

ი.ბუჯანიძე, თ. ხარებავა, ნ.დავითაძე,
შ.კონცელიძე, ლ.კონცელიძე

ჩვენი წყალი

ბუნებრივი და ჩამდინარე
წყლების განმეორება
ელექტრომემბრანული
ტექნოლოგიით

ი.ბეჟანიძე, თ.ხარებავა, ნ. დავითაძე, ზ.კონცელიძე,
ლ.კონცელიძე

**ბუნებრივი და ჩამდინარე წყლების გაწმენდა
ელექტრომემბრანული ტექნოლოგიით**



სერია : მემბრანული ტექნოლოგია

გამომცემლობა

„შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი“

ბათუმი – 2019

განხილულია ძირითადი ელექტრომემბრანული პროცესები. მოყვანილია მოცემულ პროცესებში მოხმარებული ელექტროენერჯის ხარჯი. მოცემულია მემბრანების მიმოხილვა ელექტრომემბრანული პროცესებისათვის, განხილულია მათი მიღების ხერხები. მოყვანილია ელექტრომემბრანული პროცესების მრეწველობაში გამოყენების მაგალითები.

განკუთვნილია სტუდენტების, მაგისტრებისა და ფართო წრის სპეცილობების ინჟინერ-ტექნოლოგებისათვის, რომელთა ინტერესები დაკავშირებულია მემბრანულ ტექნოლოგიასთან.

ბუნებრივი და ჩამდინარე წყლების გაწმენდა ელექტრომემბრანული ტექნოლოგიით / ი.ბეჟანიძე, თ.ხარებავა, ნ.დავითაძე, ზ.კონცელიძე, ლ. კონცელიძე- ბსუ, 2019 , 178 გვ., 12 ცხ., 97 ნახ., 124 ლიტ. წყარო.

რედაქტორი :

სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა დოქტორი : ნ.კვიციანიძე

რეცენზენტები:

ქიმიის აკადემიური დოქტორები : ნ.დიდმანიძე

რ. გოცირიძე

ISSN 1987-7587

©, შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

სარჩევი	გვ.
შესავალი.....	8
1.ელექტრომემბრანული პროცესები.....	9
1.1 ელექტროლიზი.....	10
1.2 ელექტროდეიონიზაცია.....	11
1.3 ელექტროსორბცია.....	13
1.4 ელექტროგრაფიტაცია (ელექტროდალექვა).....	14
1.5 სატრანსპორტო განმუხტვა.....	14
1.6 უწყვეტი იონური მიმოცვლა.....	15
1.7 მიმოცვლის რეაქცია.....	15
1.8ელექტროფორეზი.....	16
1.9ელექტროდიალიზი.....	18
1.9.1რევერსიული ელექტროდიალიზი.....	20
1.9.2 ელექტროდიალიზი ბიპოლარული მემბრანებით.....	21
2.მოხმარებული ელექტროენერჯის გამოთვლა.....	24
3. ელექტრომემბრანულ პროცესებში გამოყენებული მემბრანები.....	25
4.მემბრანებისადმი წაყენებული მოთხოვნები.....	29
5. ელექტრომემბრანულ პროცესებში გამოყენებული მემბრანების კლასიფიკაცია.....	30
6.ბარომემბრანებისა და ელექტრომემბრანების შედარება.....	31
7.ელექტრომემბრანულ პროცესებში გამოყენებული მემბრანების დამზადების ხერხები.....	32
8.მასალები (პოლიმერები) მემბრანისათვის.....	33
9.ჰეტეროგენული იონმიმოცვლითი მემბრანები.....	34
10.ჰომოგენური იონმიმოცვლითი მემბრანები.....	36
11.ბიპოლარული მემბრანები.....	37
12.მემბრანული მასალების კვლევის ეტაპები.....	38
13.წყლისადმი წაყენებული მოთხოვნები.....	39
14. ელექტრომემბრანული პროცესების რეალიზაციის ჰიდრავლიკური სქემები.....	41
14.1 ერთსაფეხურიანი დემინერალიზაცია.....	41
14.2 ერთსაფეხურიანი დემინერალიზაცია კონცენტრატის დაბრუნებით (რეციკლით). 42	42

14.3 განმეორებადი დემინერალიზაცია.....	42
14.4 დემინერალიზაცია პერიოდული ცირკულაციით.....	42
14.5 უწყვეტი ნახევრადსაწინააღმდეგო საფეხურებრივი დემინერალიზაცია.....	43
15 აპარატების კონსტრუქციები ელექტრომემბრანული პროცესებისათვის.....	43
15.1 საერთო მოთხოვნები.....	43
15.2 აპარატები ფილტრ-პრესი ტიპის მოდულით.....	44
15.3 აპარატები რულონური მოდულით.....	46
15.4 აპარატები მილისებური ელემენტებით.....	48
16 აპარატების ქიმიური რეცხვა.....	50
16.1 უწყვეტი გარეცხვა.....	50
16.2 პერიოდული გარეცხვა.....	50
16.3 მემრანებზე ნალექწარმოქმნის თავიდან აცილება.....	51
17. ელექტრომემბრანული პროცესების საწარმოო გამოყენება.....	52
17.1 წყლის გაუმარილება.....	52
17.2 გამოყენება რძის წარმოებაში.....	53
17.3 გამოყენება გალვანური წარმოების ჩამონადენი წყლების გასაწმენდათ.....	57
17.4 გამოყენება რადიოაქტიური ნაკადების დასამუშავებლად.....	59
18 სისტემები ჩაკეტილი ციკლით.....	62
19 იონმიმოცვლითი მემბრანების სორბციული მახასიათებლების განსაზღვრა ელექტროლიტების ხსნარებში.....	65
19.1 ზოგიერთი წარმოდგენები იონმიმოცვლითი მემბრანების სტრუქტურაზე.....	66
19.2 იონმიმოცვლითი მემბრანების ელექტროგამტარობა.....	69
19.2.1 წარმოდგენები იონიტებში იონების გადატანის მექანიზმზე.....	70
19.2.2 სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა იონიტებისა და იონმიმოცვლითი მემბრანების ელექტროგამტარობაზე.....	72
19.2.3 ელექტროგამტარობის გაზომვის მეთოდები	82
19.3 იონიტური მემბრანების მიღების მეთოდები.....	83
19.4 ორგანული ნივთიერებების სორბცია იონმიმოცვლითი მემბრანებით	89
20. ორგანული ნივთიერებების სორბცია იონმიმოცვლითი მემბრანებით.....	92
20.1 ექპერიმენტალური ნაწილი.....	92
20.1.1 კვლევის ობიექტები.....	92
20.2 ექსპერიმენტის მეთოდიკები.....	96

20.2.1 ორგანული ელექტროლიტთა ხსნარების ზედაპირული დაძაბულობის განსაზღვრა.....	96
20.2.2 მემბრანის მიმოცვლის უნარის განსაზღვრა.....	97
20.2.3 მემბრანებით ორგანული იონების სორბციის განსაზღვრა.....	98
20.2.4 მემბრანის ტენშემცველობის განსაზღვრა.....	99
20.2.5 გადატანის რიცხვების განსაზღვრა მემბრანაში.....	101
20.3 ექსპერიმენტალური მონაცემები და მათი განხილვა.....	102
20.3.1 მიმოცვლის ტევადობა და ორგანული იონების სორბცია.....	102
20.3.2 წყლის შემცველობა მემბრანაში.....	110
20.3.3 იონების გადატანის რიცხვი მემბრანებში.....	111
დასკვნა.....	114
21. დისპერსიული სისტემების გაწმენდა მემბრანული მეთოდების გამოყენებით.....	115
21.1. კვლევის ობიექტები.....	115
21.2. კვლევის მეთოდიკები.....	116
21.2.1 მემბრანების მომზადება კვლევისადმი.....	116
21.2.2. მემბრანების ელექტროგამტარობის გაზომვა.....	116
21.2.2.1. სხვაობითი მეთოდი.....	117
21.2.2.2 კონტაქტური მეთოდი.....	118
21.3 ექსპერიმენტალური მონაცემები და მათი განხილვა.....	119
დასკვნა.....	132
გამოყენებული ლიტერატურა.....	135

ბუნებრივი სამკურნალო წყლების შედგენილობის და ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შესწავლა

1. ბუნებრივი წყლების ზოგადი დახასიათება.....	142
1.1. სამკურნალო წყლების კლასიფიკაცია.....	143
1.2 სამკურნალო წყლების სახეობანი.....	144
1.2.1 აბასთუმნის სამკურნალო წყლები.....	144
1.2.2 გოგირდიანი თბილი წყლები	146
1.2.3 „ვეძა“	147
1.2.4 „ფლატე“.....	148
1.2.5 „ლიკანი“.....	149
1.2.6 „საირმე“.....	149

1.2.7 „ზვარე“.....	149
1.2.8.ლუგელა.....	149
1.2.9.ნაბელღავი.....	150
1.2.10 ლაშიჭალა.....	150
1.2.11 მუშა.....	151
2. ექსპერიმენტალური ნაწილი.....	152
2.1 კვლევის ობიექტები.....	152
2.2 კვლევის მეთოდები.....	154
2.2.1 მშრალი ნივთიერებების რაოდენობების განსაზღვრა	154
2.2.2 ტიტრული მჟავიანობის განსაზღვრა.....	154
2.2.3 გოგირდის განსაზღვრა.....	154
2.2.4 ქლორიდების განსაზღვრა.....	155
2.2.5 წყლის ელექტროგამტარობის განსაზღვრა	156
2.2.6 წყლის საერთო სიხისტის განსაზღვრა.....	156
2.2.7 ჰიდროკარბონატების განსაზღვრა.....	157
2.2.8 ამონიუმის იონის განსაზღვრა.....	157
2.2.9 ნიტრატების განსაზღვრა.....	157
2.2.10 სულფატების შემცველობის განსაზღვრა.....	158
2.2.11 მძიმე ლითონების შემცველობის განსაზღვრა.....	158
2.2.12 ულტაფილტრაციული პროცესის მწარმოებლურობის განსაზღვრა.....	158
2.2.13 pH განსაზღვრა.....	158
2.3 ექსპერიმენტალური მონაცემები და მათი განხილვა.....	159
დასკვნა.....	174
გამოყენებული ლიტერატურა.....	177

შესავალი

მემბრანული მეთოდები - მეცნიერების, ტექნოლოგიის და ტექნიკის განვითარების რიგი პრიორიტეტული მიმართულებების რეალიზაციის თანამედროვე ინსტრუმენტია. ამ მეთოდების პრაქტიკული მნიშვნელობა უპირველესად დაკავშირებულია იმ გლობალური პრობლემების გადაწყვეტასთან, რომლებიც XXI საუკუნეში დგას კაცობრიობის წინაშე : მაღალი ტექნოლოგიების შექმნა, უსაფრთხო ცხოვრების უზრუნველყოფა, მაღალხარისხიანი სასმელი წყლისა და ეკოლოგიურად სუფთა საკვები პროდუქტების წარმოება, ასევე სოციალურ-ეკონომიური პრობლემების გადაწყვეტასა და გარემოს შენარჩუნებას შორის საჭირო ბალანსის ფორმირება.

არსებობს მრავალი მემბრანული პროცესი, რომლებიც დაფუძნებული არიან სხვადასხვა პრინციპებზე ან მექანიზმებზე და გამოიყენებიან სხვადასხვა ზომის ობიექტების დაყოფისათვის - ჰეტეროფაზის ნაწილაკიდან მოლეკულამდე. მაგრამ ყველა მემბრანულ პროცესს აქვს რაღაც საერთო, კერძოდ მემბრანა, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორ ფაზას შორის სელექტიურად გამტარი ბარიერი. დაყოფა მიიღწევა იმის შედეგად, რომ ნედლეულის ფაზიდან ერთი კომპონენტი გადაიტანება მემბრანით მაღალი სიჩქარით, ვიდრე სხვა კომპონენტები. ანუ გამყოფი მემბრანა - ეს არის ტიხარი, რომელსაც აქვს უნარი უპირატესად (სელექტიურად) გაატაროს თხევადი ან აირადი ნარევების განსაზღვრული კომპონენტები. როგორც წესი მემბრანაში გადატანა ხდება ქიმიური რეაქციის გარეშე.

მემბრანული დაყოფის პროცესის მამოძრავებელ ძალას წარმოადგენს ქიმიური პოტენციალის გრადიენტი მემბრანის ორივე მხარეს. გრადიენტის პარამეტრების მიხედვით დაყოფის მემბრანულ პროცესები იყოფა:

- ✓ ბარომემბრანული, წნევათა სხვაობის დროს;
- ✓ დიფუზიური, კონცენტრაციის სხვაობის დროს;
- ✓ თერმომემბრანული, ტემპერატურის სხვაობის დროს;1
- ✓ ელექტრომემბრანული, ელექტროქიმიური პოტენციალების სხვაობის დროს.

მემბრანული დაყოფის პროცესების ამოცანებია:

- დაკონცენტრირება (მიზნობრივი პროდუქტი დაბალი კონცენტრაციისა და გამხსნელი უნდა იყოს მოცილებული);
- გაწმენდა (არასასურველი მინარევი უნდა იყოს მოცილებული);

- ფრაქციონირება (ნარევი უნდა დაიყოს ორ ან მეტ მიზნობრივ კომპონენტად).

თუ პროცესის მიზანია დაკონცენტრირება, მაშინ მიზნობრივი პროდუქტი არის კონცენტრატი. მაგრამ, გაწმენდის შემთხვევაში მიზნობრივი პროდუქტი შეიძლება იყოს როგორც კონცენტრატი, ასევე მინარევებისაგან გაწმენდილი ე. წ. დიალიზატი.

გადატანის მექანიზმების მიხედვით მემბრანული პროცესები ძირითადად შეიძლება დავყოთ ელექტრომემბრანულ და ბარომემბრანულ პროცესებად.

1. ელექტრომემბრანული პროცესები

ელექტრომემბრანული პროცესები მიეკუთვნება დაყოფის თხევად-ფაზურ პროცესებს. ეს არის პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ ელექტრული პოტენციალის მოქმედებით მუდმივი დენის დროს. ყველაზე მნიშვნელოვან ამ პროცესებს შორის წარმოადგენს ელექტროდიალიზი, რომელმაც გაცილებით ადრე მოიპოვა სამრეწველო გამოყენება.

მემბრანული პროცესების განხორციელების პრინციპი, სადაც მამოძრავებელ ძალად გამოყენებულია ელექტრული დენი, ცნობილი იყო ჯერ კიდევ XX საუკუნის დასაწყისში. მაგრამ მათი აღიარება, განსაკუთრებით ელექტროდიალიზის როგორც ეფექტური სამრეწველო მეთოდის, მოხდა 1940 წელს *მეიერისა და სტრაუსის* მიერ მრავალსექციური ელექტროდიალიზატორის გამოგონების შემდეგ. ელექტროენერჯის ხარჯი ასეთ მრავალსექციურ აპარატში აღმოჩნდა გაცილებით მცირე ერთსაფეხურიან პროცესთან შედარებით. გაზები და კოროზიის გამომწვევი ნივთიერებები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ელექტროლიზის დროს, ლოკალიზირდებიან მრავალსექციური აპარატის მხოლოდ ბოლო სექციებში.

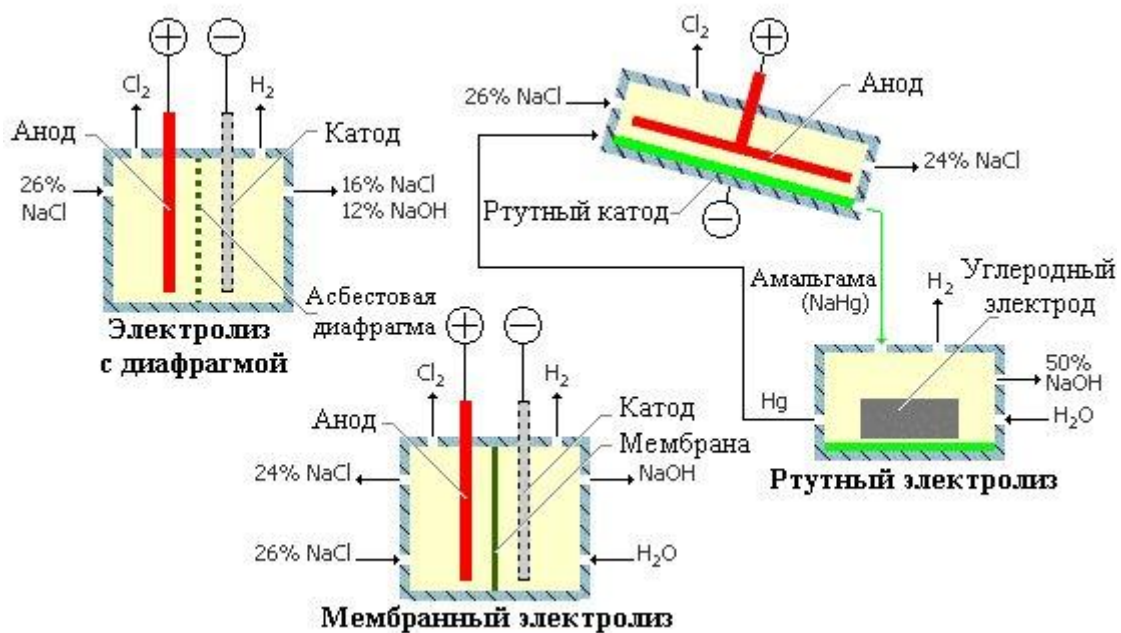
ცნობილია რამდენიმე ძირითადი ელექტრომემბრანული პროცესი, რომელიც

იძლევა საშუალებას მოვიცვათ ამოცანების ფართო სპექტრი, რაც დაკავშირებულია სხვადასხვა ნივთიერების გაწმენდა, გამოყოფა, მიღებასა და დაყოფასთან.

ელექტრომემბრანულ პროცესებს მიეკუთვნება: ელექტროდიალიზი იონმიმოცვლითი მემბრანებით, ბიპოლარული მემბრანებით, მემბრანული ელექტროლიზი, ელექტროდეიონიზაცია, ელექტროსორბცია, ელექტროგრაფიტაცია (ელექტროდალექვა),

სატრანსპორტო განმუხტვა, უწყვეტი იონური გაცვლა, ელექტროფორები, გაცვლის რეაქცია.

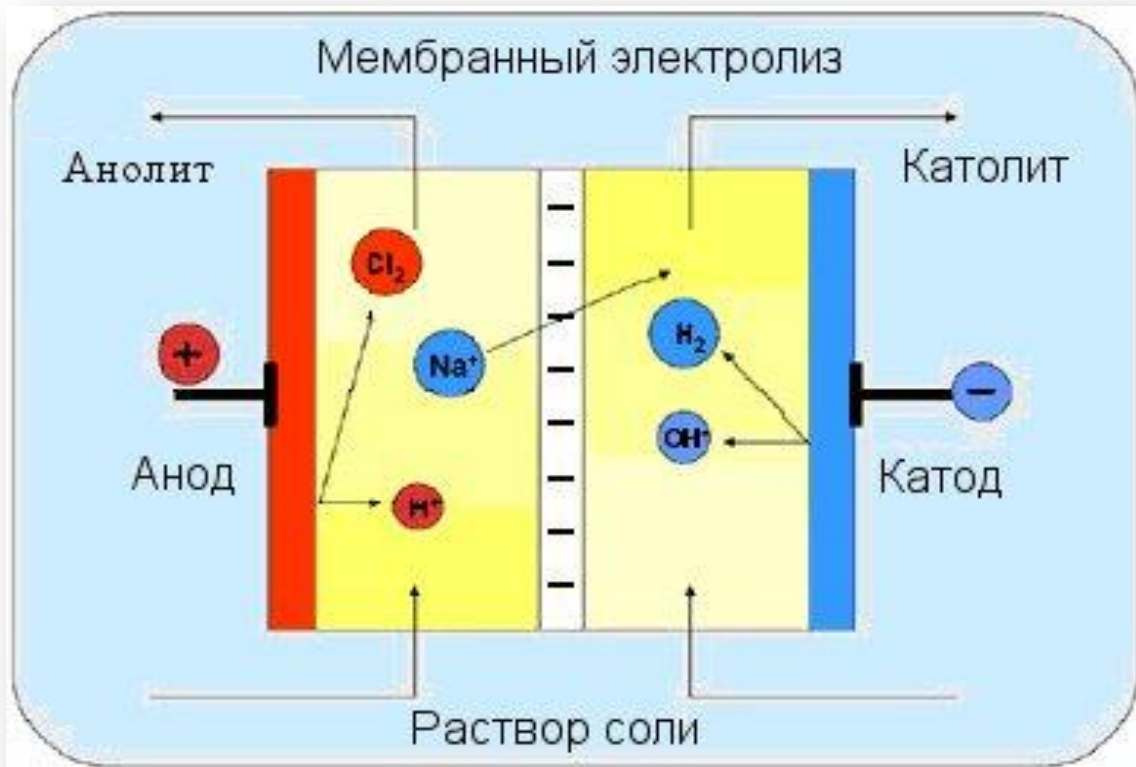
1.1 ელექტროლიზი - ეს არის ქლორისა და ნატრიუმის ტუტის მიღების სამრეწველო მეთოდი ნატრიუმის ქლორიდის წყალხსნარიდან. *მემბრანულ ელექტროლიზში* ანოდური და კათოდური კამერები გაყოფილია მემბრანით. მარილხსნარის კონცენტრატი მიეწოდება



ნახ.1 ქლორ-ტუტოვანი ელექტროლიზის ძირითადი მეთოდების სქემები [1].

ანოდურ ნაწილს და ამ დროს მხოლოდ ნატრიუმის იონებს შეუძლიათ მემბრანაში გადასვლა და ხელსაწყოს კათოდურ ნაწილში მოხვედრა, რომელშიც მოთავსებულია სუფთა წყალი. ყოველივე ამის გამო, მიღებული ტუტე შეიცავს მცირე რაოდენობით მარილს (0,01 – 0,04 %), განსხვავებით დიაფრაგმული ელექტროლიზისაგან (1,5-3,5 % მას.). მემბრანული ელექტროლიზის დროს მიღებული ტუტის ხსნარის აორთქლებით მიიღება 50% ტუტე [2].

ასევე, შესაძლებელია მარილის კონცენტრატის შეყვანა ხელსაწყოს ორივე ნაწილში. ამ შემთხვევაში ნატრიუმის იონები მემბრანაში გავლენ კათოდის, ხოლო ქლორის იონები - ანოდის მიმართულებით და ხელსაწყოს ანოდურ ნაწილში წარმოიქმნება აირადი ქლორი[3].

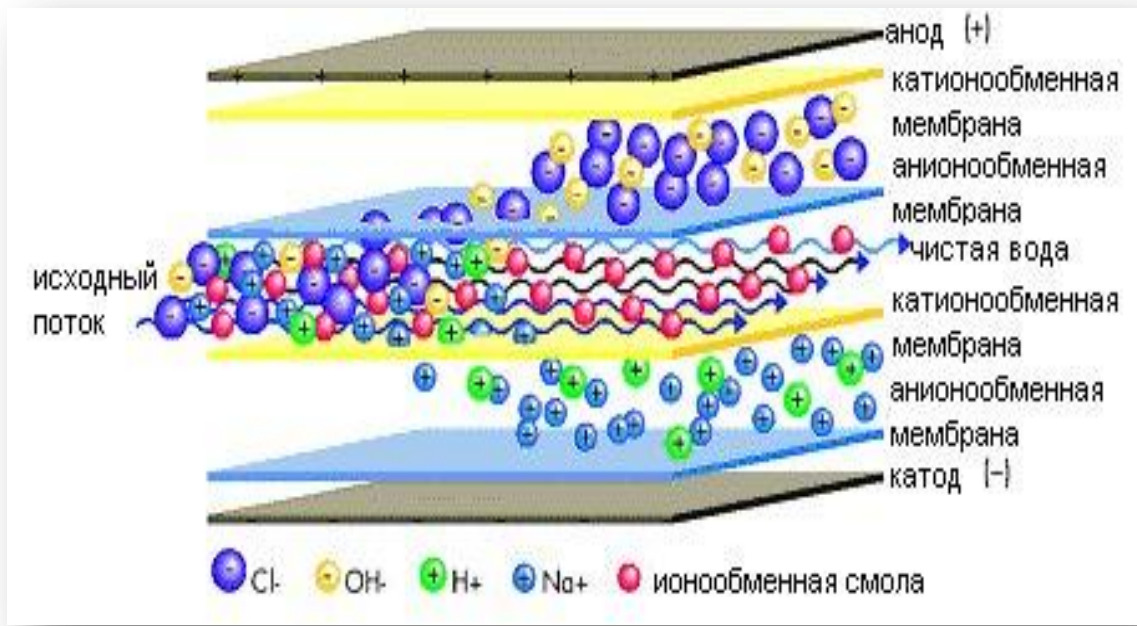


ნახ. 2 მემბრანული ელექტროლიზის პროცესი. .

