,67	0,16	1,02
0,1290	1,17	0,5500	1,17
-	6,74	0,5500	-
-	1,17	0,5500	1,17

-	-	-	1,35
-	3,3642	1,4820	1,8025

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ კალციუმის იონების კონცენტრაცია გამოხდომილ, გაუფილტრავ და გაფილტრულ წყალში იცვლება გარემოს ტემპერატურის მიხედვით. ქალაქის სასმელ წყალში კალციუმი 30-90 მგ/ლ ფარგლებშია, რაც 15%-ით მეტია, ვიდრე გაუფილტრულ წყალში (ნანოფილტრაციული პროცესის შემდეგ) და 10%-ით ნაკლებია, ვიდრე გაუფილტრავ წყალში (ნანოფილტრაციული პროცესის დაწყებამდე), ე.ი. ნანოფილტრაციის შემდეგ კალციუმის შემცველობა სასმელ წყალში კლებულობს.

ამრიგად, ბარომემბრანული პროცესის სტაბილური რეჟიმული პარამეტრების პირობებში ნანოფილტრაცია უზრუნველყოფს საჭირო დონეზე წყლის დემინერალიზაციას.

10. მემბრანულ პროცესებს ერთ-ერთი პირველი ადგილი უკავია პრიორიტეტულ ტექნოლოგიურ პროცესებს შორის. მემბრანული პროცესები მიეკუთვნება ნანოტექნოლოგიებს, ვინაიდან ნახევრად გამტარი მემბრანები წარმოადგენს ტიპიურ ნანოსტრუქტურებს, რომელთა ფუნქციური თვისებების მახასიათებელი ზომები (შეკავებული ნაწილაკის ზომები 1-100 ნმ) ნანოტექნოლოგიურ ზღვრებშია.

ნანოფილტრაციული მემბრანებით წყლის გაწმენდის ეფექტურობა იმდენად დიდია, რომ ახლოსაა სრულ გაწმენდასთან (94-98%).

ბოლო წლების განმავლობაში დაკვირვება ხდება ანალიზის მეთოდებზე, რომლებიც დაფუძნებულია იონოსელექტური ელექტროდების გამოყენებაზე. ამის დასაბუთება და შედეგია - ანალიზური მეთოდები, რომლებიც იონოსელექტური ელექტროდების ბაზაზე გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ ანიონები და კათიონები. ვაწარმოებდით კალციუმის იონების რაოდენობრივ განსაზღვრას.

ჩვენს მიერ შესწავლილი და დამუშავებული იქნა ტექნოლოგია ნანოფილტრაციული მემბრანების გამოყენებით წყლის გაწმენდა, ქიმიური ელემენტის Ca^{++} -ის რაოდენობის განსაზღვრაზე დაკვირვებით. Ca^{++} -ის იონების რაოდენობის განსაზღვრა ხდებოდა წყლის მემბრანაზე გატარებამდე და გატარების შემდეგ. წყალში კალციუმის კონცენტრაციას გვიჩვენებდა ხელსაწყო - იონომერი И160.1МП.

შესრულებულ სამუშაოში განხილულია ბუნებრივი წყლის სათანადო დონეზე დემინერალიზაციის საკითხები. ინსტიტუტში შექმნილ ნანოფილტრაციულ დანადგარზე წყლის დემინერალიზაციის პროცესის კვლევა მიმდინარეობდა ქიმიური კომპონენტებისა და კოლოიდური ნაწილაკების რაოდენობრივი შედგენილობის მონიტორინგით, იონმეტრული, სინათლის 90 გრადუსიანი გარდატეხისა და შთანთქმის მეთოდების გამოყენებით, შემდეგ ხელსაწყოებზე - „ იონომერი-И160. 1МП“, „სიმღვრივის მზომი-Turb 555“, „მალვერნი-Nano-ZS 90“.

ინსტიტუტში შექმნილი მემბრანული ნანოფილტრაციული დანადგარი საშუალებას გვაძლევს წყალი გავწმინდოთ შეწონილი ნაწილაკებისა და ქიმიური კომპონენტებისგან. მიღებულ პერმეატში კალციუმის იონის განსაზღვრისთვის გამოვიყენეთ ლაბორატორიული ხელსაწყო - იონომერი-И160.1МП, Ca^{++} -ის მემბრანული ელექტროდით. განსაზღვრას ვაწარმოებდით გამოხდომილ, ქალაქის გაუფილტრავ და გაფილტრულ წყალზე. გამოხდომილ, გაუფილტრავი და გაფილტრული წყლის ნიმუშების სიმღვრივის მაჩვენებელი გაიზომა ხელსაწყოზე -Turb 555, ხოლო ნაწილაკის ზომები განსაზღვრული იქნა ხელსაწყოზე -

Malvern –Nano –ZS90. ცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 1).

ხელსაწყოები	კალციუმი მგ/ლ			სიმღვრივე			ნაწილაკების ზომა ნმ		
	გამოხდილი	გაუფილტრავი	გაფილტრული	გამოხდილი	გაუფილტრავი	გაფილტრული	გამოხდილი	გაუფილტრავი	გაფილტრული
იონომერი И-160.1МΠ =160.1МΠ 160.1МΠ	0,8	60±90	45-50						
Turb 555				0,129	5,67	0,16			
Malvern Nano-ZS 90							0,1-10	10± 50 100 ± 1000	10± 40

ცხრილი 1. Ca⁺⁺ -ის იონების განსაზღვრის შედეგები

საკვლევ ხელსაწყოებზე მიღებული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ გაფილტრულ ხსნარში Ca⁺⁺ -ის იონების რაოდენობა შემცირებულია 20-25%-ით, გაუფილტრავ ნიმუშთან შედარებით. სიმღვრივის მაჩვენებლის ერთი რიგით კლება კი გამოწვეულია 100±1000 ნმ. ნაწილაკების მოცილებით, ხოლო სიმღვრივის მაჩვენებლის სხვაობა გამოხდის და გაფილტრულ ნიმუშებს შორის განპირობებულია 20 ნმ-დან 50 ნმ-მდე სიდიდის ნაწილაკებით. დადგენილია, რომ ნანოფილტრაციის შედეგად წყალი იწმინდება, როგორც ქიმიური კომპონენტებისგან ასევე 20 ნმ-იდან 1000 ნმ-მდე ზომის ნაწილაკებისგან, რაც უზრუნველყოფს სათანადო დონეზე დემინერალიზებულ და სტერილური სასმელი წყლის მიღებას.

4. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

4. 2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
---	-----------------	------------------------------------------------------------	--------------------------------	---------------------

		ISBN		
1	დ.ბიბილეიშვილი, ლ.ებანოიძე	ექსპერიმენტული ფიზიკური ქიმია, 978-9941-28-222-5	თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი	105
2	ნ. მუმლაძე, თ. მეგრელიძე	ოზონის შრე და მისი დაცვა	თბილისი, გაეროს განვითარების პროგრამა (UNDP)	

ვრცელი ანოტაციები (ქართულ ენაზე)

1. 2014 წლიდან შეიქმნა საბაკალავრო საგანმანათლებლო პროგრამა ქიმია, სადაც ცალკე კურსად არის შეტანილი „ექსპერიმენტული ფიზიკური ქიმია“. ამან დააყენა ამ კურსისთვის ძირითადი სახელმძღვანელოს შექმნის საკითხი.

არსებული ლაბორატორიული სამუშაოებისთვის განკუთვნილი სახელმძღვანელოები მოძველებულ ტერმინოლოგიასა და ტექნიკურ ბაზას შეიცავდა. საჭირო იყო მათი თანამედროვე სახით წარმოდგენა.

სახელმძღვანელო „ექსპერიმენტული ფიზიკური ქიმია“ წარმოადგენს ავტორთა მიერ მორიგ მცდელობას შეიქმნას სახელმძღვანელო ფიზიკურ ქიმიაში ლაბორატორიული სამუშაოების ჩასატარებლად. მასში შეტანილია ფიზიკური ქიმიის ისეთი ძირითადი საკითხები, როგორცაა ნივთიერების აღნაგობა, ქიმიური თერმოდინამიკა, ქიმიური და ფაზური წონასწორობა, ხსნარები, ელექტროქიმია, ქიმიური კინეტიკა და კატალიზი. თეორიული ნაწილის შესაბამისი ლაბორატორიული სამუშაოები, ექსპერიმენტის ჩასატარებელი ხელსაწყოების აღწერა, ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდიკა, სტუდენტის წინაშე დასმული ამოცანის მისაღწევად საჭირო გამოთვლები, საკონტროლო კითხვები სტუდენტს გაუადვილებს საგნის ათვისების პროცესს.

2. ნაშრომში „ოზონის შრე და მისი დაცვა“ წარმოდგენილია ოზონის წარმოქმნისა და დაშლის პროცესები ატმოსფეროში, ოზონის გავლენა ადამიანისა და ცხოველების ჯანმრთელობაზე, მცენარეებზე და მასალებზე, მიწისპირა ოზონის მავნე მოქმედების თავიდან აცილების გზები, ასევე ხვრელები დედამიწის ოზონის შრეში – აღმოჩენის ისტორია, პრობლემის არსი, სიტუაციის შემდგომი განვითარება.

ნაშრომში მოცემულია ოზონდამშლელი ნივთიერებები და მათი კლასიფიკაცია, ზოგიერთი ოზონდამშლელი ნივთიერებები მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში, ოზონის შრის შენარჩუნების ღონისძიებები მსოფლიოში, საქართველოს ვალდებულებები და ოზონდამშლელი ნივთიერებების ხმარებიდან ამოღების ეროვნული პროგრამა.

განხილულია ოზონდამშლელი ნივთიერებების ეკოლოგიურად უსაფრთხო ალტერნატივები, ბუნებრივი მაცივარაგენტები; ოზონუსაფრთხო მაცივარაგენტების გამოყენების პერსპექტივები საყოფაცხოვრებო სამაცივრო მოწყობილობებში, ოზონდამშლელი ნივთიერებების შეგროვებისა და უტილიზაციის სისტემები, ოზონდამშლელ ნივთიერებებთან დაკავშირებული უსაფრთხოების წესები, ოზონდამშლელი ნივთიერებების უტილიზაციის თანამედროვე მეთოდები და ოზონის შრის შენარჩუნების ღონისძიებები საქართველოში.

ნაშრომი განკუთვნილია უმაღლესი სასაწავლებლების და პროფესიული განათლების გარემოს დაცვისა და ეკოლოგიის, ასევე საინჟინრო ეკოლოგიის, სამაცივრო ტექნოლოგიების მიმართულების სტუდენტებისთვის, მაგისტრანტებისა და დოქტორანტებისთვის. იგი დახმარებას გაუწევს სკოლის პედაგოგებს, პროფესორ-მასწავლებლებს საგანმანათლებლო და სამეცნიერ-კვლევითი მუშაობის წარმართვისას, განსაკუთრებით კი მაცივარაგენტებთან და სამაცივრო ტექნიკასთან მომუშავე პერსონალს.

ნაშრომი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ახალგაზრდებისა და მოსახლეობის ფართო ფენების ცნობიერების ასამაღლებლად ოზონის შრის დაცვისა და შენარჩუნების ღონისძიებებით, ინფორმირების გზით.

4.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა-ური, ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	გ. ბიბილეიშვილი, ე. კაკაბაძე, ნ. გოგესაშვილი, ქ. ფარეშიშვილი, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	მოლეკულური მასის განსაზღვრის მეთოდიკის დამუშავება ხელსაწყო Zetasaizer Nano ZS 90 საშუალებით, 1512-0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18.	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
2	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	შავი ზღვის წყლის გამტკნარების მემბრანული ტექნოლოგიის დამუშავება 1512-0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18.	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
3	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	კასპიის ზღვის წყლის გამტკნარების მემბრანული ტექნოლოგიის დამუშავება 1512-0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18.	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
4	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჟერაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი,	პოლიმერული მემბრანის ტოპოგრაფიული და სტრუქტურული კვლევის მეთოდიკის	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18.	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2

	ზ. ჯავაშვილი	დამუშავება მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით, 1512-0686			
5	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	პოლიმერული მემბრანების ფორმირების ზოგიერთი საკითხი, 1512- 0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
6	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ე. კაკაბაძე, ლ. ებანოიძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურის გავლენა პოლიმერული მემბრანის ფორის ზომებზე, 1512- 0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
7	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჟერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	პოლიმერული მემბრანების მისაღები ზოგიერთი პოლიმერული მასალის სინთეზი და კვლევა, 1512- 0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
8	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჟერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	პოლიმერული მასალებიდან მემბრანების შექმნისა და გამოყენების თანამედროვე მდგომარეობა,	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2

		1512- -0686			
9	გ. ბიბილეიშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჭერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	პოლიმერული კომპოზიციის აორთქლების დროის ხანგრძლივობის გავლენა მემბრანების მახასიათებლებზე, 1512- -0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	
10	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჭერაშვილი, ზ. ჯავაშვილი, მ. მადლარაშვილი	მემბრანის მოდიფიცირებული და არამოდიფიცირებუ ლი ზედაპირების სიმქისის შესწავლა, 1512- -0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
11	გ. ბიბილეიშვილი, მ. კეჭერაშვილი, ზ. ჯავაშვილი, ხ. ზაქროშვილი	მაფორმირებელი ხსნარის შედგენილობის გავლენა მემბრანის სტრუქტურასა და ფორიანობაზე, 1512- -0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
12	გ. ბიბილეიშვილი, ლ. ყუფარაძე, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ლ. ებანოიძე, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	პირველი რიგის მიახლოებების ორფაქტორიანი მათემატიკური გეგმარება ფაზური ინვერსიის პარამეტრების პიკური მონაცემებისთვის,	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2