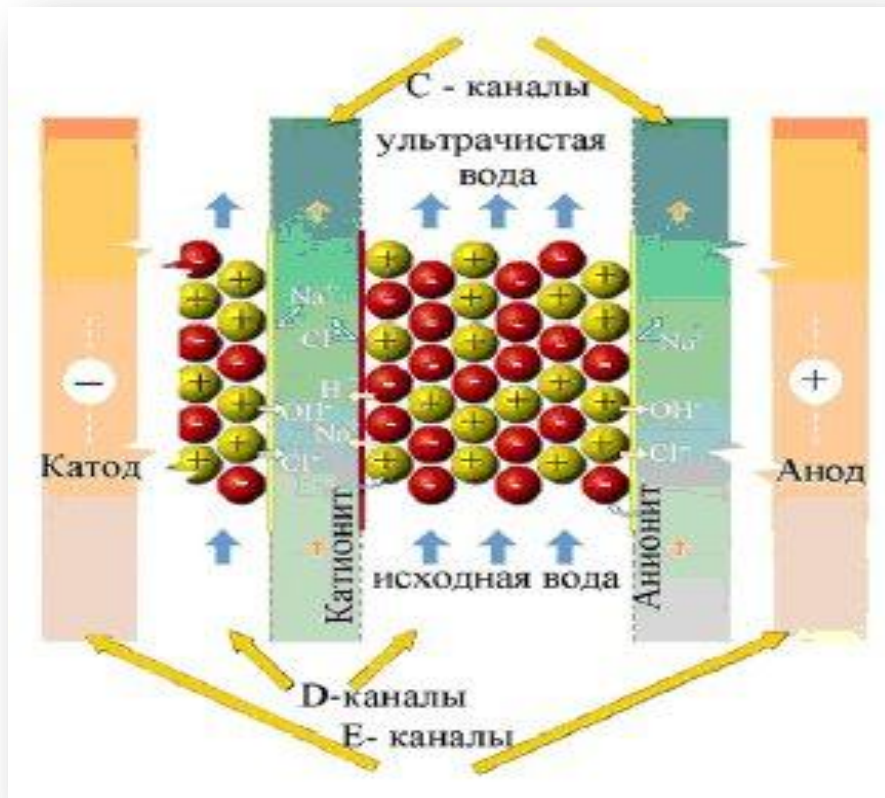
1.2 ელექტროდეიონიზაცია (ნახ.3,4) - ეს არის წყლის გაწმენდის ელექტრომემბრანული პროცესი, რომელიც აერთიანებს იონიტებისა და იონმიმოცვლითი მემბრანების თვისებებს. ელექტროდეიონიზაცია შესაძლებლობას იძლევა მივიღოთ დიდი რაოდენობით მაღალი ხარისხის სუფთა წყალი, რომლის დროსაც იონმიმოცვლითი მასალების რეგენერაციისათვის საჭირო რეაგენტების ხარჯი, ძალზე მცირეა. ამ პროცესის დროს გამოყენებული აპარატი შედგება მონაცვლეობით განლაგებული კათიონ - და ანიონმიმოცვლითი მემბრანებისაგან [4].

მემბრანები ისეა განლაგებული, რომ წარმოქმნიან პარალელურ კამერებს, რომლებიც შეზღუდულნი არიან ორივე მხრიდან ელექტროდებით. საწყისი ხსნარი მიეწოდება გაუმარილები კამერებს. კათიონიტური მემბრანა გაუმარილები კამერას გამოყოფს დაკონცენტრირების კამერისაგან. მუდმივი ელექტრული დენი გადის ყველა კამერაში და იწვევს იონების მიგრაციას- გადაადგილებას შესაბამისი ელექტროდების მიმართულებით.

ელექტრული დენი შესაძლებელს ხდის იონების უწყვეტ გადაადგილებას იონიტში (იონმიმოცვლით ფისში), ანუ საწყისი წყლის ნაკადიდან - კონცენტრატის ნაკადში.



ნახ.3 ელექტროდიონიზაციის პრინციპი.



ნახ.4 ელექტროდიონიზაციის პროცესის სქემა

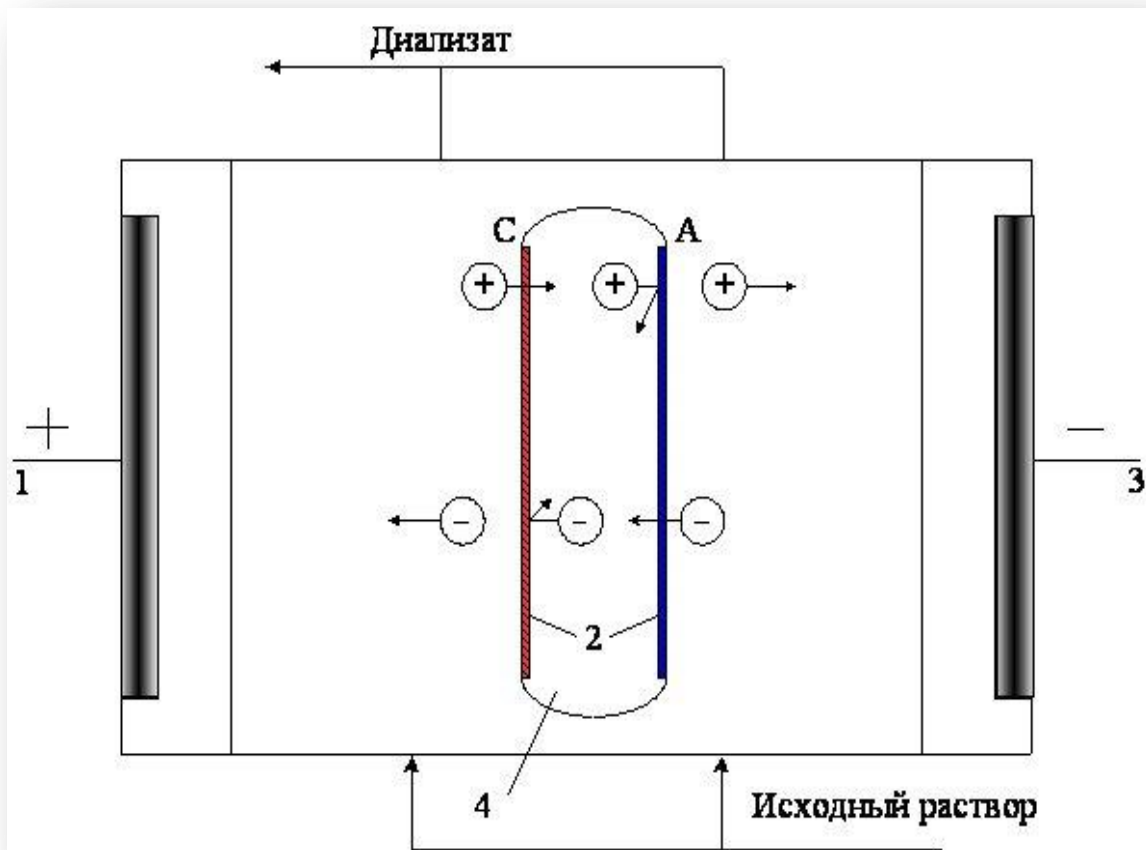
ელექტრული დენი ასევე შლის წყლის მოლეკულებს წყალბადისა და ჰიდროქსილის იონებად. კონცენტრატი რეცირკულირებს დაკონცენტრირების კამერებში და ხელს უწყობს ნაკადის ტურბულიზაციას მემბრანის ზედაპირზე და მისი ელექტროგამტარობის შენარჩუნებას. გაუმარილების კამერები, რომელშიც მიეწოდება საწყისი ხსნარი, შევსებულია ერთნაირი ზომის სფერული ფორმის იონიტით. იონები, რომლებიც ხვდებიან გაუმარილების კამერაში გადიან იონიტში და იონმიმოცვლით მემბრანაში ელექტრული პოტენციალის გრადიენტის მიმართულებით და ხვდებიან დაკონცენტრირების კამერაში. იონების კონცენტრაცია გაუმარილების კამერაში დაიწყებს შემცირებას, ხოლო დაკონცენტრირების კამერაში - გაზრდას, სადაც წარმოიქმნება კონცენტრატი. *გაუმარილების კამერაში იონიტების გამოყენება - ეს ელექტროდიონიზაციის პროცესის მნიშვნელოვანი მხარეა.* იონიტის შრის ელექტრული წინააღმდეგობა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე განზავებული ხსნარის, რომელიც მიეწოდება ელექტროდიონიზატორს, ამიტომ იონიტებით შევსებული გაუმარილების კამერები ამარტივებენ იონურ გადატანას იონიტის შრის გასწვრივ, მაღალი წინააღმდეგობის მქონე ძლიერ გაუმარილებული ხსნარის შემთხვევაშიც კი. ელექტროდიონიზაციის პროცესის მუშა წნევა შეადგენს 1,5- 4,0 ატმ. ხოლო საწყისი წყლის ნაკადის ტემპერატურა - 5⁰-დან 35-45 °C.

ელექტროდიონიზაცია წარმოადგენს ეკოლოგიურად სუფთა პროცესს, ვინაიდან წარმოქმნილი ნაკადების რაოდენობა მინიმალურია, ხოლო კონცენტრატი საერთო მარილშემცველობის მიხედვით საწყის ხსნარზე უფრო სუფთაა და მისი გამოყენება ასევეა შესაძლებელი.

1.3 ელექტროსორბცია (ნახ.5) - ეს პროცესი ელექტროდიალიზის მსგავსია, მაგრამ მისგან განსხვავებით არ არის უწყვეტი. ამ პროცესისათვის მემბრანების წყობა შედგება მემბრანული ტომარებისაგან, ამასთანავე ტომარის ერთი მხარე ავლენს კათიონ - , მეორე კი - ანიონმიმოცვლით თვისებებს [5].

ელექტრული დენის მიწოდების დროს საწყის ხსნარში მყოფი კათიონები გადადიან ტომარაში მისი კათიონმიმოცვლითი მხრიდან, ხოლო ანიონები კი - ტომარის მეორე მხრიდან. ტომარის გარეთ მყოფი ხსნარი ღარიბდება მარილებისგან ხოლო ხსნარი ტომარის შიგნით კონცენტრირდება. კონცენტრატის ტომრიდან გამოყვანა შესაძლებელია მიწოდებული მუდმივი დენის მიმართულების შეცვლით საპირისპიროზე. ამ პროცესში, განსხვავებით ელექტროდიალიზისაგან, არ არის საჭირო ხსნარის გამანაწილებელი

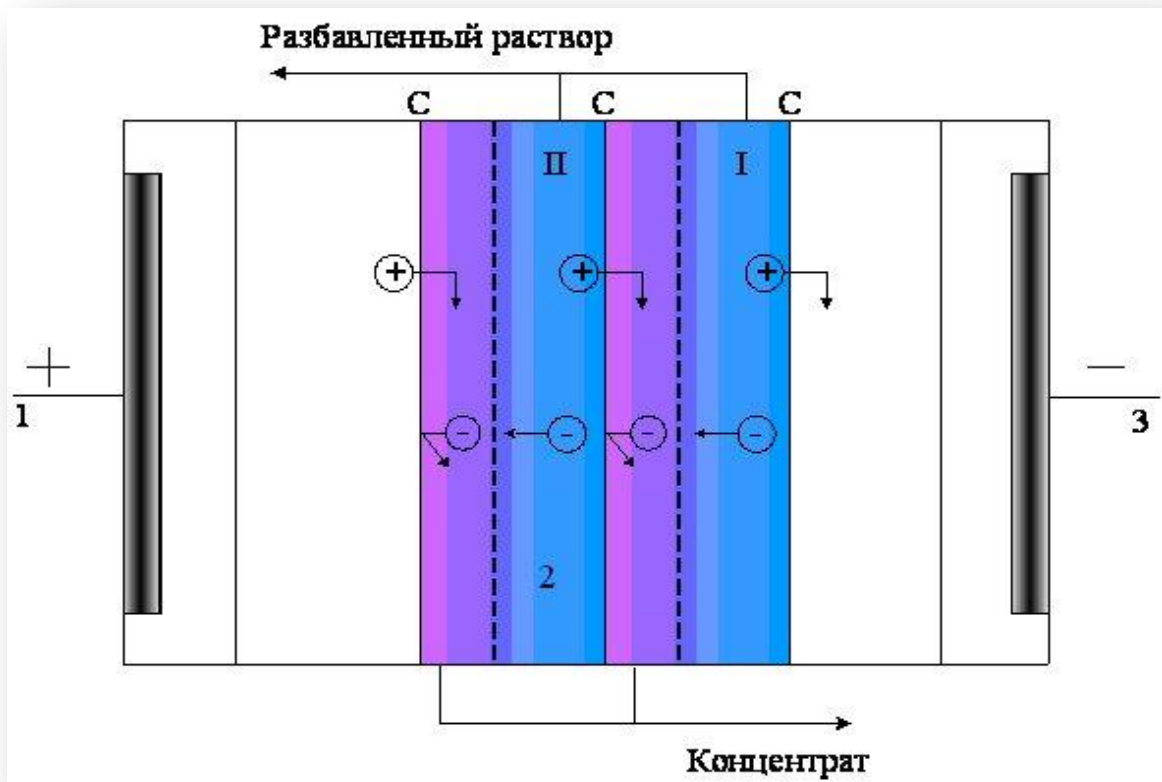
ჩარჩოებისა და კოლექტორების არსებობა



ნახ.5 ელექტროსორბციის პროცესის სქემა : C – კათიონმიმოცვლითი მემბრანა; A – ანიონმიმოცვლითი მემბრანა 1 – ანოდი
2 – განმეორებადი ელემენტი; 3 –კათოდი; 4 – მემბრანული უჯრედი.

1.4 ელექტროგრაფიტაცია (ელექტროდალექვა) (ნახ.6). სხვა ელექტრომემბრანულ პროცესებთან შედარებით ეს პროცესი მომგებიანად გამოირჩევა კონსტრუქციის სიმარტივით, ექსპლუატაციის სიმსუბუქით და მცირე ენერგოხარჯებით. მაგრამ გაუმარილების სხვა პროცესებისგან განსხვავებით ხასიათდება დაყოფის დაბალი სიჩქარით. ნახ.6 -ზე ნაკადი მიმართულია სქემის გეგმის პერპენდიკულარულად [6].

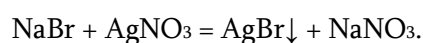
1.5 სატრანსპორტო განმუხტვა (ნახ.7) განსაკუთრებით მისაღებია რძის შრატის დემინერალიზაციის დროს. ამ დროს პროტეინების არასასურველი დაშლა, გამოწვეული pH - ის ცვლილებით დაიყვანება მინიმუმამდე, ხოლო პროტეინები, რომლებსაც აქვთ დიდი ელექტრული მუხტი, შეიძლება გამოვყოთ შესაბამისი ნეიტრალური მემბრანების გამოყენებით.



ნახ. 6 ელექტროგრავეიტაციული დანადგარი : C –კათიონმიმოცვლითი მემბრანა;
 1 - ანოდი; 2 –განმეორებადი ელემენტი; 3-კათოდი.

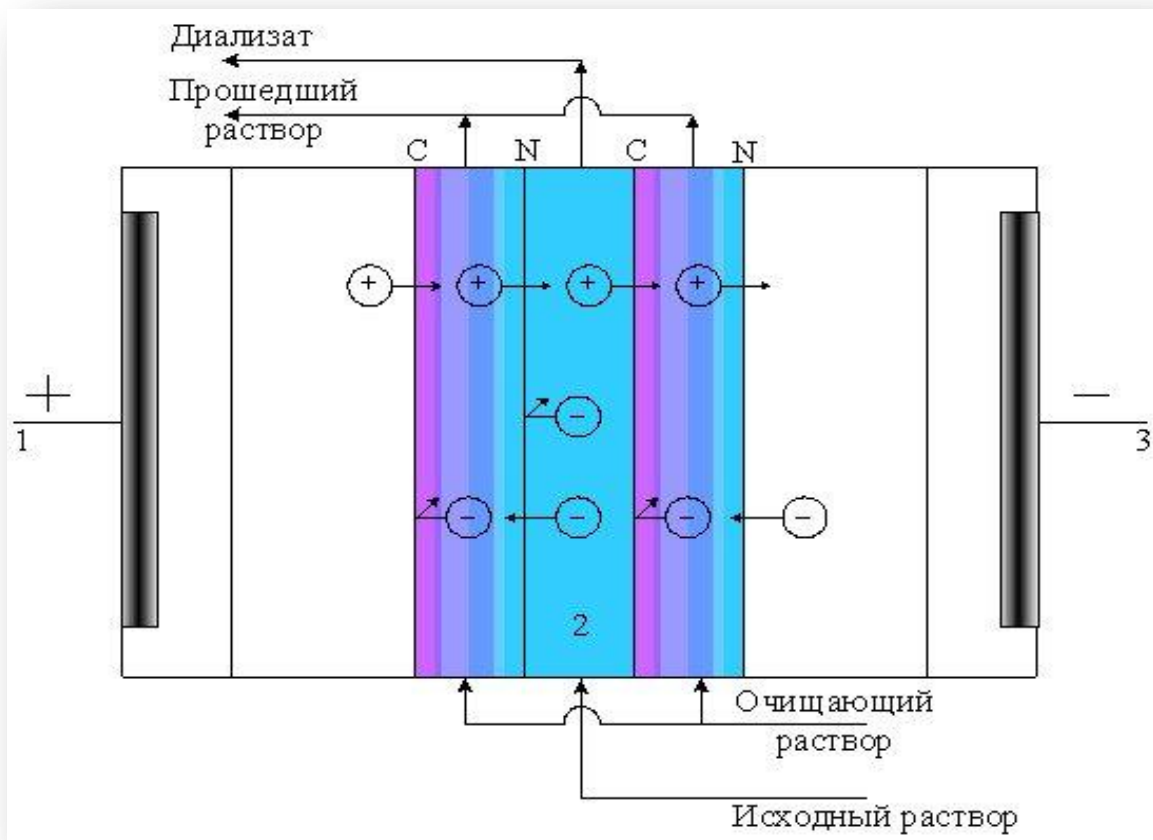
1.6 უწყვეტი იონური მიმოცვლა. ამ პროცესის განხორციელებისათვის იყენებენ მემბრანულ წყობას, რომელიც შედგება მხოლოდ კათიონ - ან ანიონმიმოცვლითი მემბრანებისაგან. მაგალითად, ციტრუსოვანი წვენის ნეიტრალიზაციას თან ახლავს დაუმუშავებელ წვენში ციტრატ იონის უწყვეტი ჩანაცვლება ჰიდროქსილის იონებით გასაწმენდი ხსნარიდან, რომლებიც წარმოიქმნებიან ანიონმიმოცვლითი მემბრანების წყობის დახმარებით.

1.7 მიმოცვლის რეაქცია (ნახ.8). ეს არის ორ ელექტროლიტს შორის მიმოცვლის რეაქცია, მაგალითად:



ამ ტიპის რეაქცია შეიძლება უწყვეტად ჩავატაროთ ელექტროდიალიზურ აპარატში, რომელიც შედგება გარკვეული თანმიმდევრობით განლაგებული კათიონ- და ანიონმიმოცვლითი მემბრანებისაგან. ბრომის იონი NaBr -ში, ელექტროენერჯის მოქმედებით გადაიტანება KNO₃ და NaCl, KCl-დან და NaNO₃ და ა.შ [5]. ანიონტური

მემბრანით ქელატინის ემულსიის ნაკადში. ვერცხლის იონი კათიონიკური მემბრანით გადაიტანება ემულსიურ ნაკადში მეზობელი სექციიდან AgNO_3 -ის ხსნრით.

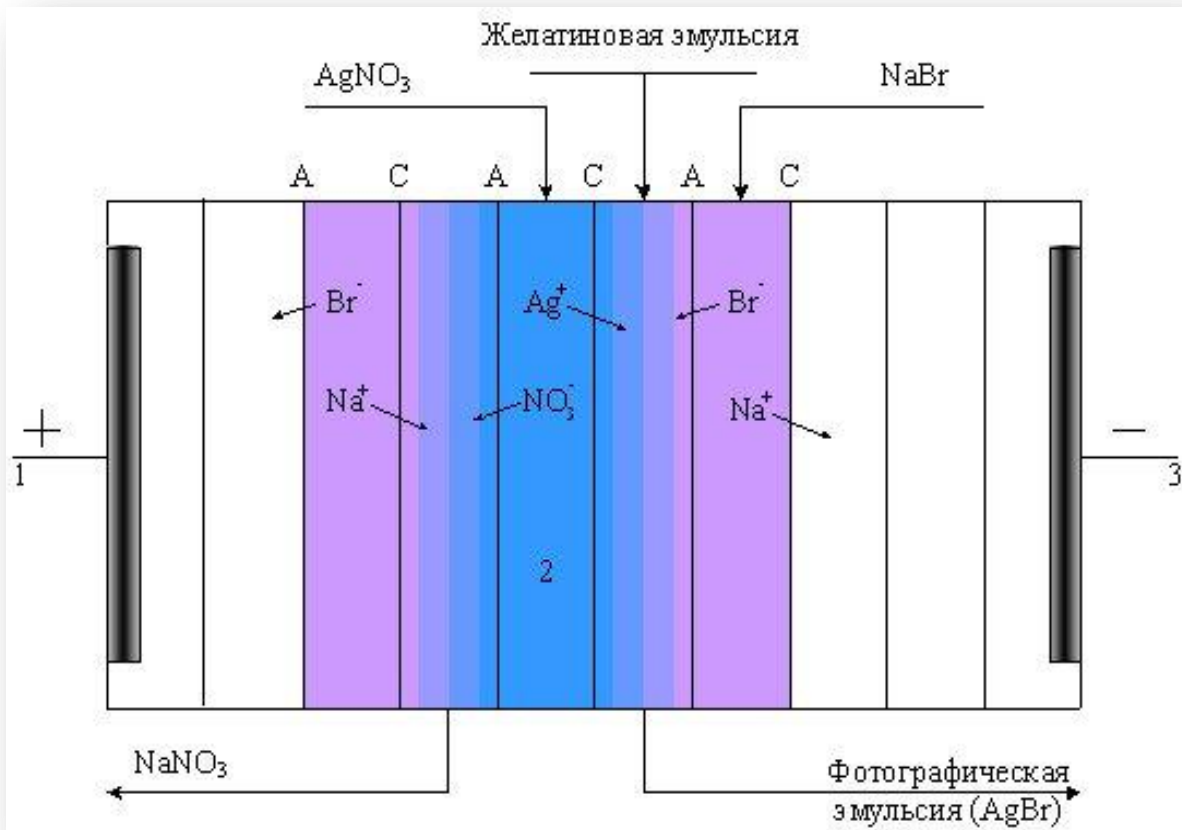


ნახ.7 სატრანსპორტო განმუხტვის პროცესის სქემა: C – კათიონმიმოცვლითი მემბრანა, N – ნეიტრალური მემბრანა 1 –ანოდი; 2 –განმეორებადი ელემენტი ; 3 –კათოდი.

ამგვარად, ფოტოგრაფიული AgBr -ის ემულსია, თავისუფალი სხვა გარეშე ელექტროლიტებისაგან, მოცემულ აპარატში შეიძლება მივიღოთ უწყვეტად. ანალოგიურად შეიძლება განხორციელდეს სხვა მიმოცვლითი რეაქციებიც, ისეთი როგორცაა NaOH და CaCl_2 მიღება NaCl და Ca(OH)_2 -დან: KNO_3 და NaCl მიღება KCl და NaNO_3 და ა.შ.

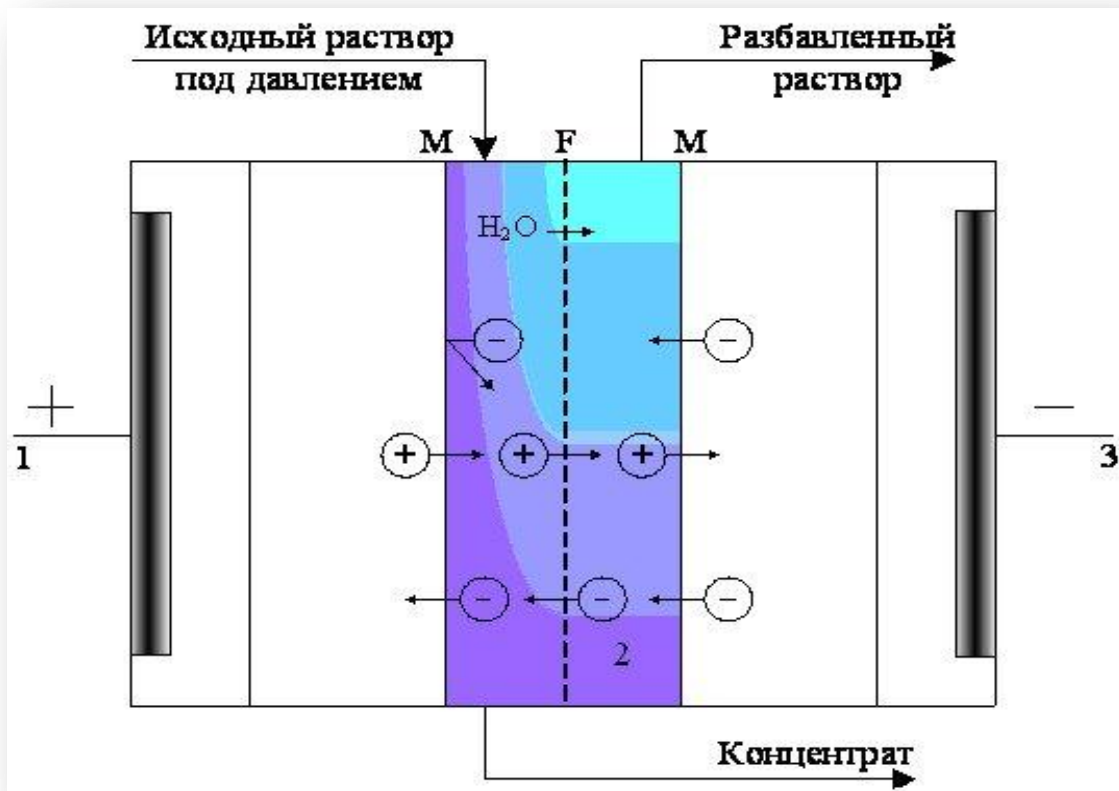
1.8 ელექტროფორეზი (ნახ.9) - ეს დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების (კოლოიდურის ან ცილოვანი ხსნარების) გადაადგილებაა გარე ელექტრული ველის გავლენით თხევად ან აირად ფაზაში. ელექტროფორეზის მეშვეობით შესაძლებელია ზედაპირის დაფარვა

წვრილი ნაწილაკებით, რომლებიც აღწევენ ჩაღრმავებებში და ფორებში. განასხვავებენ ელექტროფორეზის ორ სახეობას; კატაფორეზს - როცა დასამუშავებელ ზედაპირს აქვს უარყოფითი ელექტრული მუხტი (ანუ მიერთებულია დენის წყაროს უარყოფით კონტაქტთან და წარმოადგენს კათოდს) და ანაფორეზს - როცა ზედაპირის მუხტი დადებითია.



ნახ.8 მიმოცვლითი რეაქციის საფუძველზე ფოტოგრაფიული ემულსიის მომზადების ხელსაწყო სქემა : C – კათიონმიმოცვლითი მემბრანა; A – ანიონმიმოცვლითი მემბრანა; 1 –ანოდი; 2 – განმეორებადი ელემენტი; 3 –კათოდი.

ელექტროფორეზს იყენებენ ფიზიოთერაპიაში, ქიმიურ მრეწველობაში, მანქანების დებვაში, კვამლის და ნისლის დასაღეკად, ხსნართა შედგენილობის შესასწავლად და სხვა. ელექტროფორეზი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მეთოდია ნივთიერებათა კომპონენტების დაყოფისა და ანალიზისა ქიმიაში, ბიოქიმიაში და მოლეკულურ ბიოლოგიაში.

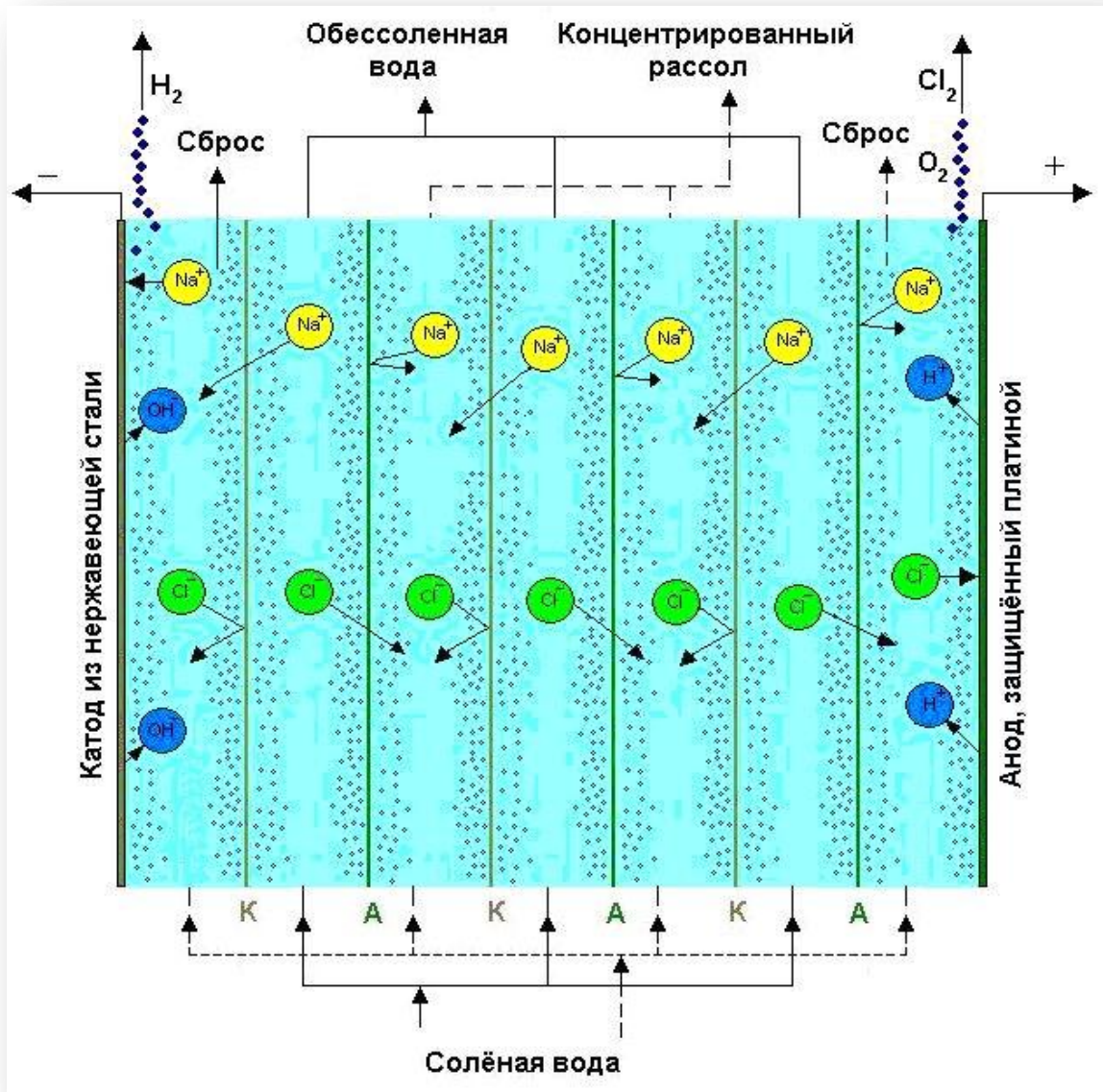


ნახ.9 პროცესის სქემა იძულებითი ელექტროფორეტიული ნაკადით: M – მემბრანა; F – ფილტრი; 1 – ანოდი; 2 – განმეორებადი ელემენტი; 3 – კათოდი.

1.9 ელექტროდიალიზი.

ელექტროდიალიზი - ეს მემბრანით იონების გადატანის პროცესია, მემბრანაზე მოდებული ელექტრული ველის მოქმედებით. ასეთი გადატანა შეიძლება განხორციელდეს კონცენტრაციული გრადიენტის საპირისპიროდ.

ელექტრული ველის მოდება იწვევს გარკვეულ სიძნელებებს, რაც დაკავშირებულია ელექტროდებზე მიმდინარე რეაქციებთან, ანუ კათოდთან ტუტის და ანოდთან მჟავის წარმოქმნასთან. ხსნარში ქლორიდების არსებობისას ანოდზე ასევე წარმოიქმნება ქლორი (ნახ.10). ამასთან დაკავშირებით აუცილებელია რიგი ღონისძიებების გატარება ამ ნივთიერებების შემცველი სითხეების აპარატიდან გამოსაყვანად. ზოგიერთ შემთხვევაში ხსნარები ელექტროდული კამერებიდან შეიძლება კვლავ დაბრუნებული იყოს პროცესში (pH -ის კონტროლით ან მის გარეშე).



ნახ. 10 ელექტროდიალიზური პროცესის სქემა

ელექტროდიალიზის სფეროში ჩატარებული ადრეული კვლევები ხორციელდებოდა

სამკამერიან ხელსაწყოში არასელექტიური მემბრანების გამოყენებით. ამ დროს გაუმარილებული წყალი მიიღებოდა შუა კამერაში, მაგრამ ხსნარს ჰქონდა მჟავა რეაქცია H^+ იონების დაგროვების გამო. ეს იყო ასეთი სისტემის მთავარი უარყოფითი მხარე. დიდი ხნის განმავლობაში არ ეგონათ, რომ ამ სიძნელის დაძლევა შეიძლებოდა იონმიმოცვლითი მემბრანებით. 1950 წლამდე არ არსებობდა იონმიმოცვლითი მემბრანების სამრეწველო წარმოება. სამკამერიან ხელსაწყოში არასელექტიური მემბრანებით, გაუმარილების კამერაში მჟავის წარმოქმნის გარდა, პროცესი მიდის დენის მიხედვით დაბალი

გამოსავლიანობით (ი), გამოსავლიანობა ტოლია მოცილებული მარილის გრამ-ექვივალენტების რიცხვის ფარდობისა, გატარებული ელექტრობის რიცხვთან გამოსახული ფარადეებში.

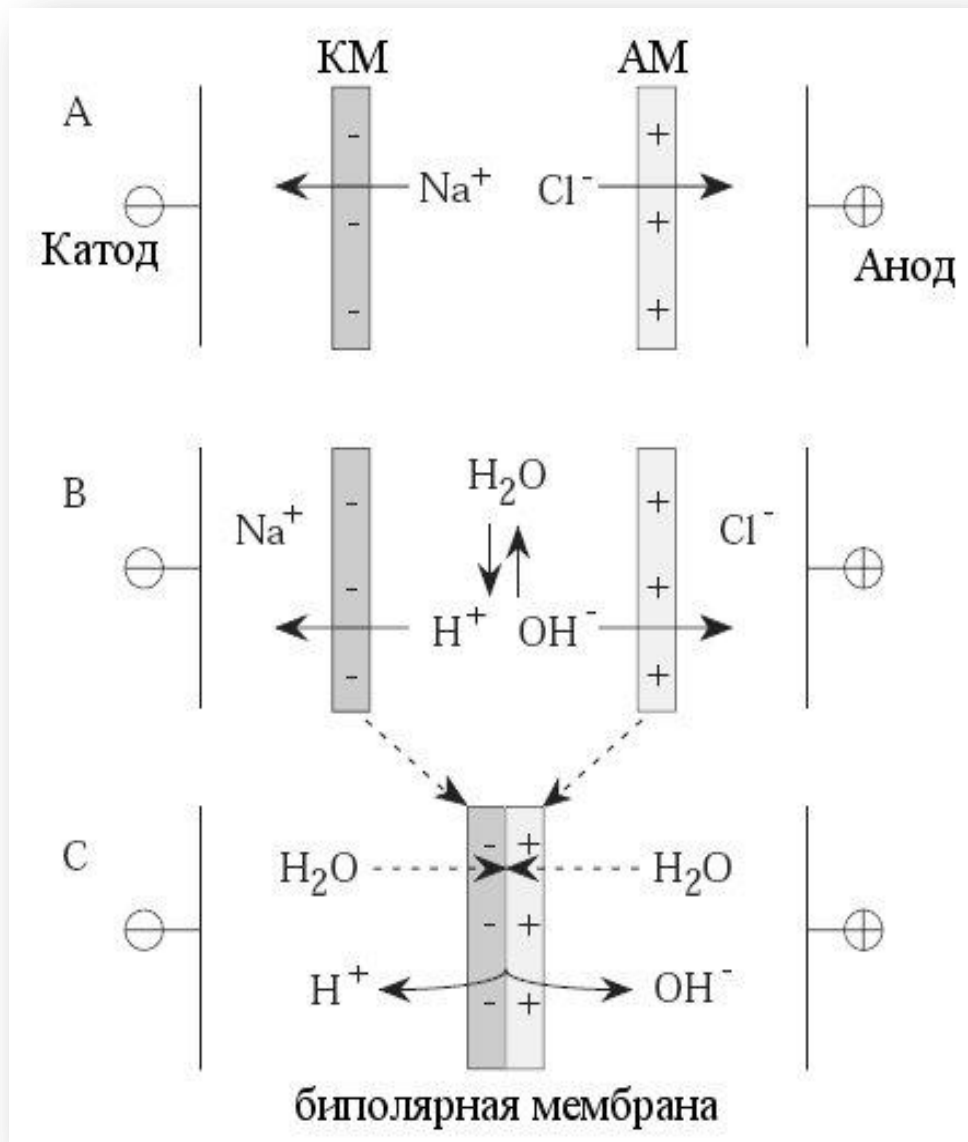
იონიტური მემბრანებით ელექტროდიალიზის პროცესის მთავარი უპირატესობა იმაშია, რომ ყველა იონი, რომელიც მოცილებულია გაუმარილების კამერიდან, არ არის აუცილებელი გამოიყოს ელექტროდულ კამერებში. მათ შეუძლიათ მოგროვდნენ დაკონცენტრირების კამერებში, რომლებიც ესაზღვრებიან გაუმარილების კამერებს. ეს იდეა უდევს საფუძვლად მრავალკამერიან ელექტროდიალიზატორს, რომელიც შემოთავაზებული იყო 1940 წელს *მეიერისა და შტრაუსის მიერ*. კამერების რიცხვი, რომელიც შეიძლება მოთავსდეს ორ ელექტროდს შორის, შეზღუდულია მხოლოდ ინჟინერული მოსაზრებებით, როგორცაა: აპარატის ზომები, სისტემის მდგრადობა, ჰიდროდინამიური ფაქტორი, რომელიც დაკავშირებულია სითხის თანაბარ განაწილებაზე ყველა კამერაში და მემბრანების ზედაპირზე, მაქსიმალურად შესაძლებელი ძაბვის ვარდნა ხელსაწყოში და სხვა [5]. ელექტროდიალიზურ აპარატში გამოიყენება მემბრანების ორი ტიპი, სელექტიურად გამტარი კათიონებისათვის - კათიონიტური მემბრანები და სელექტიურად გამტარი ანიონებისათვის - ანიონიტური მემბრანები. ისინი მოთავსებული არიან ორ ელექტროდს შორის. საკმაოდ მაღალი გარე ელექტრული პოტენციალის დროს, ელექტრულ დენს გადააქვს კათიონები საწყისი ხსნარიდან კათიონმიმოცვლითი მემბრანით კონცენტრატის ნაკადში. ანიონები მოძრაობენ საპირისპირო მიმართულებით და გადაიტანებიან კონცენტრატის ნაკადში ანიონმიმოცვლითი მემბრანით. მეორეს მხრივ, კათიონები კონცენტრატის ნაკადში კავდებიან ანიონმიმოცვლითი მემბრანით კათოდის მხრიდან.

ამგვარად, საწყისი ხსნარი იწმინდება მასში გახსნილი ელექტროლიტისაგან, კონცენტრატში გადასული იონები კი რჩებიან მასში [5].

1.9.1 რევერსიული ელექტროდიალიზი - იგივე პროცესია, მხოლოდ გარკვეული დროის შემდეგ მიმდინარეობს მუდმივი დენის პოლარობის შეცვლით. ამ შემთხვევაში გაუმარილებული წყლისა და კონცენტრატის ნაკადები იცვლებიან ადგილებით. ეს უზრუნველყოფს მემბრანების თვითგასუფთავებას, ზრდის მარილების მოცილების შესაძლებლობას საწყისი ხსნარიდან 90-95% -ით.

1.9.2 ელექტროდიალიზი ბიპოლარული მემბრანებით

ელექტროლიზის ძირითადი პროცესები ბიპოლარული მემბრანებით სქემატურად გამოსახულია ნახ. 11-ზე.



ნახ. 11 ბიპოლარული მემბრანის მუშაობის პრინციპი.: AM – ანიონმიმოცვლითი მემბრანა ,
KM – კათიონმიმოცვლითი მემბრანა

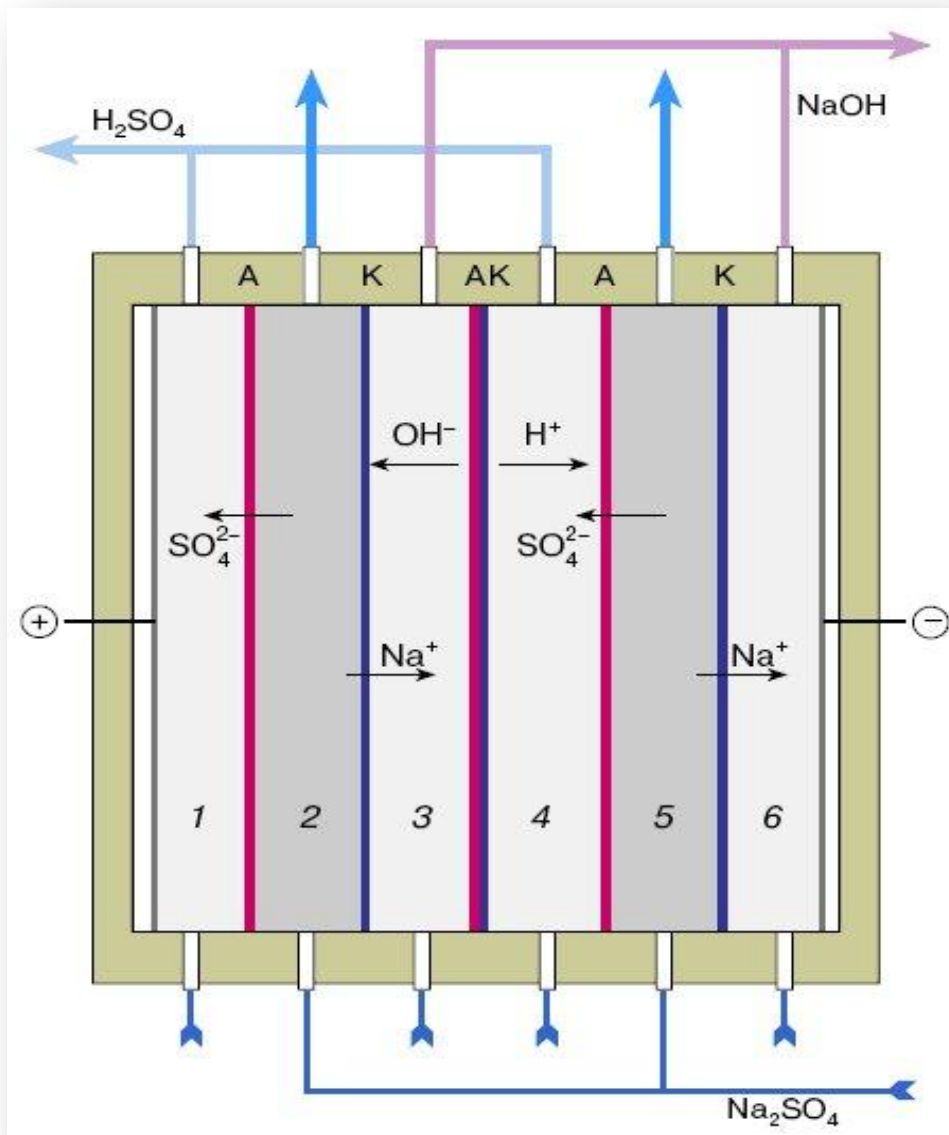
დავუშვათ, რომ კათიონ- და ანიონმიმოცვლითი მემბრანები განლაგებულია ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.11 A -ზე. ელექტრული ველის მოქმედებით ელექტროლიტის იონები, ისევე როგორც ერთფენოვანი მემბრანებით ელექტროდიალიზის დროს, გამოდიან

გაუმარილებს კამერიდან. როცა ამ კამერაში ხსნარიდან მოცილდება მარილის ყველა იონი, ერთადერთ იონებს, რომლებსაც გადააქვთ დენი წარმოადგენენ პროტონები და ჰიდროქსილის იონები. ისინი დეიონიზირებულ წყალში არსებობენ კონცენტრაციით დაახლოებით 10^{-7} მოლი/ლ (ნახ.11 B).

დეიონიზირებული წყლის ელექტროგამტარობა ძალზე მცირეა. იმისათვის, რომ შევამციროთ ორ მემბრანას შორის არსებული ფენის მაღალი ელექტრული წინააღმდეგობა, აუცილებელია ეს მემბრანები განვალაგოთ ერთმანეთთან ძალიან ახლოს, და ამით შევქმნათ ბიპოლარული მემბრანა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ 11 C-ზე. პროტონები და ჰიდროქსილის იონები, მოდებული ელექტრული ველის გავლენით გამოდიან ბიპოლარული მემბრანიდან. ბიპოლარული მემბრანიდან გამოსული ამ იონების აღდგენა ხდება წყლის წონასწორული დისოციაციის გავლენით. მემბრანების შემაერთებელი ფენიდან ამგვარად მოცილებული წყლის შევსება ხდება იონსელექტიური მემბრანების გავლით ამ ფენაში ხსნარიდან დიფუნდირებული წყლის მეშვეობით. ამგვარად, წყლის დისოციაცია მიმდინარეობს გაცილებით უფრო სწრაფად, ვიდრე ეს მოსალოდნელი იყო წყლის უბრალო წონასწორული დისოციაციის შემთხვევაში [7].