		1512- 0686			
13	გ. ბიბილეიშვილი, ლ. ყუფარაძე, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, მ. კეჭერაშვილი, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავახიშვილი	მემბრანულ დანადგარებში მემბრანის მუშაობის ზოგიერთი საკითხები, 1512- 0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
14	მ. მამულაშვილი, ნ. გოგესაშვილი, ნ. მუმლაძე, ლ. ებანოძე, ე. კაკაბაძე, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავახიშვილი.	ნანოფილტრაციული პროცესის კვლევა ქიმიური ელემენტი კალციუმის (Ca ⁺⁺) რაოდენობრივი განსაზღვრით, 1512- 0686	საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, ტომი 18	თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. 19. „უნივერსალი“.	2
15	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი, გ. მჭედლიშვილი, ე. მაცაბერიძე, ლ. ქრისტესაშვილი	ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდა ელექტროდიალიზის მეთოდით იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით.	საერთაშორისო სამეცნიერო - პრაქტიკული კონფერენციის შრომების კრებული, ტომი II.	„თანამედროვე მეცნიერება და ინოვაციური პრაქტიკა“, ქ. ქუთაისი	გვ. 172-174
16	ნ. ჩხუბიანიშვილი, მ. მამულაშვილი, გ. მჭედლიშვილი, ლ. ქრისტესაშვილი, ც. კურცხალია	მაკონცენტრირებულ ი კამერის ხსნარის ზღვრული კონცენტრაციის დადგენა, 1512 – 0287		„საქართველოს საინჟინრო სიახლენი 2 ^ა 18“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი	გვ.73-74

17	ნ. ჩხუბიანიშვილი, მ. მამულაშვილი, გ. მჭედლიშვილი, ლ. ქრისტესაშვილი	ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ელექტროდიალიზუ რი მეთოდის ტექნოლოგიური პროცესის დამუშავება, 1512-0287		„საქართველოს საინჟინრო სიახლენი 2 ⁰¹⁸ “, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი	გვ.71-72
----	-----------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

ვრცელი ანოტაციები (ქართულ ენაზე)

1. ნაშრომში მოყვანილია ნანოკომპოზიციური მასალების შექმნისთვის საჭირო კომპონენტების მოლეკულური მასის განსაზღვრის მეთოდის ექსპერიმენტული დამუშავების ზოგიერთი შედეგი. მოცემულია ნივთიერების კონცენტრაციის სხვადასხვა რიგის, ბიჯის, დაყოვნების დროისა და ხელსაწყო პარამეტრების რეგულირების შედეგად მიღებული მონაცემები. დადგენილია ხელსაწყო ოპტიმალური რეჟიმული პარამეტრები და საკვლევი ნივთიერების კონცენტრაციის მნიშვნელობები შედეგების გამეორადობის მაღალი სიზუსტის მისაღწევად.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტის ერთ-ერთი მთავარი მიმართულებაა კომპოზიციური მემბრანების დამუშავება. პოლიმერული კომპოზიციების შექმნისთვის ნივთიერების მოლეკულური მასა, ნაწილაკის ზომა და ზეტა-პოტენციალი განსაზღვრება ნანო-ნაწილაკების (0,3 ნმ-დან) მზომ ხელსაწყოზე Zetasaizer Nano ZS90. საკვლევი ნიმუშის სიმღვრივე შეადგენს FNU-0,1798 ფორმაზინის ერთეულით (სიმღვრივის მზომი -Turb 555), ხოლო წყლის ელ. გამტარობა 2×10^{-4} სიმ/მ.

ნივთიერების მოლეკულური მასის გაზომვების პირველი სერია ჩატარდა შემდეგი პირობების დაცვით: ნიმუშის ტემპერატურა 25 °C, კიუვეტი პოლისტიროლი, ნიმუშის დაყოვნების დრო 1-4სთ, ნიმუში საწყისი კონცენტრაცია 360გ/ლ, 520გ/ლ, 680გ/ლ, ნიმუშების კონცენტრაციის ბიჯები 160გ/ლ, 80გ/ლ, 40გ/ლ, 20გ/ლ, 10გ/ლ და 5გ/ლ. kcps-ს მნიშვნელობების დიაპაზონი 0,4 – 1,2. პირველი სერიის მიღებული შედეგები შეადგენდა 0კდა.

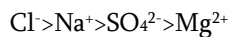
ჩატარდა ნივთიერების მოლეკულური მასის გაზომვის 11 სერია. მიღებული მონაცემების შედეგად დადგინდა ნივთიერების მოლეკულური მასის განსაზღვრის შემდეგი ოპტიმალური პირობები: ნიმუშის ტემპერატურა 25 °C, კიუვეტი მინა, ნიმუშის დაყოვნების დრო 96სთ., ნიმუში საწყისი კონცენტრაცია 4გ/ლ, 6გ/ლ, 8გ/ლ, 10გ/ლ, ნიმუშების კონცენტრაციის ბიჯი 2გ/ლ., kcps -ს მნიშვნელობა 0,9. ხელსაწყოზე Zetasaizer Nano ZS90 მიღებული შედეგით დადგინდა, ნივთიერების მოლეკულური მასა ტოლია 0,413.

2. ნაშრომში შესწავლილი და განხილულია დღეისთვის ისეთი აქტუალური პრობლემა, როგორც არის შავი ზღვის აუზის ქვეყნების ტურისტულ ინფრასტრუქტურის იაფი, ეკოლოგიურად სუფთა მაღალხარისხოვანი სასმელი წყლით მომარაგება. შავი ზღვის წყლის გამტკნარება უზრუნველყოფს ზღვისპირა რეგიონს, აკვატორიის გემებს, საველე პირობებში მყოფ სამხედრო ნაწილებს, ზღვისპირა დასახლებებს. ნაშრომში მოყვანილია შავი ზღვის წყლის მარილოვანი შედგენილობა, მასში არსებული იონების კონცენტრაცია. შავ ზღვაში მარილიანობა აღწევს 18%-მდე და უპირატესად ჭარბობს იონები:



შერჩეული ძირითადი იონების დიამეტრის მიხედვით შავი ზღვის მლაშე წყლის გამტკნარებისთვის დამუშავდა სათანადო მემბრანული ტექნოლოგია. მიღებული შედეგების საფუძველზე მიზანშეწონილია ფილტრაციის პირველი ეტაპზე გამოყენებული იქნას ულტრაფილტრაცია, მეორე ეტაპზე NF 1,0 ნანოფილტრაცია, ხოლო მესამე ეტაპზე RO 0,5 უკუოსმოსური ბარომემბრანული პროცესები სათანადო აპარატურული უზრუნველყოფით. შემუშავებულია 18გ/ლ-მდე კონცენტრაციის მარილიანობის წყლის გამტკნარების მემბრანული საფილტრაციო სისტემის პრინციპული გეგმა.