ბიპოლარული ელექტროდიალიზის დროს სასურველ პროცესებს წარმოადგენს ანიონების ტრანსპორტი ანიონმიმოცვლითი მემბრანის გავლით, კათიონებისა - კათიონმიმოცვლითი მემბრანის გავლით და ასევე, პროტონებისა და ჰიდროქსილის იონების მიღება ბიპოლარული მემბრანის შემაერთებელ ფენაში. ჰიდროქსილის იონები და პროტონები შესაბამისად, მიემართებიან დადებითად დამუხტული ანოდისაკენ და უარყოფითად დამუხტულ კათოდისაკენ. იდეალურ შემთხვევაში ისინი რჩებიან ბიპოლარული მემბრანის მეზობელ კამერებში და წარმოქმნიან იქ ტუტესა და მჟავას. კონცენტრირებული მჟავა და ტუტე, ასევე განზავებული მარილხსნარი, გროვდება კამერებში და გამოიყვანება აპარატიდან.

მამასადამე, ბიპოლარული მემბრანა აღმოჩნდება კონტაქტში კონცენტრირებულ მჟავასთან კათიონმიმოცვლითი მემბრანის მხრიდან და კონცენტრირებულ ტუტესთან ანიონმიმოცვლითი მემბრანის მხრიდან. თავისი ბუნებიდან გამომდინარე მემბრანები შეიცავენ კო-იონებს (მემბრანაში ფიქსირებული იონების მსგავსი მუხტის მქონე იონები). ისინი ქმნიან იონების არასასურველ ნაკადს, რაც ამცირებს პროცესის ეფექტურობას და იწვევს პროდუქტის დაბინძურებას.



ნახ. 12 გოგირდმჟავისა და ნატრიუმის ტუტის წარმოება ელექტროდილიზით
 ბიპოლარული მემბრანებით : AK - ბიპოლარული მემბრანა; A - ანიონმიმოცვლითი; K -
 კათიონმიმოცვლითი მემბრანები; 1-6 - სექციის ნომრები.

ეს პროცესი ზღუდავს ელექტროდიალიზის გამოყენებას ბიპოლარული მემბრანებით. ბიპოლარული მემბრანებით ელექტროდიალიზის პროცესის გამოყენება, ზესუფთა კონცენტრირებული მჟავისა და ტუტის ხსნარების მისაღებად, როგორც საბოლოო კომერციული პროდუქტის წარმოება, საკმაოდ ძვირია. ამისათვის საჭიროა მაღალხარისხიანი, მაგრამ ძვირი იაპონური ან ამერიკული ბიპოლარული მემბრანების გამოყენება, ან მაღალი ენერგოხარჯების გაწევა იაფი რუსული მემბრანების გამოყენებისას.

და მათი ერთდროული დაკონცენტრირება (აირების სანიტარული გაწმენდა) , მცირედ ხსნადი მჟავების ან ტუტეების (ფუძეების) მისაღებად მათი მარილთა ხსნარებიდან [8].

2. მოხმარებული ელექტროენერჯის გამოთვლა

ზოგადად, ელექტროდიალიზის პროცესზე გაწეული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:

$$W_{სრ} = W_{ელ.დიალიზ} + W_{ტუმბო} \quad (1)$$

სადაც :

- ✓ $W_{ელ.დიალიზ}$ – ელექტროენერჯია, დახარჯული უშუალოდ ელექტროდიალიზზე;
- ✓ $W_{ტუმბო}$ – ელექტროენერჯის ჯამი, მოხმარებულ ტუმბოებზე;

$$W_{ტუმბ.} = W_{გადაქაზ} + W_{კამ.} \quad (2)$$

სადაც :

- ✓ $W_{გადაქაზ}$ – ენერჯია, მოხმარებული ხსნარების გადაქაჩვაზე;
- ✓ $W_{კამ.}$ – ენერჯია, დახარჯული კამერების გარეცხვაზე;

რეალური პროცესის განხორციელების დროს სქემებში შეიძლება გამოყენებული იყოს რამდენიმე (ზოგჯერ 4-მდე) ტუმბო წყლის გადასაქაჩად, მაგალითად, ცირკულაციურ სქემებში. ამგვარად, შეიძლება ჩავწერთ:

$$W_{გადაქაზ.} = W_{წყ.გადაქაზ.} + W_{ტექნ.სქ.რეალ.}, \quad (3)$$

სადაც:

- ✓ $W_{წყ.გადაქაზ.}$ – ელექტროენერჯია, რომელიც იხარჯება ტუმბოებით წყლის გადაქაჩვაზე აპარატში ;
- ✓ $W_{ტექნ.სქ.რეალ.}$ – ელექტროენერჯია, დახარჯული ტექნოლოგიური სქემის რეალიზაციაზე.

დამხმარე ტუმბოების ელექტროენერგია აიღება ცნობარებიდან ან საპასპორტო მონაცემებიდან. გადამქაჩავი ტუმბოების ელექტროენერგია დამოკიდებულია აპარატის კონსტრუქციულ თავისებურებებზე, ჩარჩოების კონფიგურაციაზე და მის სისქეზე. როგორც წესი, ხსნარის გადაქაჩვაზე ელექტროენერგიის ხარჯი ($W_{\text{გადაქაჩ}}$) მცირეა და იშვიათად აღემატება 1-1,5 კვტ. სთ/ მ³ ხსნარზე.

ელექტროენერგიის ხარჯი კამერების გარეცხვაზე ($W_{\text{კამ}}$) მცირეა და აპარატებისათვის წარმადობით 15 მ³/სთ არ აღემატება 0,4 კვტ.სთ / მ³. შესაძლებელია აპარატის ისეთი კონსტრუქციები, სადაც კამერების გარეცხვა ხორციელდება ან დიალიზატით ან კონცენტრატით. მაშინ ელექტროენერგია საერთოდ არ იხარჯება კამერების გარეცხვაზე . ელექტროენერგიის ხარჯი ძირითადად მოდის ($W_{\text{ელ.დიაზ}}$) მარილების გამოყოფაზე და შედგება ყველაზე ცოტა ორი შემადგენელისაგან

$$W_{\text{ელ.დიალიზ.}} = W_{\text{გაუმარ.}} + W_{\text{პარაზ დანაკ.}}, \quad (4)$$

ელექტროდიალიზზე დახარჯული ელექტროენერგია შედგება სასარგებლო შემადგენელისაგან და ე.წ. „პარაზიტული“ დანაკარგებისაგან, როცა ელექტროენერგია მემბრანის ავლით სხვა გზით გაედინება. ძირითადად ენერგია იკარგება დაკონცენტრირების კამერიდან, რომლის თავიდან აცილება აპარატის კონსტრუქციიდან გამომდინარე შეუძლებელია. ამ დროს ელექტროენერგიის მინიმალური დანაკარგი აღწევს 7 %. მრავალკამერიანი ელექტროდიალიზური აპარატების შექმნამ და ექსპლუატაციამ მიგვიყვანა ორ, თითქოს და პარადოქსალურ წესამდე:

- ✓ ელექტროდიალიზის დროს მუშაობს მხოლოდ დენი;
- ✓ ერთ ელექტროდიალიზურ კამერაზე ძაბვა ტოლია 1,5 ვ (სხვადასხვა მონაცემებით – 1,3 -დან 2,5 ვ-მდე).

3. ელექტრომემბრანულ პროცესებში გამოყენებული მემბრანები

სინთეზური პოლიმერულ მემბრანები და მემბრანული პროცესები შეისწავლება უკვე 100 წელზე მეტია. მაგრამ, მხოლოდ 40 წლის წინ, როცა სინთეზურმა მემბრანებმა შეიძინეს კომერციული მასალების სტატუსი, შესაძლებელი გახდა მათი ტექნიკური შესაძლებლობების რეალიზაცია. დღეისათვის ცნობილია მემბრანების გამოყენების ოთხი ძირითადი სფერო:

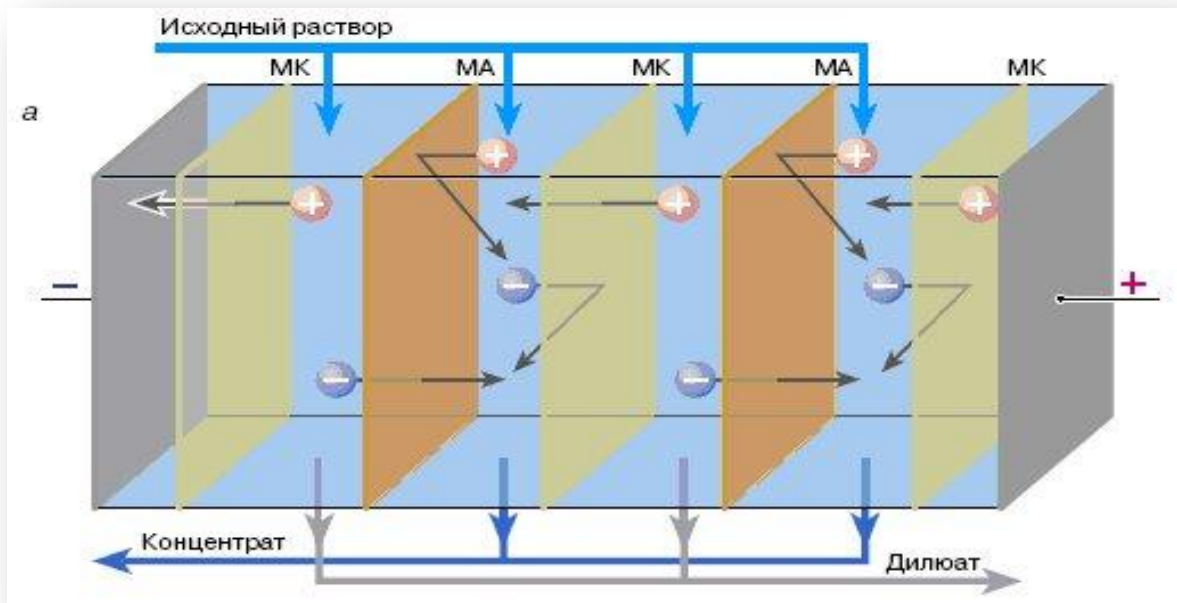
- ✓ ნივთიერებათა დაყოფის პროცესები: მიკროფილტრაცია, ულტრაფილტრაცია, უკუოსმოსი, გაზების დაყოფა, პერვაპორაცია, დიალიზი და ელექტროდიალიზი;
- ✓ მასაგადაცემის კონტროლირებადი სისტემები, დოზირებული წამლების შეყვანისათვის ან სასუქებისა და პესტიციდების შეტანისათვის ნიადაგში ;
- ✓ მემბრანული ხსნარები: ფერმენტული და კატალიზური, ბიოსენსორული მოწყობილობები - და ხელოვნური ორგანოების მასალები;
- ✓ მემბრანები ენერგოდაზოგვისა და კონვერტაციის სისტემებში: საწვავის ელემენტებსა და ელექტროლიზორებში.

ეს მცირე ჩამონათვალიც კი მიუთითებს იმაზე, რომ მემბრანები მრავალგვარია. დღეისათვის ცნობილია მემბრანების რამდენიმე ასეული მარკა, მათგან დაახლოებით 50 ტიპი მიეკუთვნება იონმიმოცვლით მემბრანებს. სინთეზური დამუხტული მემბრანების საწარმოო გამოყენებას სტიმული მისცა ორმა გარემოებამ: გაჯირჯკვებულ მდგომარეობაში იონიტების მაღალი ელექტროგამტარობის უნარის აღმოჩენამ 1948 წელს *ხეიმანისა და ოდონელის* მიერ და სხვადასხვა პოლარობის მქონე მემბრანების გამოყენებამ ელექტროდიალიზურ აპარატში წყლის გაუმარილებისათვის (1953 წელს მაიერისა და შტრაუსის შრომები გერმანიაში და ლჯუდისა და მაკ-რეის შრომები ამერიკაში).

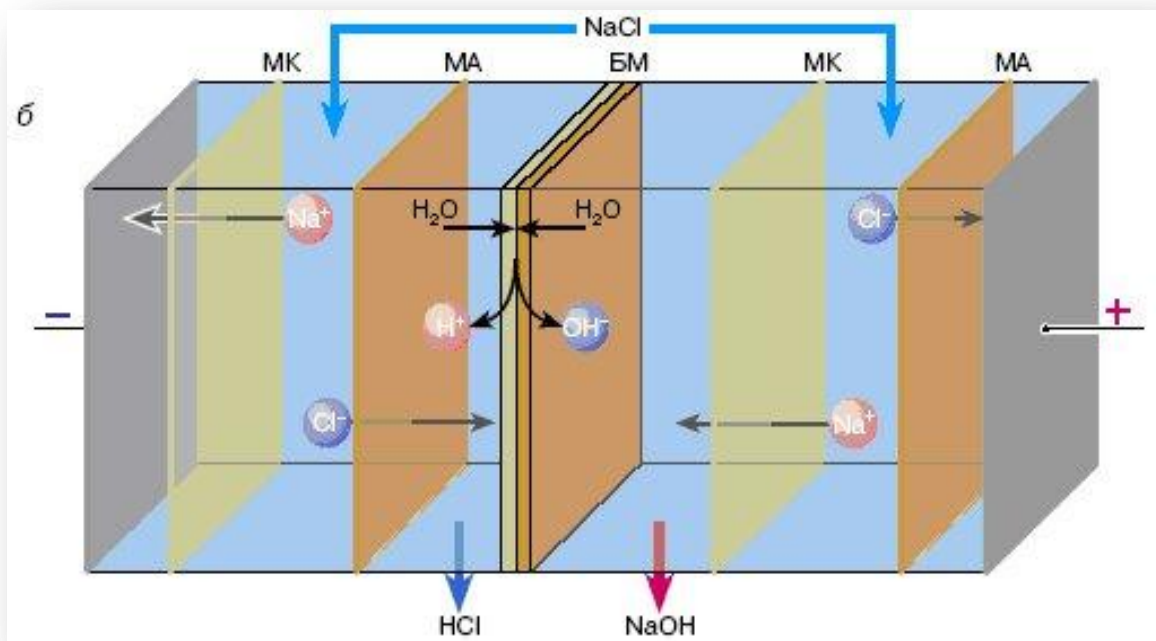
ნახ.13-ზე მოცემულია ელექტრომემბრანულ ტექნოლოგიაში (ელექტროდიალიზი, მემბრანული ელექტროლიზი) და ელექტროქიმიურ მოწყობილობებში მემბრანების გამოყენების პრინციპული სქემები.

ნებისმიერ ამ რეაქტორში დამუხტული მემბრანები კარგად ატარებენ ელექტრულ დენს და შეუძლიათ შერჩევითად გაატარონ გარკვეული მუხტის მქონე იონები. მიუხედავად პრაქტიკული გამოყენების ფართო სპექტრისა, შეიძლება გამოვყოთ სისტემების ორი ჯგუფი: ელექტროქიმიური სისტემები მემბრანებით რომლებიც მუშაობენ გარე ელექტრულ ველში (*ნახ. 13, a,b*) და ელექტროქიმიური სისტემები მემბრანებით წონასწორულ პირობებში. ეს სისტემები წარმოადგენენ ელექტრულ პოტენციალთა სხვაობის გენერატორებს (*ნახ. 13 r*).

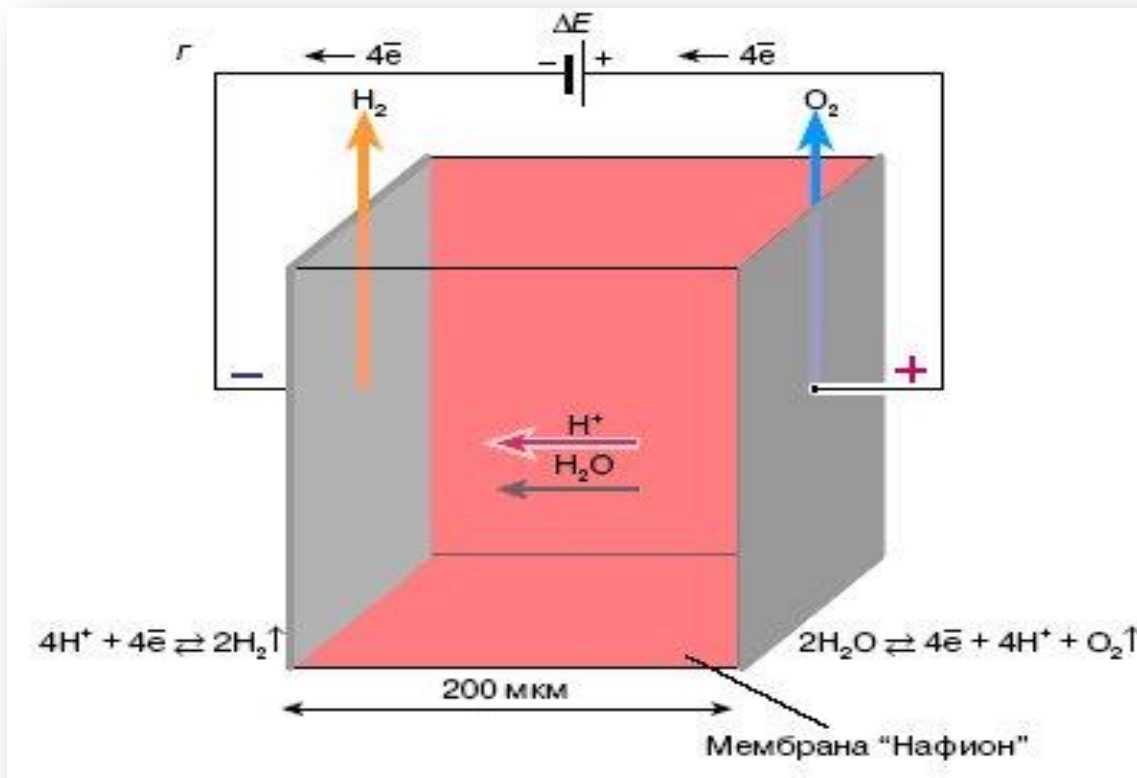
მემბრანების გამოყენების ფართო სპექტრი საშუალებას იძლევა გადაწყდეს მრავალი ეკოლოგიური პრობლემა, უფრო ეფექტური გახდეს მკურნალობის მეთოდები და რესურსების გამოყენების მეთოდები.



ნახ. 13. ა სხვადასხვა პროცესების სქემატური გამოსახვა სხვადასხვა იონმიმოცვლითი მემბრანების მონაწილეობით : ა – ელექტროდიალიზი- წყალხსნარების დემინერალიზაციის და დაკონცენტრირების პროცესი.



ნახ. 13. ბ – ბიპოლარული ელექტროდიალიზი მუკავებისა და ტუტეების მისაღებად მარილხსნარებიდან.



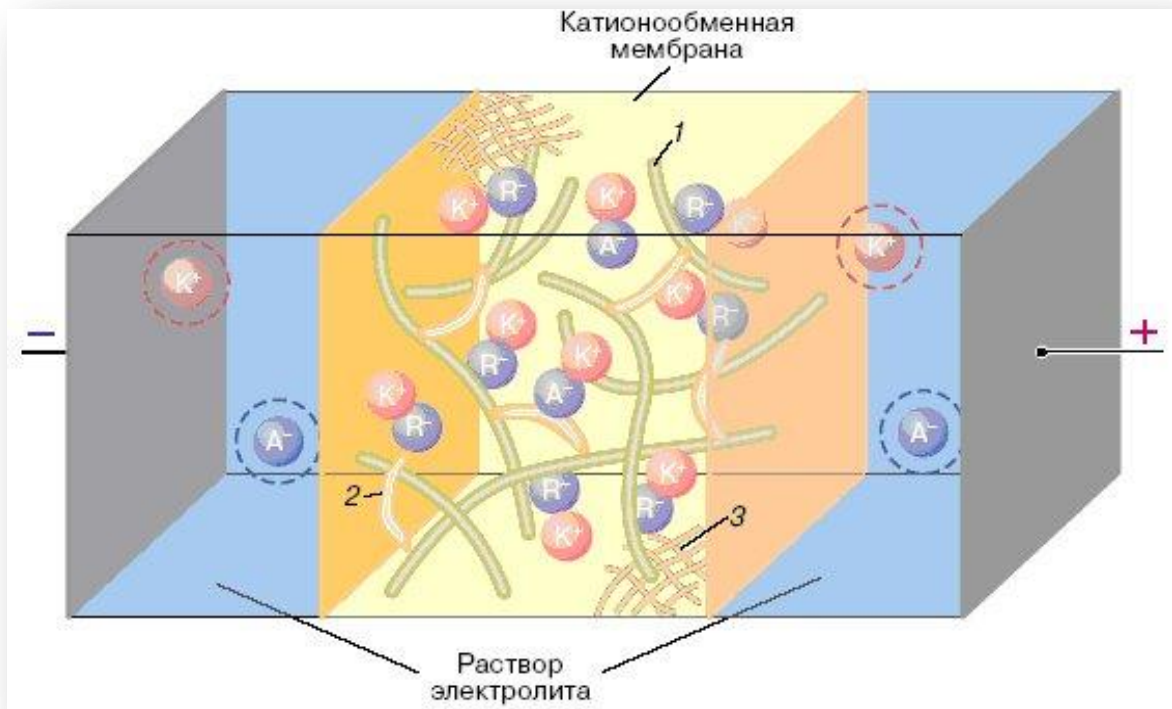
ნახ. 13. *r*- იონსელექტიური მემბრანა როგორც მყარი ელექტროლიტი სათბობ ელემენტებში

ნახ.14-ზე სქემატურად ნაჩვენებია კათიონმიმოცვლითი მემბრანა, როგორც ელექტრომემბრანული სისტემის ფრაგმენტი. იონიური მემბრანები წარმოადგენენ პოლიელექტროლიტებს, ანუ აქვთ კარგი გაჯირჯვების უნარი.

მემბრანები პოლიმერულ მატრიცაზე (კარკასზე) შეიცავენ დადებით ან უარყოფით მუხტის მქონე ჯგუფებს. მაკრომოლეკულის შიგნით ამ მუხტების მაღალი სიმკრივე ქმნის ე.წ. სივრცულ მუხტს, რომელიც კომპენსირდება საწინააღმდეგო მუხტის ნიშნის მქონე იონების ექვივალენტური რიცხვით - უკუიონებით, ისინი ფიქსირებული მუხტების ირგვლივ ქმნიან იონურ ატმოსფეროს და უზრუნველყოფენ პოლიმერის ელექტრონეიტრალობას. მემბრანა ასევე შეიცავს მცირე რაოდენობით ფიქსირებული მუხტის მსგავსი მუხტის მქონე მოძრავ იონებს. ისინი იწოდებიან კო-იონებად.

განზავებული ელექტროლიტის ხსნართან მემბრანის კონტაქტის დროს, კო-იონები პრაქტიკულად გამოირიცხებიან მემბრანის ფაზიდან და არ მონაწილეობენ დენის გადატანაში. ეს ეფექტი იწოდება „დონანურ გამოირიცხვად“. გამოჩენილი მეცნიერ-

მკვლევების დონის საპატივცემულოდ, რომელმაც შემოგვთავაზა თერმოდინამიური წონასწორობისათვის განტოლება სისტემაში მემბრანა-ხსნარი .



ნახ. 14 ელექტრომემბრანული სისტემის ფრაგმენტის სქემატური გამოსახვა : R – ფიქსირებული იონები; K, A – უკუიონები და კო-იონები მემბრანაში და ელექტროლიტის ხსნარში; 1– პოლიმერული მატრიცის ჯაჭვები , რომლებიც წარმოქმნიან კარკასს; 2– პოლიმერული აგენტის ხიდები, რომლითაც შეკერილია ძირითადი პოლიმერული ჯაჭვები; 3– ინერტული პოლიმერის ჩანართები, რომლებიც კომპოზიციას ანიჭებენ თერმულ და მექანიკურ სიმტკიცეს.

4.მემბრანებისადმი წაყენებული მოთხოვნები

გაუმართლებელ კამერაში ხსნარის დემინერალიზაციის პროცესის ეფექტურობა შეიძლება მნიშვნელოვნად შემცირდეს სხვადასხვა პროცესების გავლენით. არასასურველი პროცესების გავლენის შესუსტება შესაძლებელია გარკვეული მემბრანებისა და თითოეული პროცესისათვის შესაბამისი სამუშაო მეთოდის შერჩევით.