3. შესწავლილია კასპიის ზღვის წყალში არსებული ძირითადი მარილებისა და იონების რაოდენობა. კასპიის ზღვის მარილიანობა შეადგენს 12% და ის ჩამორჩება მსოფლიო ზღვებისა და ოკეანეების საერთო მარილიანობას 35%. დადგენილია, რომ ზღვის წყალში იონების რაოდენობა შემდეგი თანამიმდევრობით არის წარმოდგენილი:



ანალიზის შედეგად შერჩეული ძირითადი იონების დიამეტრის მიხედვით კასპიის ზღვის მლაშე წყლის გამტკნარებისთვის დამუშავდა სათანადო მემბრანული ტექნოლოგია. მიღებული შედეგების საფუძველზე მიზანშეწონილია ფილტრაციის პირველი ეტაპზე გამოყენებული იქნას ულტრაფილტრაცია, მეორე ეტაპზე NF 1,0 ნანოფილტრაცია, ხოლო მესამე ეტაპზე RO 0,5 უკუოსმოსური ბარომემბრანული პროცესები. შემუშავებულია 12გ/ლ-მდე კონცენტრაციის მარილიანობის წყლის გამტკნარების მემბრანული საფილტრაციო სისტემის პრინციპული გეგმა.

4. ნაშრომში მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის საშუალებით განხილულია პოლიმერული მემბრანის ტოპოგრაფიული და სტრუქტურული კვლევის მეთოდის დამუშავების ზოგიერთი საკითხი. მოცემულია პოლიმერული მასალების ზედაპირების ნიმუშები და მათი ზონდური მიკროსკოპით კვლევის დადგენილი რეჟიმული პარამეტრები.

მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის (მზმ) მთავარ მიღწევად შესაძლოა ჩაითვალოს უტყუარი ინფორმაციის მიღება პოლიმერული მასალების სტრუქტურის, ზედაპირის მორფოლოგიისა და ლოკალური თვისებების შესახებ ნანომეტრულ (ატომარულ) ზომებში ჰაერზე, ოთახის ტემპერატურაზე. კვლევები ტარდებოდა Certus Standart V მიკროსკოპზე უკონტაქტო რეჟიმის პირობებში. კანტილევური შერჩეული იქნა პოლიმერული მემბრანის ზედაპირის სირბილის გათვალისწინებით. სკანირების ფართობი ტოპოგრაფიული კვლევის დროს იზომებოდა მიკრომეტრულ განზომილებაში, ხოლო ატომარულ-სტრუქტურული კვლევა ნანომეტრულში. ზონდის გადაადგილების ბიჯი მიკრომეტრული კვლევისას ლატერალურად შეადგენს 0,2-0,05მკმ, ხოლო ვერტიკალურად 0,02-0.005ნმ. ხელსაწყოს მექანიკური რხევები, შინაგარი ვიბრაცია და აკუსტიკური ხმაური იწვევს ზონდის რხევებს და იძლევა მზმ დამახინჯებულ გამოსახულებას, ამიტომ გაზომვის სიზუსტისთვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ვიბროსაიზოლაციო პლატფორმაზე ზონდის ამპლიტუდური რეზონანსული სიხშირის მახასიათებლის დადგენას, რაც გულისხმობს რეზონანსული მრუდის სიმეტრიულ ხასიათს და უკუკავშირის პარამეტრების დაყენებას.

მეთოდის დამუშავების შედეგად დადგენილი სარეკომენდაციო პარამეტრებია: ზონდის ძაბვის მოცემული მნიშვნელობისთვის მაჩვენებელი მერყეობს $0,34 \pm 0,58B$, ხოლო ინტეგრალური მაჩვენებელი რბილი, უსწორმასწორო ნიმუშის ზედაპირების შემთხვევაში უკუკავშირის პროპორციული და ინტეგრალური პარამეტრები რეგულირდება ოპტიმალური თანაფარდობით 10:1, უფრო მყარი ნიმუშებისთვის ეს პარამეტრები უნდა იყოს $0,1 \pm 0,3$ -მ.

ტოპოგრაფიული და სტრუქტურული გამოსახულების სიზუსტეზე გავლენას ახდენს მზმ-ის რეჟიმული პარამეტრები, სკანერის მახასიათებლები (სკანირების მიკრო- და ნანოზომები, წერტილების რაოდენობა, სიჩქარე) და საკვლევი ნიმუშის თვისებები (სიმკვლე, ტოპოგრაფიის მასშტაბი, მასალის სიმყარე).

მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის საშუალებით ჩატარებული სამუშაოების შედეგად დადგინდა ტოპოგრაფიული და სტრუქტურული ანალიზის მეთოდიკა მიღებული სინთეზური პოლიმერული მემბრანების ნიმუშებისთვის.

5. პოლიმერული მემბრანების სტრუქტურის ფორმირებისა და წარმოქმნის მექანიზმის გარკვევა არის მთავარი ფაქტორი სასურველი თვისებების მქონე მემბრანების პარამეტრების შერჩევას. პოლიმერული მასალების ტენიანობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მემბრანის გახსნისა და სტრუქტურის ფორმირების პროცესებზე. პოლიმერ-გამხსნელის სისტემაში წყლის მოლეკულების არსებობა საგრძნობლად აფერხებს გახსნის პროცესს. წყლის მოლეკულები ძლიერი პოლარობის გამო ხელს უშლიან პოლიმერის მაკრომოლეკულებთან გამხსნელის მოლეკულების მიახლოებას და მაკრომოლეკულების ერთმანეთისგან დაცილების პროცესს. გამხსნელის შერჩევა უნდა მოხდეს იმ პრინციპით, რომ პოლიმერ-გამხსნელის მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალა აღემატებოდეს პოლიმერის მაკრომოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალას. პოლარული გამხსნელების უნარი ერთის მხრივ ჩადგენს მაკრომოლეკულებს შორის და მეორეს მხრივ წარმოქმნან ზემოლეკულოური ნაწილაკები, არის მემბრანების ფორმირების

მნიშვნელოვანი საფეხური. მემბრანების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით, არანაკლებ მნიშვნელოვანია პოლიმერულ კომპოზიციებში ფუნქციონალური ჯგუფების შემცველი დანამატების გავლენის კვლევა .

ეს კვლევა ჩატარებულია ფაზური ინვერსიის პროცესის შედეგად მიღებული მემბრანების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების შესწავლის საფუძველზე. მოცემული პოლიმერისთვის დგინდება საუკეთესო ფორწარმომქმნელი და კონცენტრაცია, რომელმაც გავლენა მოახდინა მემბრანის ფორმირების პროცესზე. ექსპერიმენტებით დადგენილია ამ პროცესის რეჟიმული პარამეტრები: საკოაგულაციო აბაზანის ტემპერატურა 15- 25°C, აბაზანაში ჩაშვების კუთხე 45° და აბაზანაში ჩაშვების სიჩქარე 150-400მმ/წთ. აღნიშნული პროცესის დროს ერთდროულად წარმოებს აორთქლებაც და დიფუზიაც. საკოაგულაციო აბაზანაში მთლიანად ხდება გამხსნელისა და ფორწარმომქმნელი დანამატის გამოდევნა და წარმოიქმნება გამხსნელის გარეშე გაჯირჯებული მემბრანა.

6. პოლიმერული მემბრანების მიღების უმნიშვნელოვანესი საფეხურია კომპოზიციის გამოლექვის ფაზური ინვერსიის პროცესი. გამოლექვის პროცესში ფუძემრეზე დატანილ პოლიმერულ კომპოზიციამში არაგამხსნელის შეღწევა მიმდინარეობს დიფუზიის ფრონტის სახით, რასაც მოყვება პოლიმერის კოაგულაციის ფრონტი. ამ პროცესების სიჩქარეები განსხვავებულია, მაგრამ მათი მართვა შესაძლებელია აბაზანის ტემპერატურის, შემადგენლობის, ნიმუშის ჩაშვების კუთხისა და სხვა პარამეტრების ცვლილების შედეგად. პოლიმერული კომპოზიციების გამოლექვის პროცესი წარმოებდა ინსტიტუტში შექმნილ ავტომატურ დანადგარზე, რომელზეც შესაძლებელია პროცესის პარამეტრების ცვლილება. ექსპერიმენტები ჩატარებულია პოლიმერის ერთი და იგივე კონცენტრაციის ხსნარებზე. საკოაგულაციო აბაზანის 10°, 20°, 30° და 40° ტემპერატურაზე, აბაზანაში ნიმუშის ჩაშვების სიჩქარე იყო 600მმ/წთ და ჩაშვების კუთხე 45°.

მიღებული ნიმუშების მაქსიმალური ფორის ზომები განსაზღვრულია ბუმტულაკის წერტილის განმსაზღვრელ ხელსაწყოზე. ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ სააბაზანოს ტემპერატურის გაზრდისას გამოლექილი მემბრანების მაქსიმალური ფორის ზომა მცირდება. შესაძლებელია, რომ აღნიშნული შედეგი გამოწვეული იყოს ტემპერატურის აწევისას სტრუქტურა წარმომქმნელი ცენტრების გაჩენით და გამრავლებით, რის გამოც წარმოიქმნება უფრო მეტი, მაგრამ შედარებით მცირე ზომის ფორა. შესწავლილია მიღებული მემბრანების ხვედრითი წარმადობები 0,5-1.0 ბარ წნევაზე. დადგენილია, რომ საკოაგულაციო აბაზანის 10°C და 40°C გამოლექილი მემბრანების მექანიკური თვისებები 1ბარ წნევაზე არადაამაკმაყოფილებელია. მიღებული მემბრანებიდან ოპტიმალური ფორის ზომები და დამაკმაყოფილებელი წარმადობები გააჩნია 20°C -ზე გამოლექილ მემბრანას.

7. მთავარი მახასიათებელი, რომელიც გამოარჩევს პოლიმერებს სხვა კლასის ქიმიური ნაერთებისგან და განსაზღვრავს მათ, როგორც იდეალურ მასალას პოლიმერული მემბრანების მისაღებად, არის მათი ფიბრიალური ბუნება და მოლეკულების დიდი ზომები, რომლებიც თავის მხრივ განაპირობებენ პოლიმერებში მაკროსკოპულ დონეზე მოქმედი კოგეზიური ძალების არსებობას. პრაქტიკაში პოლიმერული მემბრანების მისაღები მასალებიდან განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება პოლიკონდენსაციური პოლიმერები, რომლებიც მიიღება დიამინებისა და ორგანული დიკარბონმჟავების ან მათი

დიქლორნაწარმების, ქლორანჰიდრებისა და გლიკოლების ან ფენოლების, ქლორნახშირმჟავას და ბისფენოლების ფაზათაშორისი პოლიკონდენსაციით.

პოლიკონდენსაცია ტარდებოდა 15-20°C-ზე, გამხსნელად გამოყენებულია დიმეთილაცეტამიდი, რომელიც ასრულებს არა მარტო გამხსნელის, არამედ თანამდე დაბალმოლეკულური პროდუქტების აქცეპტორის როლს. დადგენილია, რომ ტემპერატურის აწევით მიიღება უფრო დაბალი მოლეკულური მასის მქონე პოლიმერები.

სინთეზირებული პოლიმერები გამოირჩევიან მაღალი თერმოდგრადობით და კარგი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით, რაც გამოწვეულია კრისტალურობის მაღალი ხარისხით და მაკრომოლეკულებში მოლეკულათაშორისი წყალბადური ბმებით. პოლიჰექსამეთილენადიპინამიდი (მიღებულია ჰექსამეთილენდიამინისა და ადიპინის მჟავას პოლიკონდენსაციით), პოლიჰექსამეთილენსეზაბაცინამიდი (ჰექსამეთილენდიამინის და სეზაბაცინის მჟავას პოლიკონდენსაციით) და პოლიეთილენტერეფტალატი მიღებულია (ტერეფტალის მჟავისა და ეთილენგლიკოლის პოლიკონდენსაციით) წარმოადგენენ ღია ფერის მყარ, მსუბუქ ნივთიერებებს ლღობის მაღალი ტემპერატურით.

აღნიშნული მასალები გამოყენებული იყო სხვადასხვა კონცენტრაციის პოლიმერული კომპოზიციების მისაღებად და მათ ბაზაზე მემბრანების შესაქმნელად.

8. მე-20 საუკუნის 70-იანი წლებიდან სინთეზურმა პოლიმერებმა კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი გამოყენება ჰპოვა მემბრანულ ტექნოლოგიაში, რადგან დადგინდა, რომ პოლიმერები წარმოადგენენ უნიკალურ მასალას მემბრანების შესაქმნელად.