გარდა ქიმიური მდგრადობისა, მექანიკური სიმტკიცისა და მემბრანის ზომების სტაბილურობისა , მემბრანები უნდა ხასიათდებოდნენ შემდეგი თვისებებით:

- ✓ *მაღალი იონური სელექტიურობით*, ანუ უნდა გააჩნდეთ მცირე გამტარობა ფიქსირებული იონების მუხტის მქონე იონების მიმართ. სელექტიურობა რაოდენობრივად ფასდება უკუიონების გადატანის რიცხვით მემბრანაში. სელექტიურობა მცირდება, მემბრანასთან კონტაქტში მყოფი ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით;
- ✓ *მაღალი ელექტრული გამტარობით*, გაუმარილების პროცესში მიღებული განზავებული ხსნარის მიმართ;
- ✓ *ელექტროლიტის თავისუფალი დიფუზიის დაბალი სიჩქარით, პროცესში მოსალოდნელი კონცენტრაციათა სხვაობის დროს*. მარილის დიფუზია მოქმედებს იონების გადატანის საპირისპიროდ და ამიტომ ამცირებს პროცესის ეფექტურობას. თავისუფალი დიფუზია განისაზღვრება მემბრანის ორივე მხარეს კონცენტრაციათა სხვაობით. როცა სხვაობა იზრდება, დიფუზიის სიჩქარე იზრდება. დიფუზიის სიდიდეზე მოქმედებს მემბრანის სელექტიურობა. რაც უფრო მაღალია სელექტიურობა, მით ნაკლებია დიფუზიის გაზრდის შესაძლებლობა მოცემული კონცენტრაციათა სხვაობისათვის;
- ✓ *მცირე ოსმოსური გამტარობით*. იონიტური მემბრანები ავლენენ ანომალურ ოსმოსურ თვისებებს ელექტროლიტების სისტემაში. ამ სისტემებში მემბრანები ავლენენ არანორმალურად მაღალ ოსმოსურ ნაკადს, არაელექტროლიტების სისტემასთან შედარებით.

ძნელია საწარმოო მასშტაბებით ყველა ამ თვისების მქონე მემბრანების დამზადება, ამიტომ მემბრანის შერჩევა უნდა იყოს კომპრომისული. პროცესის პირობები უნდა იყოს შერჩეული გამოყენებული მემბრანის თვისებების შესაბამისად.

5. ელექტრომემბრანულ პროცესებში გამოყენებული მემბრანების

კლასიფიკაცია

მემბრანები მატრიცის (კარკასის) მუხტის ნიშნის შესაბამისად იყოფიან კათიონიტურ და ანიონიტურ მემბრანებად (ნახ.15), ხოლო მიღების ხერხის მიხედვით ჰეტეროგენულ და ჰომოგენურ მემბრანებად.

ჰეტეროგენული მემბრანები წაარმოადგენენ წვრილდისპერსიულ იონიტს, რომელიც განაწილებულია ინერტული შემავსებელი მასალის ფენაში [10].

ჰომოგენური მემბრანები მიიღება პოლიკონდენსაციის რეაქციით ან დამყობილი პოლიმერიზაციის მეთოდით. ისინი ხასიათდებიან ერთიანი ფაზით იონიტის მთელ ფენაში.



ნახ. 15 ანიონმიმოცვლითი და კათიონმიმოცვლითი მემბრანები

6. ბარომემბრანებისა და ელექტრომემბრანების შედარება

უკუოსმოსურ პროცესში გამოყენებული მემბრანები იზოტროპული (სისქის მიხედვით ერთგვაროვანი სტრუქტურით) ან ანიზოტროპულია, თხელები და ძალიან მგრძობიარენი არიან გამოშრობის მიმართ. თავიანთ თვისებებს რეალურად ინარჩუნებენ 6 თვიდან ერთ წლამდე [9].

ელექტროდიალიზურ პროცესში გამოყენებული მემბრანები უხეშია, კომპოზიტურებია, ზედმიწევნით მდგრადებია, გაშრობის შემდეგ აღადგენენ თავის თვისებებს, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია ცხელი კლიმატის მქონე ქვეყნებისათვის, ადვილად ექვემდებარებიან რეგენერაციას მყავას ხსნარებით. ლავსანის ან კაპრონის საფუძველზე დამზადებული მემბრანების ექსპლუატაციის ვადა - 8 წლამდეა, ხოლო პერფტორირებული მემბრანებისა - 20 წლამდე.

7. ელექტრომემბრანულ პროცესებში გამოყენებული მემბრანების დამზადების ხერხები

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში ელექტროდიალიზური პროცესებისათვის ძირითადად გამოიყენება ჰეტეროგენული მემბრანები, რომლებიც იწარმოებიან მოსკოვთან ახლოს ქალაქ შოკინოში. მათ მისაღებად იონიტის გრანულებს აკონდიციონებენ, შემდეგ აქუცმაცებენ, ნაწილაკების ერთმანეთთან დაჯახებით შემხვედრ ნაკადებში მოძრაობისას. დაქუცმაცებული იონმიმოცვლითი იონიტი ერევა წვრილდისპერსიულ პოლიეთილენისა და ანტიოქსიდანტის ფხვნილს. სერიული MK-40 ტიპის კათიონმიმოცვლითი მემბრანის მისაღებად ნარევი მზადდება 65% ძლიერმჟავური სულფირებული სტიროლისა და დივინილბენზოლის თანაპოლიმერისაგან. სერიული MA-40 ტიპის ანიონმიმოცვლითი მემბრანა მზადდება 55% პოლიფუნქციონალური ანიონიტისაგან, რომელიც გარდა 20% მეოთხეული ამონიუმის ფუძისა შეიცავს მეორეულ და მესამეულ ამინებს. სერიული MA-41 ტიპის ანიონმიმოცვლითი მემბრანა შეიცავს 65% მაღალფუძოვან ანიონიტს, რომელსაც ღებულობენ სტიროლისა და დივინილბენზოლის თანაპოლიმერის ქლორმეთილირებით და შემდგომი ამინირებით ტრიმეთილამინით. ეს იონიტი შეიცავს მხოლოდ ერთი სახის იონოგენურ ჯგუფს. მომზადებული წვრილად დისპერსიული ნარევი 140°C ტემპერატურაზე გადაჰყავთ სპეციალურ „ვალცებზე“ (დოლებზე) ფურცლებში. ფურცლები პოლიეთილენთან ერთად, იპრესება 135 x 450 სმ. ზომის ფურცლებად, 250-295 ატმ. წნევისა და 140°C ტემპერატურის პირობებში არმირებად ნაჭერთან - კაპრონთან ან ლავსანთან ერთად [8].

დიდი სერიების გარდა, შეკვეთით მზადდება იზოფოროვანი MA-41И და მაკროფოროვანი MA-41П მარკის მემბრანები, რომლებიც MA-41 ანიონიტური მემბრანის ანალოგებია. ასევე მზადდება კათიონიტური მემბრანა MK-41, ფოსფორმჟავური იონიტის საფუძველზე და ბიპოლარული მემბრანები: MB-1, რომელსაც ღებულობენ MK-40 და MA-40 მემბრანების დაპრესვით, MB-2, მემბრანა - MK-40 და MA-41 მემბრანების დაპრესვით და MB-3 მემბრანა - MK-41 და MA-41 მარკის მემბრანების დაპრესვით. ბიპოლარული მემბრანების საცდელი წარმოება, კატალიტური დანამატებით წარმოებს ყუბანის სახელმწიფო უნივერსიტეტთან (ქ. კრასნოდარი, რუსეთი) არსებულ ცენტრში „მემბრანული ტექნოლოგია“.

ზემოაღნიშნული ხერხით ჰეტეროგენული მემბრანების დამზადების თავისებურება იმაში

მდგომარეობს, რომ მემბრანები ხასიათდებიან მაღალი მექანიკური სიმტკიცით და ექსპლუატაციის დროს იძულებითი გამოშრობის შემთხვევაში, აქვთ უნარი აღიდგინონ თავიანთი ფიზიკო-ქიმიური თვისებები.

8. მასალები (პოლიმერები) მემბრანისათვის

იონების წარმატებული დაყოფა, მაგალითად ელექტროდიალიზით, განისაზღვრება [3] მემბრანების ელექტროტრანსპორტული თვისებებით. ეს უკანასკნელი დამოკიდებულია სინთეზური მემბრანების სტრუქტურაზე. თანამედროვე მემბრანების სინთეზის გზები ხშირად მიდის საკმაოდ რთული სქემებით, ამ ნაერთების მაკრომოლეკულური აღნაგობა უნდა წარმოადგენდეს მტკიცე პოლიმერულ კარკასს (ჩარჩოს), რომელიც შეიცავს მტკიცედ მიკერულ (დაფიქსირებულ) დამუხტულ ჯგუფებს.

პირველი მემბრანები დამზადებული იყო მარცვლოვანი იონიტებისაგან, ე.წ. იონმიმოცვლითი ფისებისაგან. მარცვლოვანი იონიტების სამრეწველო წარმოება შესაძლებელი გახდა 1937წ. გ.შტაუდინგერის მიერ სტიროლისა და დივინილბენზოლის თანაპოლიმერიზაციის შესაძლებლობის აღმოჩენის შემდეგ. ამის შემდეგ შესაძლებელი გახდა სამგანზომილებიანი მატრიცის შექმნა, რომელშიც ხდებოდა შეყვანა (მიკერება) სხვადასხვა ბუნების იონოგენური ჯგუფების. ამ იონიტების საფუძველზე 50-იან წლებში დამზადებული იყო პირველი მემბრანები.

ფიქსირებული იონების სახით კათიონმიმოცვლით მემბრანებში გამოიყენება შემდეგი ჯგუფები: $-SO_3$, $-COO$, $-PO_3$, $-HPO_2$, $-AsO_3$, $-SeO_3$. ამ ჯგუფების მუხტი კომპენსირდება დადებითად დამუხტული ე.წ. უკუიონებით.

ანიონმიმოცვლით მემბრანაში დაფიქსირებულია შესაბამისად, დადებითად დამუხტილი ჯგუფები: $-NH_3$, $-RNH_2$, $-R_3N$, $-R_3P$, $-RS$. ამ ჯგუფების მუხტი კომპენსირდება უარყოფითად დამუხტული უკუიონებით. ფიქსირებული მუხტებისა და უკუიონების ბუნება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მემბრანის სელექტიურობასა და ელექტროგამტარობაზე. უმრავლესობა სამრეწველო კათიონმიმოცვლითი მემბრანებისა შეიცავს სულფოჯგუფებს, ხოლო ანიონმიმოცვლითი მემბრანებისა - ამონიუმის ფუძის მეოთხეულ ჯგუფებს, მაგალითად $[-(CH_3)_3N^+]$.

ელექტროდიალიზურ მემბრანებს უფრო ხშირად ამზადებენ იონმიმოცვლითი ფისიდან, რომელიც დამზადებულია პოლისტიროლისა და დივინილბენზოლის საფუძველზე. ეს მასალები წარმოადგენენ ჰეტეროგენული ტიპის პოლიმერულ კომპოზიციას, რომელიც შედგება პუდრის ფხვნილის სახით დაკუმაცებული ფისისაგან (60-65მას.%) და ინერტული პოლიმერისაგან (პოლიეთილენი, პოლივინილქლორიდი და სხვა დანამატი), ასევე მემბრანა ხშირად შეიცავს არმირებად ბოჭკოს, მემბრანის ფურცლისათვის მექანიკური სიმტკიცის მისანიჭებლად.

მემბრანაში მუხტის თანაბარი განაწილებისათვის და მემბრანისათვის კარგი ელექტროქიმიური თვისებების და კარგი დაყოფის უნარის მინიჭებისათვის, დამზადებული იქნა ჰომოგენური მემბრანები. ასეთ მემბრანებში იონოგენური ჯგუფები შეჰყავთ უშუალოდ პოლიმერის აფსკში. შედარებით უმარტივესი ხერხია, პოლიეთილენის აფსკის სულფირება ან ამინირება.

მემბრანების ფუნქციის სრულყოფის მეორე ხერხია მათი ზედაპირის მოდიფიცირება, რაც ხელს უწყობს მათი სელექტიურობის გაზრდას და ორგანული კომპონენტებისადმი მდგრადობის მინიჭებას ელექტროდიალიზის პროცესში.

1962 წ. ამერიკული ფირმის „დიუპონ დე ჰემურ“ - ის მიერ დამზადებული იყო ჰომოგენური სულფოკათიონიტური მემბრანა „ნაფიონი“ ფტორნახშირბადის მატრიცის საფუძველზე.70-იან წლებში, ქლორ-ტუტოვანი ელექტროლიზის სამრეწველო პროცესში აზბესტის დიაფრაგმის ნაცვლად გამოყენებული იქნა პერფტორირებული მემბრანა (ნახ.13 გ).

9.ჰეტეროგენული იონმიმოცვლითი მემბრანები

ჰეტეროგენული მემბრანები არ შეიცავენ იონმიმოცვლითი კომპონენტის ერთიან ფაზას. ასეთ მემბრანებში იონების გადატანა ხორციელდება იონიტის ნაწილაკებს შორის კონტაქტით ან ამ ნაწილაკებს შორის არსებული ხსნარის მეშვეობით, ან ამ ორივე ფაქტორით. იონმიმოცვლითი ფისის ნაწილაკები შემკვრელ ნივთიერებაში შეიძლება შეყვანილი იყოს სხვადასხვა ხერხით:

- ✓ მშრალი შემკვრელი მასალა და იონმიმოცვლითი მასალა ფხვნილის სახით აირევა და განსაზღვრული წნევისა და ტემპერატურის პირობებში იპრესება ფურცლებში;

- ✓ ფისის ნაწილაკებისაგან განსაზღვრულ წნევაზე და ტემპერატურაზე ღებულობენ ბრიკეტებს; ფისის ნაწილაკებს შორის მანძილს აცილებენ, შემდეგ ბრიკეტში შეჰყავთ არასრულად პოლიმერიზებული შემკვრელი თხევად მდგომარეობაში, რომელიც საბოლოოდ პოლიმერიზაციას განიცდის ბრიკეტში. ჭარბ შემკვრელს ზედაპირიდან აცილებენ სახეხით.
- ✓ შემკვრელი გადაჰყავთ ნახევრადთხევად პლასტიკურ მდგომარეობაში შემრევ გამთბარ დოლში, სადაც შემდეგ ემატება იონმიმოცვლითი ფისის ნაწილაკები; კარგად არევის შემდეგ ნარევს ატარებენ რულონებში;
- ✓ შემკვრელი გადაჰყავთ ნახევრადთხევად პლასტიკურ მდგომარეობაში პლასტიფიკატორის დამატებით და მოურევენ განსაზღვრულ ტემპერატურაზე, შემდეგ ამატებენ იონმიმოცვლით ფისს და ნარევის ერთგვაროვანი მასის მიღების შემდეგ, მთელი მასა იპრესება ფურცლების სახით. პლასტიფიკატორს შემდგომ აცილებენ აორთქლებით;
- ✓ წვრილად დაქუცმაცებული იონმიმოცვლითი ფისი დისპერგირებს შემკვრელში, რომელიც გახსნილია ადვილად აქროლად გამხსნელში. ამ ნარევს შემდეგ ასხამენ არმირებად ნაჭერზე მემბრანის მისაღებად. მიღებულ მემბრანაში იონმიმოცვლითი ფისის შემცველობა უნდა აღემატებოდეს 80%-ს.

მემბრანის მიღების შერჩეული მეთოდისაგან დამოუკიდებლად იონმიმოცვლითი კომპონენტი უკვე პროცესის დასაწყისში იმყოფება წყალში უხსნად მდგომარეობაში. შემკვრელი მასალა თერმოპლასტიკურია ან იმყოფება ნაწილობრივ პოლიმერულ მდგომარეობაში. სრული პოლიმერიზაცია ხდება მემბრანის მიღების დროს.

ჩამოთვლილი მეთოდებით მიღებული ჰეტეროგენული მემბრანის იონმიმოცვლითი ფისის ნაწილაკებს აქვთ სფერული ან არასწორი ფორმა; უკანასკნელი მიიღება ბლოკური ფისის წვრილი დანაწევრების დროს. იონიტის ნაწილაკების ზომები არ აღემატება 100 მკმ. რომ მივიღოთ კარგი ელექტროგამტარი მემბრანა, აუცილებელია იყოს იონმიმოცვლითი ფისის მაღალი (65%-ზე მეტი) შემცველობა. მაგრამ ფისის კონცენტრაციის გაზრდით მცირდება მემბრანის მექანიკური სიმტკიცე. ასე, ჰეტეროგენული მემბრანის მოთავსებისას წყალხსნარში იონმიმოცვლითი ფისის ნაწილაკები ძლიერ იჯირჯევა. ამიტომ მემბრანაში იონიტის განაწილება და კონცენტრაცია ისეთი უნდა იყოს, რომ მემბრანა არ დაიშალოს, არ დატყდეს და არ მოიღუნოს გაჯირჯევისას [5].

10. ჰომოგენური იონმიმოცვლითი მემბრანები

ჰომოგენურ მემბრანაში იონმიმოცვლითი კომპონენტი მემბრანის მთელ სტრუქტურაში წარმოქმნის ერთიან ფაზას. ჰეტეროგენური მემბრანების უმეტესობა, რომლებსაც გააჩნიათ საკმაოდ კარგი მექანიკური სიმტკიცე, ხასიათდებიან დაბალი ელექტროქიმიური პარამეტრებით. მეორეს მხრივ, მემბრანები რომლებსაც გააჩნიათ საკმაოდ მსხვილი იონმიმოცვლითი ნაწილაკები, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ელექტროქიმიურ თვისებებს, ავლენენ დაბალ მექანიკურ სიმტკიცეს.

ჰომოგენური იონმიმოცვლითი მემბრანები შეიძლება დამზადებული იყოს მონომერის, რომელსაც უკვე აქვს ფიქსირებული იონოგენური ჯგუფები, მარტივი პოლიკონდენსაციით, და შემდეგ მემბრანის მისაღებად მჟავამდგრად და ტუტემდგრად ფირფიტაზე დასხმით. არაკონდენსირებული ან ნაწილობრივ კონდენსირებული ნარევი შეიძლება იყოს გამთბარი და მოთავსებული ორ მინის ფირფიტას შორის და წარმოქმნას თხელი აფსკი. მაგალითად, კათიონმიმოცვლითი მემბრანის მისაღებად აწარმოებენ ფენოლსულფონური ან სალიცილის მჟავის ფორმალდეგიდთან პოლიკონდენსაციას. არომატული ამინის ან ალიფატური პოლიამინის ფორმალდეგიდთან კონდენსაციას მიყვავართ ანიონმიმოცვლითი მემბრანის წარმოქმნამდე. ამგვარად მიღებული მემბრანები ხშირად არამდგრადებია და მათი გამოყენება საწარმოო მაშტაბებით არ არის მიზანშეწონილი.

ჰომოგენური მემბრანა შეიძლება ასევე დამზადებული იყოს არაიონური მონომერის გადამკვეთ შემკერავ აგენტთან დამატებითი პოლიმერიზაციით და შემდგომ მჟავა გარემოში გაჩერებით. ასეთი მემბრანები, როგორც წესი, ავლენენ უფრო მაღალ ქიმიურ და თერმულ მდგრადობას, ვიდრე ზემოთ აღნიშნული კონდენსირებული პოლიმერული მემბრანები. გადამკვეთი შეკერვისა და ფორების ზომების კონტროლირება გაცილებით ადვილია. ამ მიზნისათვის ძირითადად გამოიყენება გადამკვეთად შეკერილი სტიროლის ტიპის მემბრანა. მაგალითად, მემბრანისათვის ძლიერი კათიონმიმოცვლითი თვისებების მისანიჭებლად მემბრანას ათავსებენ გოგირდმჟავის ან ქლორსულფონის მჟავის კონცენტრირებულ ხსნარში. ანიონმიმოცვლითი მემბრანისათვის ძირითადი ჯგუფი შეიძლება შეყვანილი იყოს სტიროლური ტიპის მემბრანაში ქლორმეთილირებით და შემდგომ ამინით ან ალკილამინით დამუშავებით.

11. ბიპოლარული მემბრანები

ელექტრომემბრანული მასალების განსაკუთრებულ ტიპს წარმოადგენს ბიპოლარული მემბრანები, რომელთა მეშვეობით შეიძლება განხორციელდეს მჟავებისა და ტუტეების მიღების ელექტროქიმიური პროცესი შესაბამისი მარილებიდან (ნახ. 13 ბ). ეს მემბრანები წარმოადგენენ ბიფენოვან სისტემას, რომელიც შედგება მემბრანის ერთ ფურცელში შეთავსებული კათიონ- და ანიონმიმოცვლითი მემბრანებისაგან. ელექტრულ ველში ბიპოლარულ მემბრანას აქვს უნარი გენერირება გაუკეთოს H^+ და OH^- იონებს, წყლის ელექტროქიმიური დაშლის შედეგად ორი მემბრანის გამყოფ საზღვარზე. ბიპოლარული მემბრანების მიღების ხერხები ნაჩვენებია ნახ. 16 -ზე. ბიპოლარული მემბრანები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: ერთფენოვანი და მრავალ ფენოვანი .

тип мембраны	способ	схема соединения
Многослойная	Свободное наслаивание	
Многослойная, перманентное скрепление	Прессование (горячее)	
	Склеивание	
Многослойная, последовательное формирование слоев	Литье	
Многослойная, формирование в одну стадию	Экструзия	
Однослойная биполярная мембрана	Модификация	

ნახ. 16 ბიპოლარული მემბრანების წარმოების ხერხები

მრავალფენოვანი ბიპოლარული მემბრანები იწარმოება ორი სტანდარტული იონმიმოცვლითი მემბრანის ერთმანეთთან მარტივი დაპრესვით ან დაწებებით შესაბამის ხსნართან. ამ მეთოდით მიღებული მემბრანები სამწუხაროდ ხასიათდებიან მაღალი ელექტრული წინააღმდეგობით. *სიმონსმა* შეიმუშავა მრავალფენოვანი ბიპოლარული მემბრანის მიღების ხერხი, მემბრანის დაბალი ელექტრული წინააღმდეგობით. ასეთი მემბრანა შედგება ორი იონმიმოცვლითი მემბრანისაგან, რომელიც დამუშავებულია მძიმე მეტალის (მაგალითად Cr^{3+}). შემცველი გაცხელებული ტუტის ხსნარით. დამუშავების შემდეგ ეს მემბრანები იღება ერთმანეთზე ბიპოლარული მემბრანის ფორმირებისათვის. (ასეთი მემბრანები შემუშავებულია აშშ).

ერთფენოვანი ბიპოლარული მემბრანა შეიძლება მიღებული იყოს სხვადასხვა ხერხით. ერთ მეთოდში გამოიყენება ნეიტრალური აფსკი. ორივე მხრიდან მასში შეჰყავთ იონური ჯგუფები, მაგალითად, სპეციალური ხსნარებით პლაზმური ან ქიმიური დამუშავებით. სხვა მეთოდი მდგომარეობს იმაში, რომ ჯერ ღებულობენ ერთ ფენას, ხოლო შემდეგ მასზე ასხამენ ხსნარს მეორე ფენით.

12. მემბრანული მასალების კვლევის ეტაპები

ელექტრომემბრანული მასალათმცოდნეობის ამოცანები მიმართულია იონმიმოცვლითი მემბრანების, როგორც გარკვეული სტრუქტურისა და ელექტროსატრანსპორტო

თვისებების მქონე პოლიმერული მასალების შესწავლაზე. გარდა ამისა, ინტერესს იწვევს მემბრანების, როგორც ელექტრომემბრანული რეაქტორის მთავარი ფრაგმენტის, ელექტროქიმიური ქცევის გამოკვლევა.