მემბრანული ტექნოლოგიების საინჟინრო ინსტიტუტში წლების განმავლობაში შექმნილია პრინციპულად ახალი მემბრანული ტექნოლოგიები და ტექნიკა ეკონომიკის სხვადასხვა დარგებისთვის, რაც საშუალებას იძლევა სამამულო დამუშავების ბაზაზე განხორციელდეს არა მარტო სტრუქტურული ძვრები სამამულო მრეწველობის ტექნოლოგიური განახლების, ეკოლოგიურად სუფთა კვების პროდუქტების წარმოების, წყალმომარაგებისა და სხვა უმნიშვნელოვანესი პრობლემების გადაწყვეტაში, არამედ მემბრანული ტექნიკის მსოფლიო ბაზარზე კონკურენტუნარიანი ორიგინალური დამუშავებებით. ამ მიზნით, ახალი გაუმჯობესებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე პოლიმერული მემბრანების შექმნის მთლიანი ტექნოლოგიური სქემის დასადგენად, ინსტიტუტში მიმდინარეობს ინტენსიური მუშაობა სხვადასხვა პოლიმერული მასალებიდან (აცეტატცელულოზები, პოლისულფონები, პოლიამიდები) ახალი მემბრანების შესაქმნელად. მემბრანების მიღება, კვლევა და გამოცდა წარმოებს ინსტიტუტში შექმნილ ლაბორატორიულ დანადგარებზე და ღვინის ფინიშური სტერილური ფილტრაციის, სასმელი წყლის გაწმენდა - სტერილიზაციისა და ტექნოლოგიური წყლის მიღების მემბრანულ ნანოსისტემებზე. სხვადასხვა წარმოების ბაზაზე ინსტიტუტში დამზადებულია და დანერგილია სხვადასხვა დანიშნულების 70-მდე მემბრანული ნანოსისტემა კვებისა და ფარმაცევტული მრეწველობისთვის, წყალმომზადებისთვის, ჩამდინარე წყლების გაწმენდისთვის, მათ შორის 9 ნანოსისტემა დანერგილია საზღვარგარეთ.

9. ნაშრომში განხილულია პოლიმერული კომპოზიციის საკოაგულაციო აბაზანაში ჩაშვებამდე აორთქლების დროის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება მიღებული მემბრანების მახასიათებლებზე. დადგენილია, რომ აორთქლების დროის გაზრდით მემბრანების ფორიანობა და შეღწევადობა მცირდება. პოლიმერული მემბრანების ფაზური ინვერსიის სველი მეთოდით მიღებისას მრავალ პარამეტრს შორის მნიშვნელოვანია არაგამხსნელში ჩაშვებამდე ფუძემრეზე დატანილი კომპოზიციის აორთქლების ოპტიმალური დროის განსაზღვრა. ეს პარამეტრი გავლენას ახდენს პოლიმერული მემბრანების ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლებზე. აღნიშნული საკითხის კვლევისთვის ჩვენს მიერ მიღებულია სხვადასხვა კონცენტრაციის აცეტატცელულოზას შემდეგი შემადგენლობის პოლიმერული კომპოზიცია: (აცეტატცელულოზა/დიმეთილაცეტამიდი/კალციუმის ქლორიდი). ფაზური ინვერსიის პროცესი ტარდებოდა წყალში, ინსტიტუტში შექმნილ ლაბორატორიულ დანადგარზე, ოთახის ტემპერატურაზე. აბაზანაში ნიმუშების ჩაშვების სიჩქარე იყო 400მმ/წთ, ჩაშვების კუთხე კი 45°.

კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ ნიმუშების საკოაგულაციო აბაზანაში ჩაშვებამდე აორთქლების ხანგრძლივობის დროის გაზრდა იწვევს უჯრედების ზომებისა და ფორიანობის შემცირებას და შესაბამისად შეღწევადობის შემცირებასაც. სელექტიურობის შემცირება კი შესაძლებელია ხდებოდეს ნიმუშების ბარიერული ფენის გამყარებისა და გაჯირჯვების გამო.

10. პოლისულფონების ბაზაზე შემუშავებული იქნა სხვადასხვა შედგენილობის მქონე მემბრანის მისაღები კომპოზიცია. დანამატებად, ე.წ. მამოდიფიცირებელ აგენტებად შერჩეული იქნა სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობისა და მოლეკულური მასის მქონე მოდიფიკატორები, რომელთა რაოდენობის ვარირება ხდებოდა კონცენტრაციების ფართო დიაპაზონში (5%-დან 50%)-მდე. მიღებული მემბრანების ზედაპირის მორფოლოგია შესწავლილი იქნა მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპის საუალებით (Certus Standart V), NSG20 ტიპის კანტილევრით, ზონდის მომრგვალების რადიუსი შეადგენს 10 ნმ, ნახევრადკონტაქტური რეჟიმის პირობებში. ექსპერიმენტები ტარდებოდა 20-25°C-ზე, ტენიანობა 58%, ზონდის მგრძნობელობა და მიკროსკოპის სკანერის სიზუსტე საშუალებას იძლევა ზედაპირის გამოსახულება შესწავლილი იქნას განივი 0.2 ნმ და ვერტიკალური 0.01 ნმ დაშვებით. დადგენილი იქნა, რომ მოდიფიკატორების გავლენით, მათი მოლეკულური მასების და კონცენტრაციების შესაბამისად, იცვლება აფსკების სტრუქტურის ტიპი და რელიეფი. ამ გზით მიღებული მემბრანების ზედაპირი არის ერთგვაროვანი, გლუვი, შესაბამისად მცირდება ფორების ზომა და მათი განლაგება უფრო რეგულარულ სახეს იღებს. მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით მიღებული გამოსახულებების საშუალებით შეფასდა ხარისხობრივად და რაოდენობრივად შეფასდა საკონროლო და მოდიფიცირებული ნიმუშების ამპლიტიდური საშუალო სტატისტიკური სიძქისის პარამეტრები.

11. ნაშრომში შესწავლილია პოლიმერული მემბრანების მაფორმირებელ ხსნარზე დამატებული სხვადასხვა კომპონენტის გავლენა მემბრანის სტრუქტურასა და ფორების რაოდენობაზე. მემბრანის მისაღები ძირითადი პოლიმერებად შერჩეულ იქნა პოლისულფონების (პს), გამხსნელად დიმეთილფორმამიდი,

დიმეთილაცეტამიდი, ხოლო ფორწარმომქმნელად პოლიგლიკოლები მოლეკულური მასით 200-600 (ზგ-1) და 600-12000 (ზგ-2). დადგენილი იქნა, პოლიგლიკოლების, როგორც ფორწარმომქმნელების, კონცენტრაციის გავლენა მემბრანის ფორმირების კინეტიკაზე, რომლის მოქმედება განისაზღვრება თერმოდინამიკური, რეოლოგიური და მორფოლოგიური ფაქტორებით. პოლიგლიკოლები მოქმედებენ როგორც სუსტი გამხსნელები პოლისულფონებისთვის, წარმოადგენენ მიკროფორების ეფექტურ წარმომქმნელს, ძირითად ხსნარზე მისი დამატება იწვევს მიკროფაზური დაყოფის ეფექტის გაუმჯობესებას. ისინი ახდენენ ერთგვარ კოაგულაციურ ზემოქმედებას და ასრულებენ მადისპერგირებელი აგენტის როლსაც. პოლიმერული მემბრანის ფორმის ზომები შესწავლილი იქნა ბუმტულაკების წერტილის მეთოდით და მასკანირებელი ზონდური მიკროსკოპით, რომლის საშუალებით განისაზღვრა ფორმის ზომა და ფორმის განაწილება ზომების მიხედვით ერთეულ ფართობზე.