ეს ასპექტები მოიცავენ სამეცნიერო ინფორმაციის ოთხ ბლოკს [3]:

- ✓ ურთიერთკავშირის შესწავლა იონმიმოცვლითი მემბრანის ქიმიურ აგებულებასა და ფიზიკურ სტრუქტურას შორის. ამისათვის გამოიყენება მეთოდები: *ИК*-სპექტროსკოპია, რედგენო-სტრუქტურული ანალიზი, ЯМР-, ПМР- სპექტროსკოპია და მათი ვარიაციები, ელექტროსორბციული მეთოდები, დაფუძნებული წყლის განაწილებაზე მემბრანის სტრუქტურაში და სხვა. შესწავლის მიზანია მემბრანის სტრუქტურული პორტრეტის შექმნა.
- ✓ მემბრანის ელექტროსატრანსპორტო თვისებების შესწავლა. ამ მონაცემებს ღებულობენ მემბრანის ნიმუშების ტესტირების დროს, ანუ ელექტრული

წინააღმდეგობის, იონებისა და წყლის გადატანის რიცხვის, დიფუზიური და ელექტროოსმოსური გამტარობის განსაზღვრით და ნიმუშის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების შეფასებით. განსაზღვრის შედეგად სწარმოებს მემბრანის მასალის სტანდარტიზაცია ჩამოთვლილი მახასიათებლების კონცენტრაციული დამოკიდებულების სახით. შედეგები შეიყვანება მონაცემთა კომპიუტერულ ბაზაში.

- ✓ მემბრანული მასალების თვისებების უფრო კომპაქტური აღწერისათვის შემოღებულია პარამეტრების სისტემა, რომლებიც თითქოსდა შიგნიდან მართავენ მემბრანის ქცევას ელექტრულ ან კონცენტრაციულ ველში, ან მათი ეთობლივი მოქმედების დროს. მაგალითად, მემბრანის ელექტრული გამტარობის კონცენტრაციული დამოკიდებულებიდან შეიძლება მოიძებნოს პარამეტრი, რომელიც ახასიათებს გამტარი პოლიმერის სტრუქტურას. სტრუქტურული პარამეტრების ფიზიკური არსის გაგებისათვის აუცილებელია გაჯირჯვებული მემბრანის არეს მოდელის შექმნა, მისი ინტერიერის და ამ არეში დამუხტული ნაწილაკებისა და გამხსნელის მოლეკულების ნაკადების გზების ცოდნა (ნახ.13). ეს კი, მემბრანების შესახებ მეცნიერების ფუნდამენტური პრობლემაა.
- ✓ ელექტრომემბრანულ პროცესებში მონაწილეობის შემდეგ ნამუშევარი მემბრანების სტრუქტურული და ელექტროსატრანსპორტო თვისებების ცვლილებების შესწავლა. მემბრანების დეგრადაცია დაკავშირებულია მათზე სხვადასხვა ფაქტორების ერთდროულ მოქმედებაზე: ელექტრული დენის, ტემპერატურული ცვლილებების, მძიმე მეტალებითა და ორგანული ნივთიერებებით „მოწამვლასთან“ და სხვა. მემბრანული მასალათმცოდნეობის ამოცანებში შედის არა მარტო მემბრანული წყვილის შერჩევა აპარატში განლაგებისათვის, არამედ ასევე მემბრანისათვის სასურველი სამუშაო რეჟიმის შერჩევა, რათა გახანგრძლივდეს მემბრანების ექსპლუატაციის დრო.

13. წყლისადმი წაყენებული მოთხოვნები [11]

ელექტროდეიონიზაციის შემთხვევაში:

- მიმომცველი ანიონების შემცველობა არა უმეტეს 25 მგ/ლ;
- pH, 5 - 9;
- სილიციუმი არა უმეტეს 0,5 მგ/ლ;

- თავისუფალი ქლორო არა უმეტეს 0,05 მგ/ლ;
- ხვედრითი ელექტროგამტარობა არა უმეტეს 40 მკ.სმ/სმ;
- სიხისტე არა უმეტეს 0,5 მგ/ლ CaCO₃;
- რკინა არა უმეტეს 0,01 მგ/ლ;

ელექტროდიალიზის შემთხვევაში:

- საერთო სიხისტე არა უმეტეს 10 მგ-ექვ//ლ;
- შეწონილი ნივთიერებები არა უმეტეს 20 მგ/ლ;
- ფერადობა არა უმეტეს 20 გრადუსი ;
- მანგანუმი არა უმეტეს 0,1 მგ/ლ;
- პერმანგანატური ჟანგვადობა არა უმეტეს 5 მგ/ლ;
- ნავთობპროდუქტები არა უმეტეს 0,1 მგ/ლ;
- აქტიური ქლორი არა უმეტეს 0,3 მგ/ლ;
- pH, 6,5 – 8,5;
- ტემპერატურა + 50°C – 300°C.

თუ ელექტროდიალიზზე მიწოდებული საწყისი ხსნარი არ პასუხობს ჩამოთვლილ მოთხოვნებს, მაშინ წყალი ექვემდებარება წინასწარ დამუშავებას [12].

შეზღუდვები ელექტროდიალიზის სისტემების გამოყენების შემთხვევაში:

- მგრძნობიარობა ქლორის მიმართ. ელექტროდიალიზური სისტემები, ისევე როგორც უკუოსმოსური მემბრანები ძალიან მგრძნობიარენი არიან ქლორის მიმართ, ამიტომ წყალმა უნდა გაიაროს წინასწარი დამუშავება;
- სიხისტისადმი მგრძნობიარობა. ელექტროდიალიზური სისტემების უმრავლესობისათვის წყლის სიხისტე არ უნდა ღემატებოდეს 0,02 მგ-ექვ./ლ;
- არაეფექტურობა CO₂ -ის დიდი კონცენტრაციების შემთხვევაში, ნებისმიერი იონმიმოცვლითი სისტემების ეფექტურობა მცირდება წყალში CO₂ -ის დიდი კონცენტრაციების დროს [13].

წყალდამზადებაში ელექტროდიალიზის გამოყენების სფერო შეზღუდულია მარილშემცველობით 0,5-10 გ/ლ, ვინაიდან უფრო დაბალი კონცენტრაციების დროს მცირდება ხსნარის გამტარობა და მცირდება ელექტროენერგიის გამოყენების

ეფექტურობა, ხოლო მაღალი კონცენტრაციების დროს პროცესი არაეკონომიურია ენერგოხარჯების მნიშვნელოვანი გაზრდის გამო, რადგანაც დახარჯული ელექტროენერგია პროპორციულია მოცილებული იონების რაოდენობის [10].

14. ელექტრომემბრანული პროცესების რეალიზაციის ჰიდრავლიკური სქემები

დიფუზიურ და ექსტაქციულ პროცესებში მასების მაქსიმალური გადატანისათვის ორი ნაკადის კონცენტრაციათა მცირე სხვაობის დროს გამოიყენება კარგად ცნობილი საპირისპირო სისტემები. ელექტროდიალიზურ პროცესებში ასეთი სისტემები გამოუყენებელია, რამდენადაც მათი გამოყენება იწვევს მემბრანის ორივე მხარეს სითხის წნევათა შორის დიდ განსხვავებას. ასეთი წნევათა სხვაობა არასასურველია, ვინაიდან იწვევს მემბრანის გახლეჩას. გარდა ამისა, ამ დროს მემბრანები შეიძლება გაიღუნოს, ამას კი მოზღვევს კამერების ელექტრული წინააღმდეგობის გაზრდა და პოლარიზაცია. ვერტიკალური ელექტროდიალიზატორებისათვის სასურველია სითხის პარალელური ნაკადების გამოყენება, აპარატის ქვევიდან ზევით მიმართულებით, რამდენადაც ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს აირების გამოყვანას კამერიდან.

მხედველობაშია მისაღები, რომ ყველა შემთხვევაში ელექტროდიალიზური პროცესის გამოყენებისას დემინერალიზაციისათვის წარმოიქმნება [5] ელექტროლიტის კონცენტრირებული ნაკადები, რომელთა აპარატიდან გამოყვანა ცალკე პრობლემაა. რიგ წარმოებაში იგი გადაწყვეტილია მცირე მოცულობა მაღალკონცენტრირებული კონცენტრატის მიღებით. გამოყენებული ჰიდრავლიკური სქემების სახე შეიძლება იყოს სხვადასხვა.

14.1 ერთსაფეხურიანი დემინერალიზაცია. თუ სითხის დემინერალიზაცია საჭირო კონცენტრაციამდე შეიძლება განხორციელდეს აპარატში ხსნარის ერთხელ გატარებით, მაშინ ასეთი დემინერალიზაცია არის ერთსაფეხურიანი. ასეთი სისტემა გამოიყენება აპარატებში გაუმარილების გრძელი გზის გავლის პირობებში ან როცა არის მუშაობის შესაძლებლობა მაღალი დენის სიმკრივის პირობებში და ორივე ნაკადის ერთნაირი ხარჯის დროს.

14.2 ერთსაფეხურიანი დემინერალიზაცია კონცენტრატის დაბრუნებით (რეციკლით) .ამ სქემის გამოყენების დროს დიალიზატი პირდაპირ მიეწოდება კამერებს და გამოდისაპარატიდან, კონცენტრატი კი უბრუნდება კონცენტრირების კამერებს, რის გამოც მისი მოცულობა მნიშვნელოვნად კლებულობს. ამ სქემის უპირატესობა იმაშია, რომ მემბრანული პაკეტის წინააღმდეგობა მცირდება კონცენტრატის კონცენტრაციის გაზრდის გამო.

14.3 განმეორებადი დემინერალიზაცია. ამ დროს ხსნარის ღრმა გაუმარილება შეიძლება მიღწეული იყოს ნებისმიერი ტიპის აპარატში. ამ სქემის ძირითადი უარყოფითი მხარეა, რომ რეცირკულაციის დიდი რიცხვის დროს ნაკადის, რომელიც უნდაგავაუმარილოთ საშუალო კონცენტრაცია უახლოვდება მისაღები დიალიზატის კონცენტრაციას და შედეგად, ადგილი აქვს ომური წინააღმდეგობის ზედმეტ დანაკარგებს.

14.4 დემინერალიზაცია პერიოდული ცირკულაციით. ასეთი სქემა შეიძლება გამოყენებული იყოს გაუმარილების ნებისმიეი მიზნებისათვის. იგი განსაკუთრებით გამოიყენება მაშინ, როცა მისაღწევია დემინერალიზაციის მაღალი ეფექტი. მაგალითად, ზღვის წყლიდან სასმელი წყლის მიღების შემთხვევაში (მარილთა კონცენტრაციის შემცირება 34-დან 0,5 გ/ლ). ამ სქემაში კონცენტრატი და დიალიზატი ცირკულირებს დანადგარში და რეზერვუარში. თუ გაუმარილების მთელი ციკლის განმავლობაში ელექტროდებზე ძაბვა იქნება მუდმივი, მაშინ დემინერალიზაცია იქნება ეფექტური. გაუმარილებასთან ერთად დიალიზატის წინააღმდეგობა იზრდება, ხოლო დენის სიმკრივე მცირდება. თუ ეს ცვლილებები პროპორციულია, მაშინ დეპოლარიზაციის სიჩქარე მთელი ციკლის განმავლობაში იქნება მუდმივი. ეს მარტივი თანაფარდობა პრაქტიკაში სრულდება იმიტომ, რომ მაგალითად, კონცენტრატის წინააღმდეგობა ყოველი ციკლის შემდეგ მცირდება, მაშინ როცა მემბრანების წინააღმდეგობა იცვლება უმნიშვნელოდ. ასეთი მეთოდი მაინც უზრუნველყოფს გაუმარილების ეფექტურობას, თუ ციკლის განმავლობაში სითხის დინების სიჩქარეები გაცილებით მაღალია მათ ზღვრულ მნიშვნელობაზე. პრაქტიკაში ამ მეთოდით მუშაობის დროს სითხის სიჩქარე 50%-ით მეტი უნდა იყოს .ციკლის დასაწყისში საჭირო მინიმალურ კრიტიკულ სიჩქარეზე. დემინერალიზაციის სქემა შეიძლება შეიცვალოს პერიოდული ცირკულაციით, გამოვიყენოთ მხოლოდ დიალიზატის ცირკულაცია და კონცენტრატის კონცენტრაცია შევინარჩუნოთ მუდმივი მისი გამოყვანით აპარატიდან და შევსებით საწყისი ხსნარით.

14.5 უწყვეტი ნახევრადსაწინააღმდეგო საფეხურებრივი დემინერალიზაცია.

ასეთი სქემა გამოიყენებოდა ოთხსაფეხურიან ნახევრად საწარმოო დანადგარებზე ოქროს შემცველი წყლების გაუმარილებისათვის ნარინჯისფერ რესპუბლიკაში.

საწყისი ნაკადი რეცირკულაციის გარეშე გადიოდა პირველი საფეხურიდან მეოთხეზე. კონცენტრატი მიეწოდებოდა მეოთხე საფეხურს და ყოველ საფეხურზე რეცირკულაციით გადიოდა მეოთხედან პირველ საფეხურზე. ამ სქემის უპირატესობა იმაშია, რომ მემბრანის ორივე მხარეს კონცენტრაციის სხვაობა აპარატიდან გამოსავალზე ყოველთვის მინიმალურია, სხვაობა მით ნაკლებია, რაც უფრო მცირეა საფეხურების რიცხვი. დიალიზატი და კონცენტრატი მიედინებოდნენ ურთიერთსაწინააღმდეგოდ დანადგარში, მაგრამ პარალელური ნაკადებით ყოველ საფეხურზე.

ზოგადად, შეიძლება ავარჯიოთ სქემა, რომელიც მისაღებია ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის.

15 აპარატების კონსტრუქციები ელექტრომემბრანული პროცესებისათვის

15.1 საერთო მოთხოვნები

მიუხედავად ელექტრომემბრანულ პროცესებში გამოყენებული დანადგარების ცალკეული ელემენტების კონსტრუქციის მრავალფეროვნებისა, არსებობს საერთო მოთხოვნები, რომელთა შესრულებაც უზრუნველყოფს მემბრანული დანადგარების ხანგრძლივ და ეფექტურ ექსპლუატაციას. ასეთ მოთხოვნებს მიეკუთვნება:

- კონსტრუქციის ჰერმეტიულობა;
- კონსტრუქციის ვარგისიანობა. დანადგარის დაპროექტების დროს მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული მისი ექსპლუატაციის პირობები. არანაკლებ მნიშვნელოვანია მემბრანების სიმტკიცე და ქიმიური მდგრადობა მოცემულ პროცესში, მნიშვნელობა აქვს მასალას, რომლისგანაც არის დამზადებული ელექტროდები.
- აუცილებელია მინიმუმამდე იყოს დაყვანილი იმ ზონების რაოდენობა, სადაც შეიძლება წყალი არ მოძრაობს, გაჩერებულია. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კვების მრეწველობის საწარმოებისათვის, ვინაიდან ასეთი ადგილები ძნელად მისადგომი და გასარეცხია და სწორედ იქ არის შესაძლებელი მიკროორგანიზმების გამრავლება და დაგროვება.
- გათვალისწინებული უნდა იყოს აპარატის ქიმიური გარეცხვა და მისი

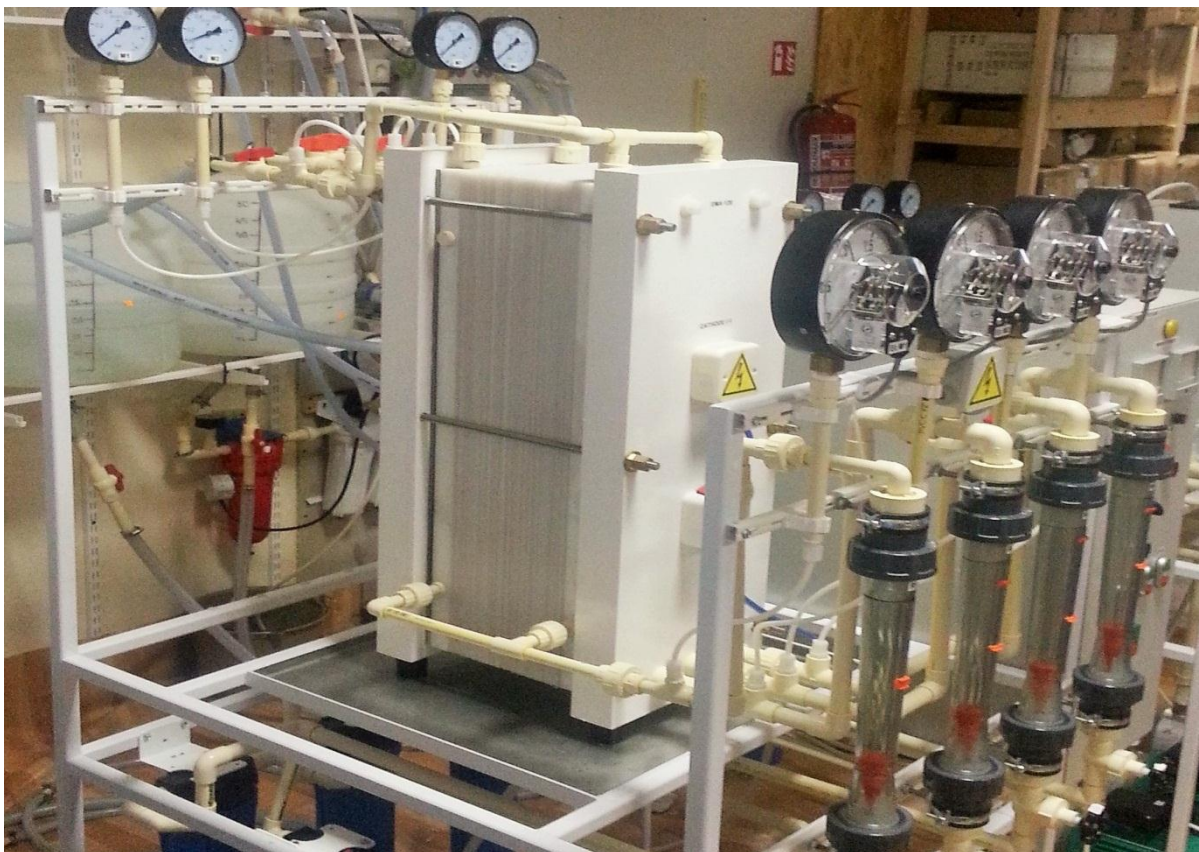
სადენზიფექციო ხსნარით დამუშავება, თუ ეს აუცილებელია.

- პროცესის ავტომატიზირება. ამ შემთხვევაში მინიმუმამდე შეიძლება დაიყვანილი იყოს ადამიანური ფაქტორი დანადგარის მუშაობის დროს.
- შეძლებისდაგვარად დამხმარე მილების მოცულობა უნდა იყოს მინიმუმამდე დაყვანილი. ამაზე შეიძლება იყოს დამოკიდებული დანადგარის დაყვანილი.

ამაზე შეიძლება იყოს დამოკიდებული დანადგარის საექსპლუატაციო მახასიათებლები.

15.2 აპარატები ფილტრ-პრესი ტიპის მოდულით

ელექტროდიალიზი – მემბრანაში იონების გადატანის პროცესია ელექტროველის მოქმედებით. იონების გადატანის სიჩქარე დამოკიდებულია დენის ძალაზე. ასეთი გადატანა შეიძლება განხორციელდეს კონცენტრაციის გრადიენტის საწინააღმდეგოდ. ელექტროველი იწვევს გარკვეულ სიძნელებებს, დაკავშირებულს ელექტროდებზე მიმდინარე რეაქციებით: ტუტის წარმოქმნა კათოდზე და მჟავას– ანოდზე. ქლორიდების არსებობით ანოდზე წარმოიქმნება აგრეთვე ქლორიც (ნახ.17).

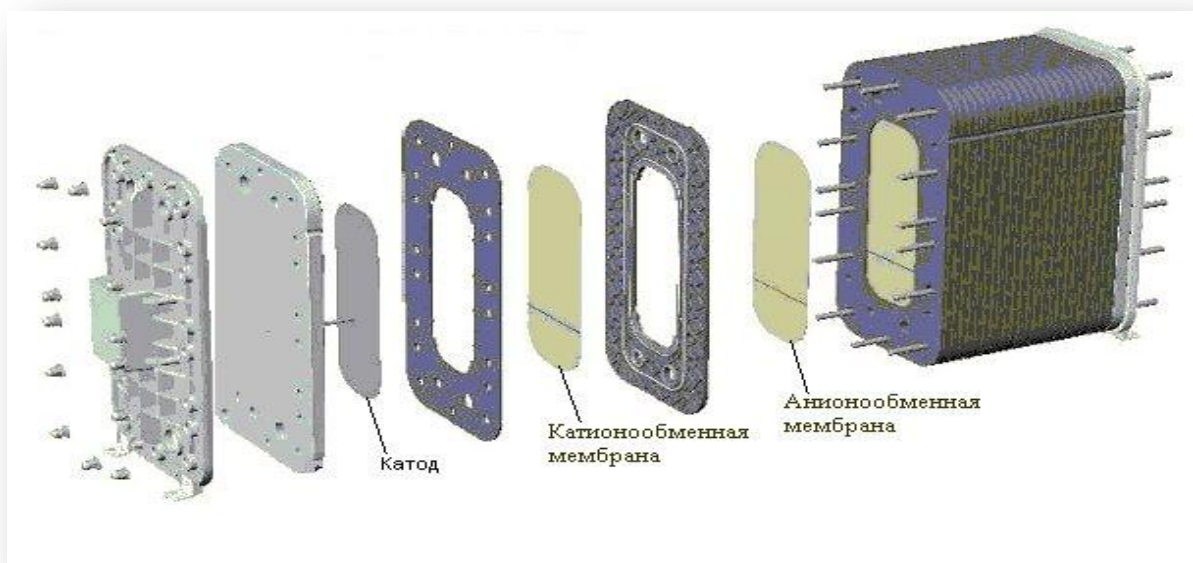


ნახ.17 ელექტროდიალიზური დანადგარი

ამ პრობლემის ასაცილებლად აპარატიდან უნდა მოვაცილოთ ამ ნივთიერებების შემცველი სითხე. ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება ელექტროდული კამერების ხსნარები ისევ დაბრუნდეს პროცესში (*pH* კონტროლით ან კონტროლის გარეშე).

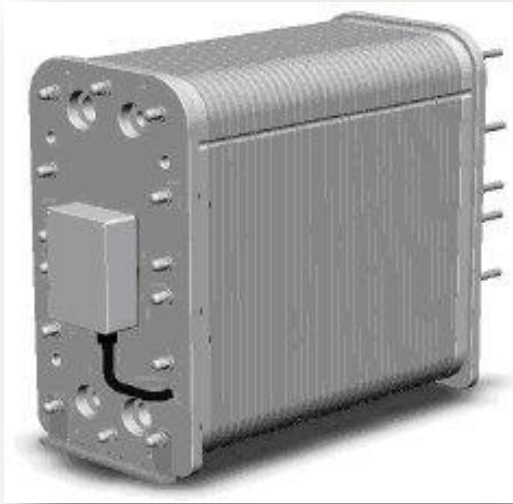
სამკამერიანი ელექტროდიალიზის დროს საშუალო კამერაში მიიღებოდა მჟავე რეაქციის ხსნარი, რამაც შეაფერხა ამ პროცესის საწარმოო გამოყენება. არასელექტიური მემბრანების გამოყენების დროს მიიღება დაბალი გამოსავლიანობა დენით (*n*), რომელიც განისაზღვრება გამოყოფილი მარილების გრამ-ექვივალენტების რაოდენობით გატარებული ელექტრობის რაოდენობასთან ფარადეის ერთეულებში.

მრავალკამერიან დიალიზატორში იონიტური მემბრანების გამოყენებით, ელექტროდიალიზის პროცესის მთავარი უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ გაუმარილების ანუ დიალიზატის კამერებიდან გამოყოფილი იონები გადადიან კონცენტრირების კამერებში. კამერების რაოდენობა შესაძლებელია მხოლოდ საინჟინრო მოსაზრებებით : მაქსიმალურად მისაღწევი ძაბვის ვარდნა უჯრედში, აპარატების ზომები, სისტემის სიმტკიცე და მემბრანის ზედაპირზე და ყველა კამერებში სითხის თანაბარ განაწილებასთან დაკავშირებული ჰიდროდინამიური ფაქტორები [61]. დღეისათვის წყლის გაუმარილებისათვის გამოიყენება მრავალკამერიანი ბრტყელჩარჩოიანი აპარატები. ისინი წარმოადგენენ მემბრანულ პაკეტს, მოთავსებულს ორ ელექტროდს შორის, შესაბამისად, ანოდსა და კათოდს შორის გასაუმარილებელი სამუშაო ხსნარი მიეწოდება ლუწ კამერებს და პარალელური ნაკადით მიედინება მათში.



ნახ.18 ფილტრ-პრესული ტიპის ელექტრომემბრანული მოდულის წყობა

ამ კამერების მეორე მხრიდან გამოიყვანება გაუმარილებული წყალი. გამოყოფილი მარილებისაგან შემდგარი კონცენტრატი ცირკულირებს არაწყვილ კამერებში. ანოდთან და კათოდთან წარმოებს განმუხტვა ანიონების და ჰიდროქსიდის იონების, კათიონების და წყალბადის იონების. შესაბამისად, წარმოქმნა მჟავა ანოლიტისა და ტუტოვანი კათოლიტის.

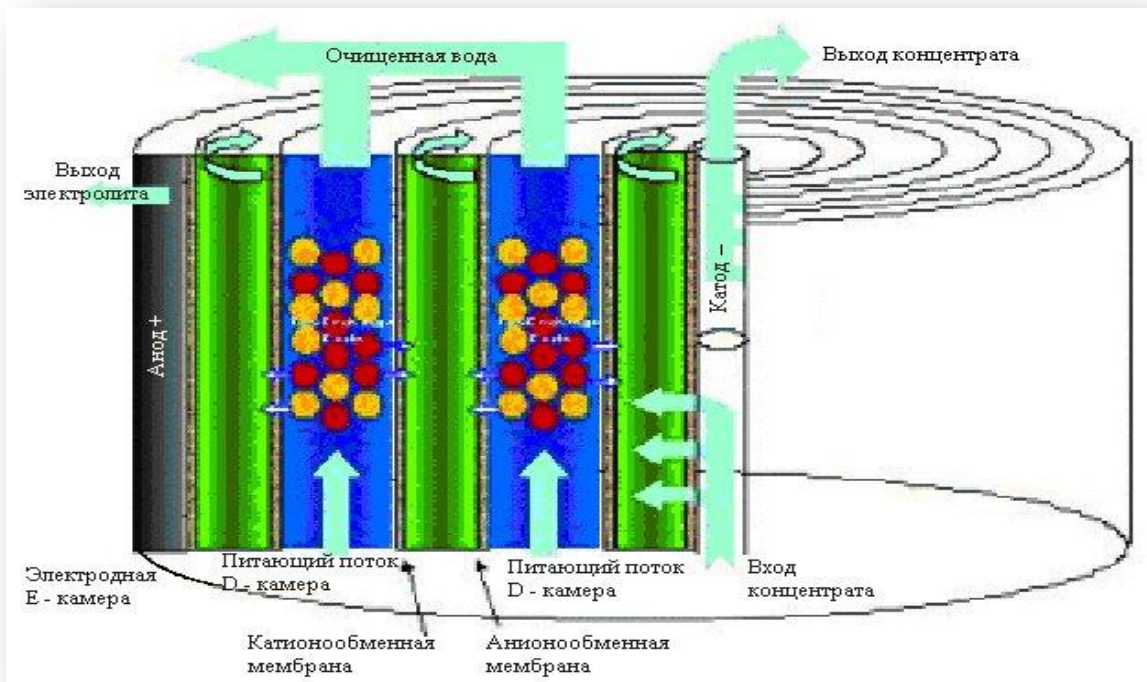


ნახ. 19 გარე ხედი ფილტრ-პრესული ტიპის ელექტრომემბრანული მოდულის და დანადგარის , რომელიც შედგება ასეთი მოდულებისაგან [10].

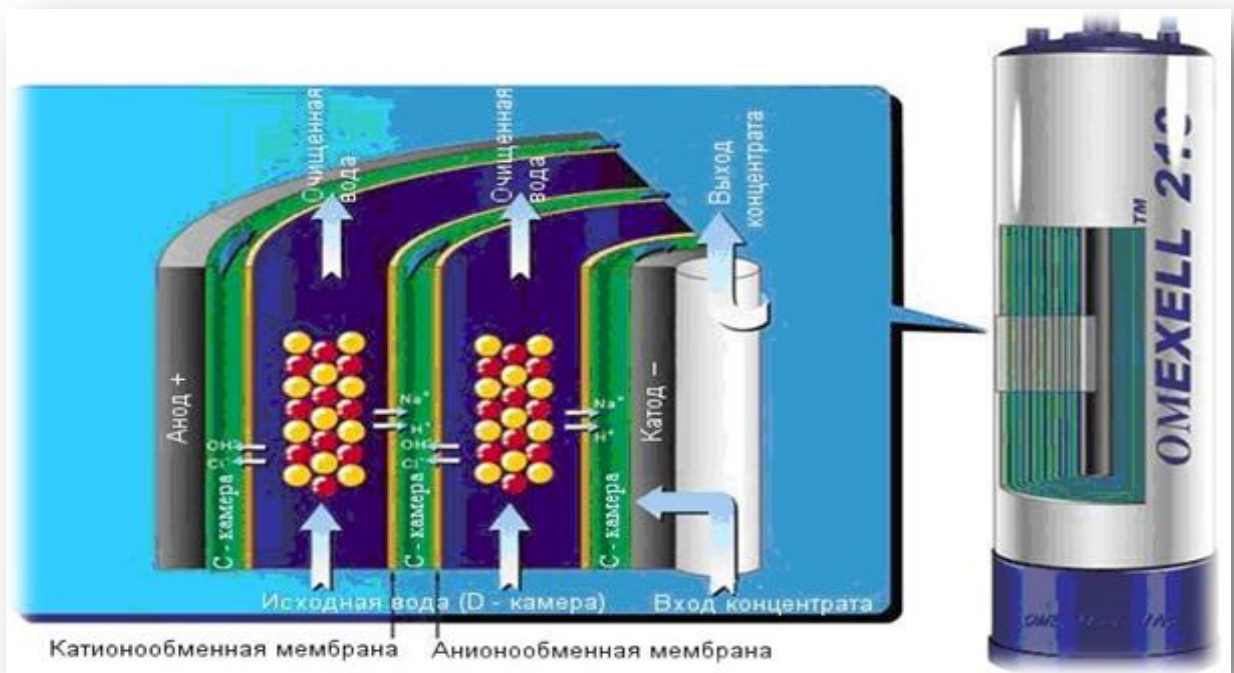
15.3 აპარატები რულონური მოდულით.

საწყისი წყალი მიეწოდება მოდულს ქვემოდან და ვერტიკალურად მიეწოდება მოღუნულ უჯრედებს, რომლებიც ცნობილია როგორც D – კამერები. პერმიატის ნაკადი მიედინება ვერტიკალურად იონმიმოცვლით ფისზე, რომელიც მოთავსებულია ორ იონმიმოცვლით მემბრანას შორის. კონცენტრატი მოდულს მიეწოდება ცენტრალური მილით ქვემოდან და ხვდება უჯრედში სპირალური დინებისათვის, რომლებიც ცნობილია, როგორც წყალში მყოფი მარილის იონები, უკავშირდებიან უერთდებიან იონმიმოცვლით ფისს. მუდმივი დენი გადის უჯრედში. იგი შლის წყლის მოლეკულებს H^+ და OH^- იონებად, რომლებიც განუწყვეტლივ რეგენირებას უკეთებ იონმიმოცვლით ამგვარად, მარილის იონები, გაივლიან რა დენის მოქმედებით იონმიმოცვლით მემბრანებს, ხვდებიან C – კამერებში, საიდანაც ისინი გამოდიან ცენტრალური მილის ზედა ნაწილიდან კონცენტრატის ნაკადით D – კამერებში გამოსავალზე მიიღება დეიონიზირებული წყალი. ანოდის

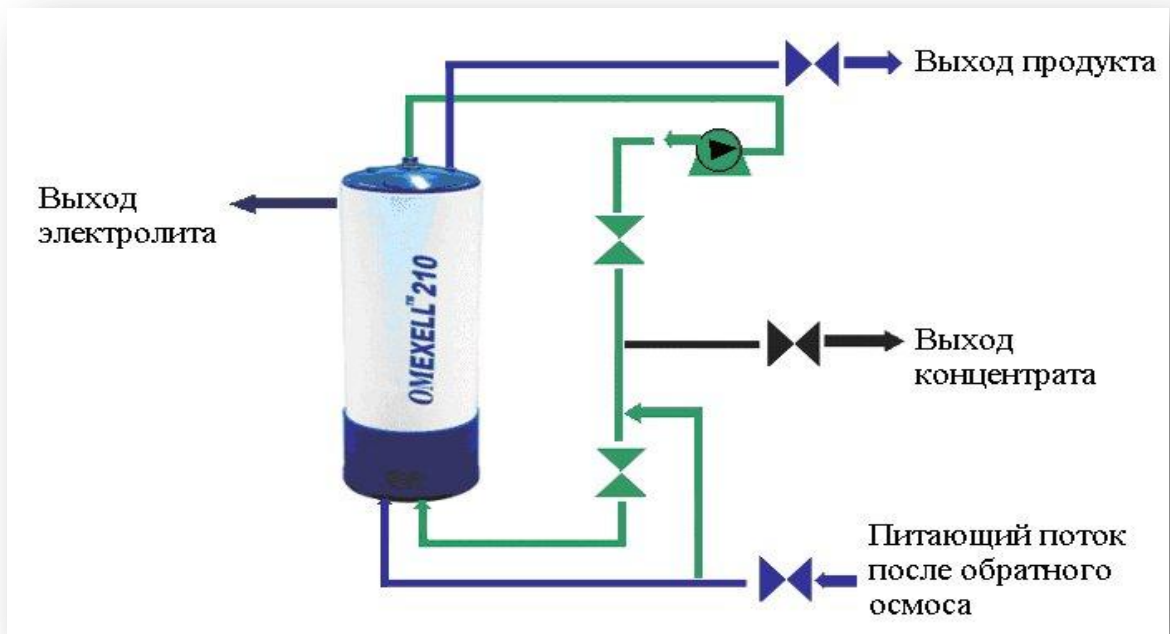
გამრეცხავი ნაკადი, გამოიყვანება ცალკე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.20-ზე. რულონური მოდულის გარე სახე მოცემულია ნახ.22, ტექნოლოგიური სქემა ნახ.23ზე.



ნახ.20 ნაკადების ორგანიზება რულონური ელემენტის შიგნით [14].



ნახ.21 რულონური მოდულის გარე სახე და შიგა აგებულება.



ნახ. 22 რულონური მოდულის მუშაობის დროს ნაკადების ორგანიზება.

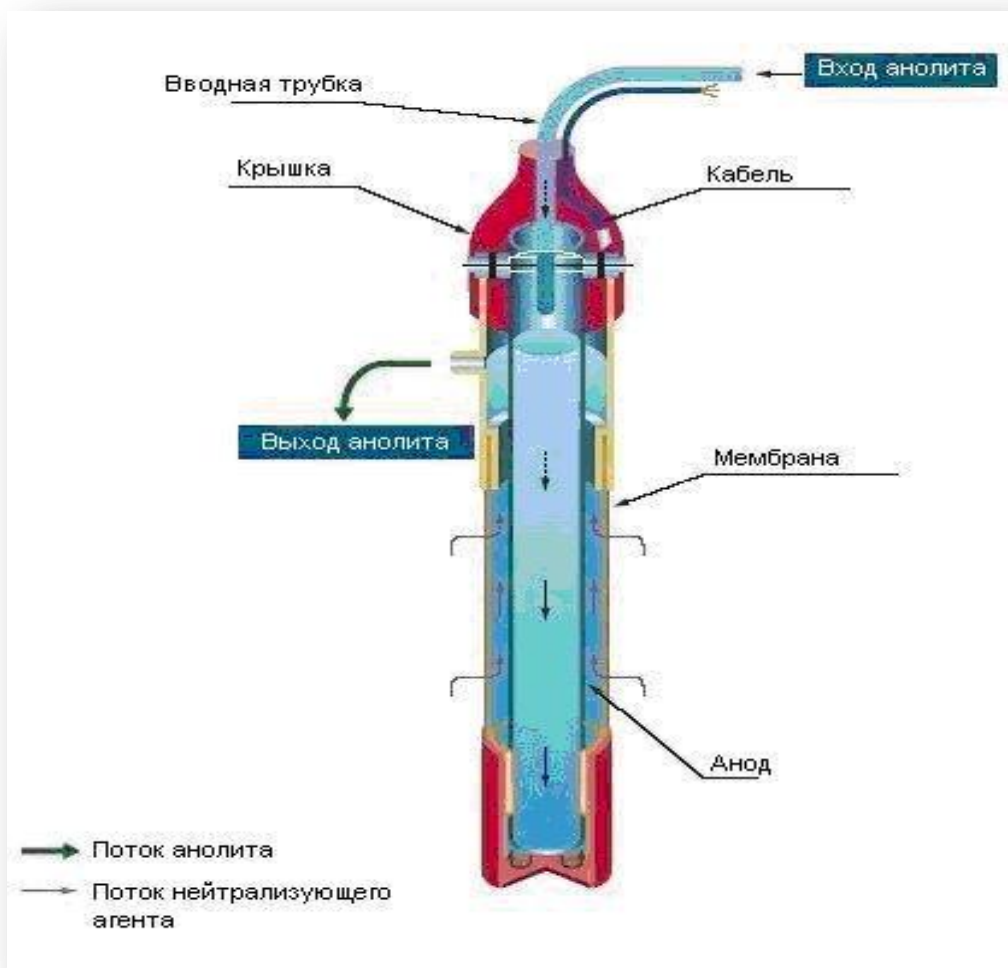
15.4 აპატატები მილისებური ელემენტებით [15]

ასეთი ელემენტები ძირითადად გამოიყენება ზედაპირის დაფარვის პროცესებში ელექტროდალექვის მეთოდით. ასეთი ელემენტის გარე ხედი წარმოდგენილია ნახ.22-ზე.



ნახ. 23 მილისებური ელექტრომემბრანული ელემენტის გარე ხედი

ელექტროლიტის ხსნარი ხვდება ელექტროდში ელემენტის თავსახურში არსებული ხვრელით. იმის შემდეგ, როცა ეს ხსნარი გაივლის ელექტროდის შიგნით, ის იწყებს აწევას ელემენტის ქვედა სახურავიდან, და ავსებს სივრცეს ელექტროდის შიგა მხარესა და იონმიმოცვლითი მემბრანის შიგა მხარეს შორის, როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე. თუ აღებულია ანიონმიმოცვლითი მემბრანა, თავისუფალი ანიონები აბაზანიდან, სადაც ხდება ელექტროდალექვა, მიემართებიან ანოდისაკენ. ამის შემდეგ ისინი გაივლიან ანიონმიმოცვლით მემბრანას, ხვდებიან ელექტროლიტის ხსნარში, სადაც უერთდებიან H^+ იონებს, რომლებიც წარმოიქმნებიან ანოდზე, და ელექტროლიტის ხსნართან ერთად გამოდიან სპეციალური ხვრელიდან. თუ მემბრანა კათიონმიმოცვლითია, მაშინ ის ეწინააღმდეგება ელექტროლიტის ხსნარში ანოდისაკენ მიმართულ ანიონების გატარებას. ამასთანავე H^+ იონები გადადიან აბაზანაში და ამით ინარჩუნებენ იქ მჟავა არეს.



ნახ. 24 მილისებური ელექტრომემბრანული მოდულის მუშაობის პრინციპი.

16. აპარატების ქიმიური რეცხვა

ელექტრომემბრანული აპარატების გარეცხვა შეიძლება იყოს უწყვეტი და პერიოდული.

16.1 უწყვეტი გარეცხვა.

ანიონიტურ მემბრანაში გასული OH^- იონები, კონცენტრირების კამერაში მემბრანის ზედაპირზე წარმოქმნიან თხელ აფსკს (ფენას), რომელშიც ჰიდროქსილ იონების კონცენტრაცია ყოველთვის მეტია, ვიდრე კამერის მოცულობაში, ამიტომ შეყვანილი მჟავას რაოდენობა უნდა იყოს საკმარისი, რომ განეიტრალდეს სწორედ ეს ახლოს მყოფი ჰიდრატული ფენა, რათა ავიცილოთ ამით ნალექების წარმოქმნა მემბრანაზე. ცხადია, რომ ამ დროს გვექნება ჰიდროქსილის იონების სიჭარბე დაკონცენტრირების კამერებში. მჟავას სიჭარბე არასასურველია, ამიტომ მისი დოზირების დროს ხელმძღვანელობენ საკმარისობის მოსაზრებით (pH და ეკონომიკა). პრაქტიკაში მჟავას ხარჯზე ძირითადად მოქმედებს ხსნარის ბუფერულობა, ამიტომ მჟავას ხარჯის ექსპერიმენტალური მონაცემები მერყეობს საკმაოდ ფართო საზღვრებში. კომპანიების უმეტესობა (კერძოდ „Ionics“-სი) იყენებს მარილმჟავას ან გოგირდმჟავას (60-დან 300 გ/მ³). კომპანია «Эйкос»-სი იყენებდა მარილმჟავას pH = 5,9 -მდე უწყვეტ მიწოდებას, რეაგენტის ხარჯი - 300 გ/მ³. კონცენტრატი ნაწილობრივ რეცირკულირებდა, რამაც შესაძლებელი გახადა მჟავის ხარჯის შემცირება დაახლოებით 3-ჯერ. მჟავას მიწოდება დაკონცენტრირების კამერებში უფრო ეფექტურია, მაგრამ ამ დროს დიდია მჟავას ხარჯი, ამიტომ მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ეძებენ დალექვასთან ბრძოლის ალტერნატიულ ვარიანტებს.

16.2 პერიოდული გარეცხვა.

ელექტროდიალიზური დანადგარების მდგრადი მუშაობის უზრუნველყოფისათვის გათვალისწინებულია მათი გეგმიური ტექნიკური მომსახურება. ელექტროდიალიზური დანადგარების მუშაობის საიმედოობისათვის გათვალისწინებულია მათი გეგმიური ტექნიკური მომსახურება. ეს არის თვეში ერთხელ აპარატის გარეცხვა 8% მარილმჟავას ხსნარით და 10% NaCl-ის ხსნარით. პროცესის ხანგრძლიობა 2-3 სთ. ისაძრვრება ძაბვის ვარდნა 25 მმ სისქის მემბრანულ სექციაზე. ძაბვის ვარდნის მატება მიუთითებს ადგილობრივად მარილის ნალექის წარმოქმნაზე. მემბრანის დაზიანების თავიდან

აცილების მიზნით, ადგილობრივად მემბრანის გადახურვის გამო, აპარატს რიგგარეშე რეცხავენ მარილმჟავას ხსნარით. ერთი აპარატის ხელით გარეცხვა ორ მუშას სჭირდება 8-10 სთ. „ეიკოს“ კომპანიაში გამოყენებულია ორიგინალური გარეცხვის სქემა. პოლარობის და ელექტრული დენის ცვლილებას ახდენენ ყოველ 4 სთ-ში. შუალედში (ყოველ 2 სთ-ში) ახდენენ 5-7 წთ აპარატის გარეცხვას 10% მარილმჟავას ხსნარით. ამგვარ სქემას იყენებს მრავალი კომპანია, რამდენადაც ის იძლევა მჟავის ხარჯის შემცირების შესაძლებლობას. მაღალი სიმკვრივის და მაღალი მარილიანობის დროს ეს სქემა არასაკმარისად ეფექტურია. როგორც წესი, პერიოდული გარეცხვა ვერ უზრუნველყოფს ნალექების წარმოქმნის აცილებას ანიონიტურ მემბრანებზე (ყოველ შემთხვევაში, რომლებიც დამზადებულია სტიროლ-დივინილბენზოლის საფუძველზე). მაღალი სიხისტე და კარბონატების არსებობა იწვევს იმას, რომ ნალექი იძენს სპეციფიკურ ხასიათს, მყარდება, მისი ხსნადობა მცირდება. 5% -იანი მარილმჟავის ცირკულაციითაც ხშირად ვერ ხერხდება მემბრანის ზედაპირიდან სრულად ნალექის მოცილება. ამ შემთხვევაში მას მექანიკურად აცილებენ ნეილონის ან სხვა ჩოთქით და მარილმჟავის ხსნარით. ამით მემბრანა არ ფუჭდება, მაგრამ სამუშაო ითხოვს დიდ შრომას. ასეთი ხსნარისათვის უფრო ეფექტურია მარილმჟავის ხსნარის მუდმივი მიწოდება.

16.3 მემბრანებზე ნალექწარმოქმნის თავიდან აცილება.

არსებობს გარკვეული მოთხოვნები მემბრანებზე ნალექწარმოქმნის თავიდან ასაცილებლად:

- ჩარჩოების კონფიგურაცია არ უნდა შეიცავდეს ისეთ ზონებს, სადაც მოხდება ხსნარის გაჩერება;
- კამერებში წყლის ნაკადის სიჩქარე არ უნდა იყოს ნაკლები კრიტიკულ მნიშვნელობაზე;
- საჭიროა მემბრანების გამოყენება რომლებსაც გააჩნიათ თვისება ნალექწარმოქმნის ეფექტის აცილების;
- საჭიროა ქიმიური და ფიზიკური ზემოქმედების გამოყენება, რომლებიც ბლოკავენ ნალექების ზრდას;
- აპარატზე მიწოდებული წყლის ნაკადი შეიძლება ამა თუ იმ ხერხით შემჟავდეს, რაც მოგვცემს ნალექწარმოქმნის აცილების შესაძლებლობას.

17. ელექტრომემბრანული პროცესების საწარმოო გამოყენება.

17.1 წყლის გაუმარილება

ელექტროდიალიზს იყენებენ სასმელი წყლის მისაღებად (0,5-0,8 გ/ლ საერთო მარილშემცველობით), მარილიანი წყლებიდან საერთო მარილშემცველობით 3-10 გ/ლ

ცნობილია, რომ კონცენტრაციის ამ არეში ელექტროდიალიზის გამოყენება უფრო ეკონომიურია, ვიდრე უკუოსმოსის, რომელიც უფრო ეფექტური ხდება საწყისი წყლის მარილშემცველობისას, რომელიც > 10 გ/ლ .