12. ნაშრომში გამოყენებულია 1 მიახლოების მათემატიკური გეგმარების არსებული თეორია ორი სხვადასხვა ფაზური ინვერსიის პარამეტრების მონაცემთათვის. ამ თეორიაზე დაყრდნობით საშუალება გვეძლევა გამოვითვალოთ სხვა ფაზური ინვერსიის ისეთი პარამეტრები, რომლებიც მოთავსებულია ორი სხვადასხვა ფაზური ინვერსიის პიკური მონაცემებით განსაზღვრული არის შიგნით. ამისთვის აღებული იყო კონკრეტული ორი სხვადასხვა ინვერსიისთვის ექსპერიმენტებით მიღებული რიცხვითი მონაცემები. ამ კონკრეტული მონაცემებისთვის შესრულებულია თეორიული გათვლები საკვანძო წერტილების აღებული ორი ფაქტორის ზედა და ქვედა დონეებზე და ასევე რეგრესიის წრფივი განტოლების კოეფიციენტების. ანგარიშის შემდეგ ეტაპზე გადავდით რეგრესიის წრფივი განტოლების უგანზომილებო ცვლადებზე, გარკვეული გარდაქმნებისა და გამოთვლების გამოყენებით ამით მოგვეცა საშუალება გაგვესაზღვრა ორფაქტორიანი ფაზური ინვერსიის არე. უკვე განსაზღვრული ამ არიდან შევარჩიეთ ფაზური ინვერსია რომლისთვისაც შესრულდა პარამეტრების თეორიული გათვლები გამოძახილების საანგარიშო ფორმულების დახმარებით პარალელურად ამ შერჩეული ფაზური ინვერსიისთვის ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევა პარამეტრების დასადგენად. ექსპერიმენტული და თეორიული შედეგები საკმაო სიზუსტით დაემთხვა ერთმანეთს. განსხვავება თეორიულსა და ექსპერიმენტულად მიღებულ შედეგებს შორის აღმოჩნდა უმნიშვნელო, რამაც ერთხელ კიდევ დაგვარწმუნა ამ თეორიის გამოყენებით მიღებული შედეგების საიმედოობაში. ეს მიდგომა გამოყენებული იყო ფაზური ინვერსიის ცდების შევსებაში.

13. ინსტიტუტში 3D-პრინტერიის დახმარებით შექმნილ დანადგარზე და კომპოზიციური მასალების განყოფილებაში მიღებულ მემბრანაზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიბიძგა ყურადღება გაგვემახვილებინა დანადგარებში მემბრანის მუშაობაზე.

ნაშრომში მოყვანილია თუ რა პირობებს უნდა აკმაყოფილებდეს მემბრანული დანადგარის სადაწნო საკანში განვითარებული წნევები, რათა დანადგარმა იმუშაოს სტაბილურად და ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

მემბრანულ დანადგარებში მემბრანის მასალის მექანიკური თვისებების კვლევა ერთ-ერთი აუცილებელი საკითხთაგანია, ვინაიდან სასურველია და ეკონომიურია, მემბრანულმა დანადგარმა იმუშაოს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ეს კი შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ ის იმუშავებს დრეკად სტადიაში. წინააღმდეგ შემთხვევაში დაიწყება პლასტიკური დეფორმაციები, რასაც მივყავართ მემბრანის რღვევამდე (გასკდომამდე). სხეულებს გააჩნიათ უნარი განიცადონ დეფორმაცია მასზე მოდებული გარე ძალების

მოქმედებით და თუ ამ ძალების მოხსნის შედეგად იგი დაუბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას ამბობენ, რომ სხეულმა განიცადა დრეკადი დეფორმაცია. ამ პროცესს ეძახიან სხეულის მუშაობას დრეკად სტადიაში და თუ მიყენებული გარე ძალებით სხეული არ დაუბრუნდება პირვანდელ მდგომარეობას, მაშინ ადგილი აქვს პლასტიკურ დეფორმაციას.

დრეკად სტადიაში სამუშაოდ, მემბრანაზე მოსული დატვირთვებისთვის გამოვიყენოთ შემდეგი პირობა :

$$\sigma < \sigma_{\text{დრკვრ}} \quad (1)$$

სადაც σ - დანადგარში განვითარებული სითხის წნევაა, $\sigma_{\text{დრკვრ}}$ - მემბრანის მასალის დრეკად სტადიაში მუშაობისას ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა. ძაბვის ამ მნიშვნელობაზე მეტი მნიშვნელობის დროს იწყება პლასტიკური დეფორმაციები, რასაც მოყვება მასალის რღვევა. გარდა ამისა, უნდა გავითვალისწინოთ 5% მარაგით ე.ი. 0,95% $\sigma_{\text{დრკვრ}}$. შემოვიღოთ აღნიშვნა $\sigma_{\text{დას}} = 0,95\% \sigma_{\text{დრკვრ}}$. მაშინ, ფორმულა (1) მიიღებს სახეს:

$$\sigma \leq \sigma_{\text{დას}} \quad (2)$$

14. სამუშაოში განხილულია ბუნებრივი წყლის სათანადო დონეზე დემინერალიზაციის საკითხები. წყლის დემინერალიზაციის პროცესის კვლევა მიმდინარეობდა ინსტიტუტში შექმნილ ნანოფილტრაციულ დანადგარზე, ქიმიური კომპონენტებისა და კოლოიდური ნაწილაკების რაოდენობრივი შედგენილობის მონიტორინგით, იონომეტრული, სინათლის 90 გრადუსიანი გარდატეხისა და შთანთქმის მეთოდების გამოყენებით შემდეგ ხელსაწყოებზე: „იონომერი - И160. 1МП“, „სიმღვრივის მზომი - Turb 555“, „მალვერნი - Nano-ZS 90“.

დღეს მსოფლიო განიცდის მტკნარი წყლის ნაკლებობას და მის რაციონალურ გამოყენებას, ამიტომ ბუნებრივ წყლებს ჭირდება ღრმა და ეფექტური გაწმენდა, რადგან ყველაზე ხშირად მათში გვხვდება კოლოიდებიდან - თიხისა და ქვიშის ნაწილაკები, მიკროორგანიზმები, მძიმე ლითონების ჰიდროქსიდები, ხრწნადი ორგანული ნაერთები, სიხისტის წარმომშობი მარილები. წყლის გაწმენდის პროცესი ამ ნივთიერებების მოცილებაში მდგომარეობს.

ინსტიტუტში შექმნილი მემბრანული ნანოფილტრაციული დანადგარი საშუალებას გვაძლევს წყალი გავწმინდოთ შეწონილი ნაწილაკებისა და ქიმიური კომპონენტებისგან. მიღებულ პერმეატში კალციუმის იონის განსაზღვრისთვის გამოვიყენეთ ლაბორატორიული ხელსაწყო - იონომერი - И160.1МП, Ca^{++} -ის მემბრანული ელექტროდით. განსაზღვრას ვაწარმოებდით გამოხდილ, ქალაქის გაუფილტრავ და გაფილტრულ წყალზე. გამოხდილი, გაუფილტრავი და გაფილტრული წყლის ნიმუშების სიმღვრივის მაჩვენებელი გაიზომა ხელსაწყოზე - Turb 555, ხოლო ნაწილაკის ზომები განსაზღვრული იქნა ხელსაწყოზე - Malvern - Nano - ZS90.

მიღებული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ გაფილტრულ ხსნარში Ca^{++} -ის იონების რაოდენობა შემცირებულია 20-25%-ით, გაუფილტრავ ნიმუშთან შედარებით. სიმღვრივის მაჩვენებლის ერთი რიგით კლება კი გამოწვეულია $100 \approx 1000$ მ ნაწილაკების მოცილებით, ხოლო სიმღვრივის მაჩვენებლის სხვაობა გამოხდილსა და გაფილტრულ ნიმუშებს შორის განპირობებულია 20მ-დან 50მ- მდე სიდიდის

ნაწილაკებით.

დადგენილია, რომ ნანოფილტრაციის შედეგად წყალი იწმინდება როგორც ქიმიური კომპონენტებისგან, ასევე 20ნმ-იდან 1000ნმ-მდე ზომის ნაწილაკებისგან, რაც უზრუნველყოფს სათანადო დონეზე დემინერალიზებული და სტერილური სასმელი წყლის მიღებას.

15. ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების გაწმენდას ვიკვლევდით ელექტროდიალიზური მეთოდით, იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით. შესწავლილია ტყვიის კრონის წარმოებაში არსებული ჩამდინარე წყლების გაწმენდის პროცესის ტექნოლოგიური პარამეტრები - ძაბვა, დენის ძალა, მუშა ხსნარების სიჩქარე. გამოკვლეულია მემბრანის ქიმიური მედეგობა ჩამდინარე წყლების გარემოში.

კვლევითი სამუშაო ტარდებოდა მიმართულებით - ჩამდინარე წყლის ელექტროდიალიზური გაწმენდა, წინასწარ წყალბადის ზეჟანგით დამუშავების შემდეგ, იმ მიზნით, რომ Cr^{+6} გადავიდეს Cr^{+3} - ში.

გაწმენდის პროცესში, ნალექის არ წარმოქმნის მიზნით ექსვალენტიანი ქრომი ($CrVI$) გადაყვანილია სამვალენტიანში ($CrIII$) წყალბადის ზეჟანგის 30% ხსნარის გამოყენებით. ცდები ტარდებოდა გაწმენდის ოპტიმალურ პირობებში. გაწმენდილი ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყალი აკმაყოფილებს ტექნიკურ წყალზე წაყენებულ მოთხოვნებს.

16. შესწავლილია ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების კომპონენტების ერთობლივი შემცველობისას მარილხსნარის კონცენტრატის ზღვრული პოლარიზაციის დონე. მაკონცენტრირებელ კამერაში ხსნარის გარკვეული დონის კონცენტრაციების დროს იწყება შებრუნებული დიფუზია. კონცენტრირების კამერიდან ხდება იონების გადასვლა გამწმენდ კამერაში და შედეგად მცირდება გაწმენდის ხარისხი. ამიტომ, ელექტროდიალიზური მეთოდით ხსნარების გაწმენდისთვის აუცილებელია გამოკვლეული იყოს მინარევების კონცენტრირება და ზღვრების დადგენა.

შესწავლილი იყო ტყვიის ნიტრატისა და კალიუმის ქრომატის კონცენტრირების შესაძლებლობა 0,1 % - იანი წყალხსნარებიდან გაწმენდის შერჩეულ ოპტიმალურ პირობებში. ნიტრატის კონცენტრაცია 50 გ/ლ, ხსნარის მიწოდების სიჩქარე 5 ლ/სთ, დენის სიმკვრივე 0,003 ამპ/სმ².

დადგენილია, რომ ჩამდინარე წყლებში შემავალი ქრომატი ილექება ელექტროდიალიზატორის მემბრანაში. ნალექის არ წარმოქმნის მიზნით შევისწავლეთ ექსვალენტიანი ქრომის გადაყვანა სამვალენტიანში ხსნარის წყალბადის ზეჟანგით. დადგენილია ხსნარის პოლარიზაციის დონე.

17. შესწავლილია ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების დამუშავება კალციუმის ჰიდროქსიდის საშუალებით.

კალციუმის ჰიდროქსიდი ქრომისა და ტყვიის იონებთან წარმოქმნის უხსნად ჰიდროქსიდებს. გარდა ამისა, იგი მოქმედებს როგორც კოაგულანტი და ნალექის გამოყოფა ხდება სწრაფად. ნალექი გამოიყოფა მსხვილი ნაწილაკების სახით და მცირე დროს მოითხოვს.

კალციუმის ჰიდროქსიდის 5% ხსნარის ოპტიმალური რაოდენობა $pH=11-11,5$ დროს შეადგენს 20მგ/ლ ,

ხოლო სამვალენტური ქრომის რაოდენობა ჩამდინარე წყალში არ უნდა აღემატებოდეს -35მგ/ლ და ტყვიის შემცველობა - 7მგ/ლ.

დადგენილი იყო ამ პროცესის ოპტიმალური პირობები. ჰიდროქსიდების სრული გამოლევა მიმდინარეობს pH = 11-11,5-ის დროს. ამ მაჩვენებელზე დაბალი pH-ის დროს მიმდინარეობს არასრული გამოლევა, ხოლო უფრო მაღალი pH-ის დროს ტყვიის ჰიდროქსიდი ნაწილობრივ იხსნება არეში.

6. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

6.1. საქართველოში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მოხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1	გ. ბიბილეიშვილი, ლ. ყუფარაძე, ე. კაკაბაძე, ნ. გოგესაშვილი, მ. კეჭერაშვილი, ქ. ფარეშიშვილი, თ. ბუთხუზი, ზ. ჯავაშვილი	მოლეკულური მასის განსაზღვრის მეთოდის დამუშავება ხელსაწყო Zetasaizer Nano ZS 90 საშუალებით,	19-20 ოქტომბერი, 2018 წ., სტუ, თბილისი
2	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი	ტყვიის კრონის შემცველი წყლების გაწმენდა იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
3	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი, გ. მჭედლიშვილი	ჩამდინარე წყლებში ექსვალენტური ქრომისა და ტყვიის კონცენტრირების გამოკვლევა ელექტროდიალიზის პროცესში	19-20 ოქტომბერი, 2018 წ., სტუ თბილისი
4	მ. მამულაშვილი, ნ. ჩხუბიანიშვილი, გ. მჭედლიშვილი	ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების ელექტროდიალიზური გაწმენდის პროცესში ექსვალენტური ქრომისა და ტყვიის კონცენტრირების გამოკვლევა.	19-20 ოქტომბერი, 2018 წ., სტუ, თბილისი
მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)			