სქემატურად ელექტროდიალიზით გაუმარილების პროცესი წარმოდგენილია ნახ. 10-ზე. მინერალიზირებული ბუნებრივი წყლების გაუმარილების დროს პრობლემა უნდა გადაიჭრას კომპლექსურად, აუცილებელია ვიფიქროთ ასევე მიღებული კონცენტრატის უტილიზაციაზეც. კომპანია “Membrane Technologies” ამ პრობლემას წყვეტს ელექტროდიალიზური დაკონცენტრირების გამოყენებით. ამ კომპანიაში გამოშვებულ კონცენტრატორს აქვს 40 მ³ /დღეში წარმადობა და შესაძლებელია 150-180 მ³ /ლ კონცენტრატის მიღება. შემდეგ შეიძლება კონცენტრატის აორთქლება ღია ფართობზე განლაგებულ ამორთქლებლებში და მყარი მარილის მიღება, შემდეგ მათი გაგზავნა ქარხნებში ნატრიუმის ქლორიდის მისაღებად და გზადაგზა ღირებული კომპონენტების (Br⁻, I⁻, Li⁺), ან კონცენტრატის გამოყენება ნავთობის ჭაბურღილების გასარემონტებლად. ნებისმიერ შემთხვევაში ეკოლოგიის თვალსაზრისით და განსაკუთრებით გამომშრალი რეგიონების ეკოლოგიის, ელექტრომემბრანულ ტექნოლოგიას აქვს უდიდესი მნიშვნელობა გაუმარილების სხვა მეთოდებთან შედარებით, ვინაიდან საერთოდ არ იყენებს ქიმიურ რეაგენტებს და უზრუნველყოფს კონცენტრატის მინიმალურ მოცულობას და მაქსიმალურ კონცენტრაციას, რაც ამარტივებს მის შემდგომ გადამუშავებას. ყველა ელექტროდიალიზატორში, რომლებსაც იყენებენ ყოფილი სსრკ-ის რესპუბლიკებში გამოიყენება MK-40 და MA-40 ტიპის მემბრანები. ეს მემბრანები ზოგიერთი თვისებების მიხედვით ჩამორჩებიან იაპონური და ამერიკული წარმოების მემბრანებს. პირველ რიგში, ეს ეხება MK-40 და MA-40 მემბრანების დიდ სისქეს (0,45-0,60 მმ). მემბრანების დიდ სისქეს მიყვავართ აპარატის გაბარიტული ზომების გადიდებასთან და ელექტროენერჯის გადახარჯვასთან, რაც განსაკუთრებით შესამჩნევი ხდება დასამუშავებელი ხსნარის მაღალი კონცენტრაციების დროს. მაგრამ ხსნარის განზავებით ძაბვის ვარდნის წილი, რომელიც მოდის მემბრანის მასალაზე, მცირდება. ამავდროულად, ამ მემბრანების

დაბალი ფასი, საკმაოდ მაღალი სელექტიურობა, მაღალი მექანიკური სიმტკიცე, გამოშრობისადმი დაბალი მგრძობიარობა, ყველაფერი ეს ხდის ამ მემბრანებს მომხიბვლელს რათა გამოყენებული იყვნენ წყლის გამტკნარებისა და ღრმად გაუმარილებისათვის [8].

ელექტროდიალიზის, როგორც გაუმარილების სფეროს სახით გამოყენებას მიეკუთვნება მისი მეშვეობით შახტის წყლების გაწმენდა. როგორც ექსპერტები აღნიშნავენ, შახტებით გადაღვრილი წყლების ხარისხი არ შეესაბამება დადგენილ სტანდარტებს ტექნიკური და საყოფაცხოვრები საჭიროებებისათვის. ეს წყალი შეიცავს ბევრ სხვადასხვა მინერალს, მავნე ნივთიერებებს და ტოქსიკურ მეტალებს, ამიტომ მისი გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ ღრმა და სრული გაწმენდის შემდეგ. შახტისა და კოლექტორ-დრენაჟული ნიადაგური წყლების კომპლექსური გადამუშავების დროს მინერალური მარილების უტილიზაციის პრობლემის გადაწყვეტას სთავაზობს ვ.დ. გრებენიუკი და მისი კოლეგები (კოლოიდური ქიმიისა და წყლის ქიმიის ინსტიტუტი, ქ. კიევი) დამუხტული მემბრანების გამოყენებით, რომლებიც უმეტესწილად ატარებენ ერთმუხტიან კათიონებს და ანიონებს და აკავებენ მრავალმუხტიან იონებს. ამით იქმნება საშუალება დასამუშავებელი წყლიდან მოცილებული იყოს ნიადაგის სტრუქტურის დამრღვევი იონები (Na^+ , Cl^-), ხოლო სტრუქტურის გამამტკიცებელი (Ca^{2+} , Mg^{2+}), დარჩნენ დიალიზატში, რომელიც შემდეგ შეიძლება გამოყენებული იქნეს მოსარწყავად. მუხტის მიმართ სელექტიური მემბრანების გამოყენების დამატებითი უპირატესობა იმაშიც მდგომარეობს, რომ შეიძლება გამარტივდეს წყლის დამზადება ელექტროდიალიზამდე და ასევე გაიზარდოს კონცენტრატის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია [8].

17.2 გამოყენება რძის წარმოებაში

დღეისათვის რძის საწარმოებისათვის აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს რძის შრატის სრული და რაციონალური გამოყენება. ქვეყნებისათვის (აშშ, კანადა, სკანდინავიის ქვეყნები, ნიდერლანდები და სხვ) სადაც რძის წარმოება კარგად არის განვითარებული, რძის შრატის 90% გამოიყენება კვების პროდუქტებისა და ცხოველების საკვები საშუალებების მისაღებად. რძის შრატის გადამუშავების პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს ლაქტულოზით (რძის ნედლეულის ლაქტოზის მიმართული

იზომერიზაციით მიღებული) გამდიდრებული შედეგებული და მშრალი კონცენტრატების მიღება, რაც საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ კონცენტრატები ფუნქციონალური კვების პროდუქტების ტექნოლოგიაში. განვითარებულ ქვეყნებში სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება რძის შრატის გადამამუშავება ელექტროდიალიზით. რძის ტექნოლოგიაში ამ პროცესის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია ნახშირწყლების შემცველი ნედლეულის დამატებითი წყაროს მიღება. მათი სწორად გადამამუშავების შემთხვევაში იზრდება რძის გადამამუშავებელი საწარმოების ეფექტურობა, წარმოება ხდება უნარჩუნო და ასევე ფართოვდება წარმოებული პროდუქტების ასორტიმენტი [16].

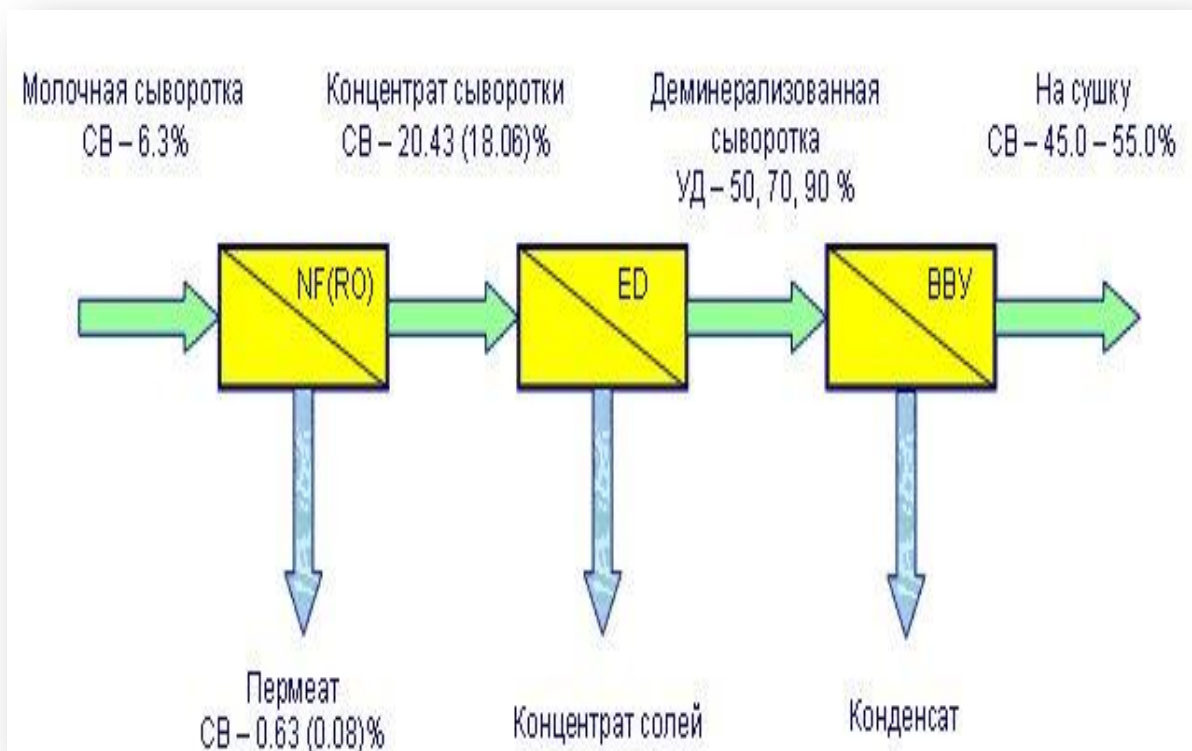
შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი ძირითადი მიმართულებები და ელექტროდიალიზის საფუძველზე დემინერალიზირებული რძის შრატის გამოყენების შესაძლებლობები: ბავშვთა კვება, რძე-ცილოვანი კონცენტრატები, სიროპები, სასმელები, სამკურნალო და დიეტური პროდუქტები, ნაყინი და სხვა [9].

რძის შრატი დიდი რაოდენობით შეიცავს მინერალურ ნივთიერებებს მაკრო - და მიკროელემენტების სახით. მათ მოსაცილებლად ეფექტურია ელექტროდიალიზის გამოყენება.

ელექტროდიალიზური დამამუშავების ძირითადი ამოცანა მდგომარეობს მის დემინერალიზაციაში (ნახ.25). მარილების მოცილება საშუალებას იძლევა მივიღოთ გაუმარილებული ლაქტოზის ხსნარი, რომლის გადამამუშავებით მიიღება მაღალი სისუფთავის რძის შაქარი და ასევე იქმნება დემინერალიზებული ლაქტოზური ხსნარის გადამამუშავების ახალი შესაძლებლობა. ასევე აღსანიშნავია, რომ მარილების უმნიშვნელო შემცველობა ლაქტოზის შედეგებულ ხსნარში ხელს უწყობს მის უფროსწრაფ კრისტალიზაციას და რძის შაქრის წარმოების ინტენსიფიკაციას .

მინერალურ ნივთიერებათა იონების შემცველობის შემცირების სიჩქარე გაუმარილების დროს სხვადასხვაა. ამის მიზეზია - იონების მოძრაობის სხვადასხვა სიჩქარე, რომელიც დამოკიდებულია მინერალური მარილების დისოციაციის ხარისხზე. გარდა ამისა, მარილების ნაწილი იმყოფება რძის შრატის რეალიზაციაში კომპლექსების ან უხსნადი ფორმის სახით, რაც ცხადია მოქმედებს დემინერალიზაციის სიჩქარეზე.

ელექტროდიალიზური დამამუშავების დროს დასაწყისში სცილდებიან ერთმუხტიანი იონები, ხოლო უფრო მაღალი მუხტის მქონე იონები სცილდებიან დემინერალიზაციის მხოლოდ 50% დონის მიღწევის შემდეგ.



ნახ. 25 დემინერალიზებული რძის შრატის წარმოების სქემა: NF – ნანოფილტრაცია; RO – უკუოსმოსი ; ED – ელექტროდიალიზი ; BBU – ვაკუუმ-ამაორთქლებელი დანადგარი .

საწინააღმდეგო სურათი შეიმჩნევა მიკროელემენტების მოცილების პროცესის დროს. იაპონელი სპეციალისტების მიხედვით ისეთი მიკროელემენტების მასური წილი როგორცაა Fe, Cu, Zn, Mn, ელექტროდიალიზის დროს იცვლება უმნიშვნელოდ. ელექტროდიალიზური დამუშავების დროს მიკროელემენტები არ სცილდება და ამიტომ მათი პროცენტული შემცველობა გაუმარილებული შრატის მშრალ ნივთიერებაში არა თუ მცირდება, არამედ მატულობს კიდევ. მაშასადამე, ეს მეტალები არ ექვემდებარებიან ელექტროდიალიზურ დამუშავებას. თვლიან, რომ ისინი არსებობენ არაიონურ ფორმაში და დაკავშირებული არიან ცილოვან ნივთიერებებთან. ამასთან, ყურადსაღებია, რომ ელექტროდიალიზის დროს შრატიდან სრულად სცილდებიან ქლორის იონები. შესაბამისად, მისი დემინერალიზაციის დროს კარგად სცილდებიან არაორგანულ მჟავათა ანიონები. რაც შეეხება ორგანული მჟავების მოცილებას, მონაცემების თანახმად რძის მჟავის შესახებ, ისინი გამოიყოფიან საშუალო სიჩქარით , რომელიც არსებობს ერთ- და ორმუხტიან არაორგანულ ანიონების გამოყოფის სიჩქარეებს შორის. რძის შრატის ელექტროდიალიზის პროცესში მასური წილი შრატოვანი ცილების, ლაქტოზის და

ვიტამინების პრაქტიკულად არ ექვემდებარებიან რაიმე თვისობრივ და რაოდენობრივ ცვლილებებს. ამ პროცესის დროს ცილების დანაკარგი შეადგენს მხოლოდ 2-3%, არაცილოვანი აზოტოვანი ნივთიერებების რაოდენობა მცირდება 25%-ით, ხოლო ლაქტოზის შემცველობა, დემინერალიზაციის 90% ხარისხის დროს, მცირდება 6%-ით. არაცილოვანი აზოტოვანი ნივთიერებების მასური წილის შემცირება ხდება საწყისი რძის შრატში შემავალი შარდოვანას დისოცირებული იონების მოცილების გამო. ელექტროდიალიზის დროს მასში მინერალური მარილების შემცირება, ცხადია იწვევს მისი გასატიტრი მჟავიანობის შემცირებას. ყველის შრატის 58 და 90% ხარისხით დემინერალიზაციის დროს იგი შეადგენს 29 და 60 % შესაბამისად, ხოლო ხაჭოს შრატისას - 50% დემინერალიზაციისას 33%-ს. მაგრამ ამ პროცესში არც თუ უკანასკნელ როლს თამაშობს არაორგანული და ორგანული მჟავების მოცილებაც. ელექტროდიალიზით დემინერალიზებული რძის შრატის გადამუშავების გზების შერჩევის დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს pH უცვლელობას. აქედან გამომდინარე, ხაჭოს შრატის დაბალი pH -ის გამო საჭიროა მისი არევა საკვებ ნედლეულთან, რომელსაც აქვს ნეიტრალური pH. ნედლი ყველის შრატი შეიცავს კალციუმს, ფოსფორს და სხვა არაორგანულ მარილებს, რომელთა მოცილება აუცილებელია, რომ მივიღოთ გაწმენდილი შრატი ისეთი პროდუქტების მისაღებად, როგორცაა ნაინი, კეფსი, პური და ბავშვთა კვება. გარდა გაუმარილებული შრატის მიღებისა ელექტროდიალიზი შეიძლება გამოყენებული იყოს მსგავს პროცესებში ცხიმმოცილებულ რძეში მისი ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

ელექტროდიალიზის ტექნიკით შეიძლება ვაწარმოოთ დემინერალიზირებული რძის შრატი ბავშვთა კვებისათვის. პირდაპირ ნაკადიანი ელექტროდიალიზით ჩვეულებრივ მიიღწევა რძის შრატის 90% დემინერალიზაცია. საწყისი შრატი კონცენტრირდება 23-27% მყარ ნივთიერებამდე ელექტროდიალიზის წინ გაკამკამდება. დემინერალიზაციის შემდეგ მას დამატებით აკონცენტრირებენ და აუწყლოებენ.

სტანდარტული შრატის გადამამუშავებელი ხაზი შედგება სამი ელექტროდიალიზური აპარატისაგან, თითოეული 200 წყვილი კამერისაგან და 192 მ² მემბრანის საერთო ეფექტური ფართობისაგან. ამ დანადგარის წარმადობა შეადგენს 2000 ტ/წელიწადში შრატის ფხვნილი 90% -იანი დემინერალიზაციის დროს.

მინერალური ნივთიერებების შემცველობა რძის შრატში მისი სხვადასხვა დემინერალიზაციის დროს.

ცხრილი 1.

N/N	განსასაზღვრავი ნივთიერება, მშრალ ნივთიერებაზე გადაანგარიშებით, მგ	დემინერალიზაციის ხარისხი, %			
		0	51	74	90
1	ნაცარი (Зола)	7670	3730	1990	790
2	ქლორი	1640	266	17	კვალი
3	კალციუმი	536	509	457	182
4	რკინა	1,69	1,91	2,01	1,81
5	სპილენძი	0,24	0,30	0,33	0,26
6	თუთია	0,51	1,73	1,72	1,74
7	მანგანუმი	0,09	0,10	0,10	0,06

17.3 გამოყენება გაღვანური წარმოების ჩამონადენი წყლების გასაწმენდათ

გაღვანური წარმოების ჩამონადენი წყლები ითვლება ყველაზე დაბინძურებულ წყლებად. როგორც წესი, საწარმოთა უმრავლესობაში ახდენენ ნაკლებად დაბინძურებული და კონცენტრირებული წყლების შერევას და შემდეგ ერთად დამუშავებას. რეაგენტული დამუშავება, როგორც ყველაზე გავრცელებული მეთოდი ჩამდინარე წყლების გაწმენდის, რომელიც ითვალისწინებს შემდგომ გაწმენდილი წყლის კანალიზაციაში გადაღვრას, ხშირად არ იძლევა წყლის საჭირო მაჩვენებლამდე გაწმენდის საშუალებას, განსაკუთრებით მძიმე მეტალების მიხედვით. წარმოქმნილი პრობლემების რადიკალური გადაწყვეტის ჯერჯერობით ერთადერთ საშუალებას წარმოადგენს წყლის გაწმენდის ჩაკეტილი სისტემების დანერგვა წარმოებაში და წუფთა წყლის ან ტექნოლოგიური ხსნარებისა და ღირებული პროდუქტების მიღება და გამოყოფა საწარმოო ჩამონადენი

წყლებიდან. პრიორიტეტული მიმართულება ხდება ლოკალური გაწმენდის სისტემების შექმნა და ჩამონადენი წყლების ადგილობრივი გაწმენდა. გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდა, რომელიც შეიცავს მრავალ ორგანულ კომპონენტს, გამწვანებულია უკუოსმოსით, ულტრაფილტრაციის შემდეგაც კი. ელექტროდიალიზი უპირობოდ წარმოადგენს ასეთი წყლების გაწმენდის ძირითად და ყველაზე პერსპექტიულ მეთოდს. არსებობს რამდენიმე ვარიანტი განზავებული გალვანური წარმოების ჩამონადენი წყლების გაწმენდის. ელექტროდიალიზის კლასიკური ვარიანტი შეიძლება გამოვიყენოთ მეტალების დასაკონცენტრირებლად. ამ დროს კონცენტრატი ბრუნდება ძირითად ციკლში, ხოლო გაუმარილებული წყალი - წრიული წყალმომარაგების ციკლში. ასეთი სქემა ახლოსაა იდეალურთან, მაგრამ კონცენტრატის დაბრუნება უკან ციკლში ხშირად ვერ ხერხდება მისი დიდი დაბინძურების გამო. ამიტომ კონცენტრატი შეიძლება მივმართოდ მინი - ელექტროლიზიორში მეტალების გამოსაყოფად. სხვა ვარიანტში მეტალი შეიძლება გამოვლექოთ სულფიდების ან ჰიდროქსიდების სახით, ხოლო ექვსვალენტიანი ქრომის შემთხვევაში - ჰიდროქსიდების სახით, მისი ნატრიუმის ბისულფიდით აღდგენის შემდეგ. ციანიდური და კომპლექსური ხსნარები გადამუშავდება სტადიებად მათი ძლიერი დამჟანგველებით დამუშავების შემდეგ. დიალიზატი ყოველთვის შეიძლება მიღებული იყოს მაღალი ხარისხის, რომელიც სრულად აკმაყოფილებს მოთხოვნებს, რაც წაეყენება ჩამდინარე წყალს (ხშირად), ან წყალს, რომელსაც იყენებენ დეტალების გასარეცხად (იშვიათად). შესაძლებელია შემთხვევები, როცა ჩამდინარე წყალი შეიცავს დიდი რაოდენობით ორგანულ პოლიელექტროლიტებს ან კომპლექსწარმომქნელებს და ელექტროდიალიზის პირდაპირი გამოყენება ამ დროს არაეფექტურია. ამ შემთხვევაში მაგალითად, შეიძლება ძლიერი დამჟანგველის (ოზონის) შეყვანა და შემდგომი ფილტრაცია. ელექტროდიალიზის გამოყენების დროს მხედველობაშია მისაღები მემბრანების „მოწამვლა“ მრავალმუხტიანი კათიონებით, მათი ჰიდროქსიდებით და სხვა ნივთიერებებით. რაც ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში მოითხოვს შესაბამისი კვლევის ჩატარებას და ასევე გარკვეული ტიპის მემბრანების შემუშავებას. უკანასკნელ დროს ფართოდ ვითარდება გალვანოტექნიკაში ელექტროდიალიზის გამოყენება. მისი გამოყენება მიზანშეწონილია როგორც ეკოლოგიის, ასევე ეკონომიკის თვალსაზრისით, რამდენადაც იქმნება შესაძლებლობა დავაბრუნოთ პროცესში ელექტროლიტი [17].

ელექტროდიალიზურ აპარატში გალვანური წყლების დამუშავების შედეგები

ცხრილი 2.

N/N	ელემენტი ან მარილი	გალვანური ან გამრეცხი წყალი კონცენტრაცია, გ/ლ	
		გაწმენდამდე	გაწმენდის შემდეგ
1	$NiSO_4 \times 6H_2O$	300	14
2	$NiCl_2 \times 6H_2O$	50	5,8
3	Cu^{2+}	0,16	0,01
4	H^+	0,088	0,05
5	Zn^{2+}	100	2,5-3,0
6	$Ag (CN)_2^-$	36	0,5
7	KCN	60	0,8
8	CN	40	0,6
9	K_2CO_3	45	0,6

ელექტროდიალიზის ორი თვისება - მინარევებისადმი დაბალი მგრძობიარობა და განარეცხი წყლების კონცენტრაციის მიყვანა გამოყენებულ საწყის ელექტროლიტამდე, მნიშვნელოვანია ყველა სხვა მოსაზრებაზე. გამონათქვამი ელექტროდიალიზის მიერ დიდი ელექტროენერჯის მოხმარების შესახებ, აღმოჩნდა სრულიად უსაფუძვლო. იმავე ავტორებმა დაამტკიცეს ელექტროდიალიზის გამოყენების ეფექტურობა გალვანური წარმოების ჩამონადენი წყლების გასაწმენდად. იაპონიაში ელექტროდიალიზის გამოყენება გალვანოტექნიკაში ჩვეულებრივი და გავრცელებული პროცესია.

17.4 გამოყენება რადიოაქტიური ნაკადების დასამუშავებლად.

თანამედროვე ტექნიკაში რადიოაქტიური ნივთიერებების ფართო გამოყენება იწვევს მათ მოხვედრას გარემოში და შესაბამისად მოითხოვს რიგი ღონისძიებების გატარებას წყლის, ჰაერისა და ნიადაგის გასაწმენდად, ხალხის, ტექნიკის, შენობებისა და ნაგებობების და ა.შ. დეზაქტივაციას. ეს ამოცანები განსაკუთრებით რთულდება ავარიულ სიტუაციაში წყლის მასიური დაბინძურებისას ფართო სპექტრის რადიონუკლიდებით. წყლის გაწმენდის

ეფექტი აუცილებლად უნდა შედარდეს ცალკეული რადიონუკლიდების დასაშვებ და ზღვრულად დასაშვებ დონეებს, ან მათი ნარევების დასაშვებ დონეებს წყალში და ასევე იმ ელემენტების ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს სასმელ წყალში, რომლებიც შეიძლება [17] შეყვანილი იქნენ გაწმენდისათვის გამოყენებულ რეაგენტებთან ერთად (ГОСТ 2874-82 « სასმელი წყალი») ამგვარად, *ბუნებრივი და ჩამდინარე წყლების გაწმენდის მეთოდების შერჩევისა და დასაბუთების დროს აუცილებელია გავითვალისწინოთ შემდეგი ძირითადი პრინციპი:*

- წყლის გაწმენდა უნდა იყოს ეფექტური რადიონუკლიდების ყველა სპექტრის მიხედვით, განსაკუთრებით მაღალტოქსიკური (α გამოსხივების, ^{131}I , ^{99}Mo , ^{103}Ru , $^{89,90}\text{Sr}$, $^{134,137}\text{Cs}$) მიხედვით.
- მხოლოდ ორი მემბრანული მეთოდი, ტექნიკის განვითარების დღევანდელი დონის დროს, - უკუოსმოსი და ელექტროდიალიზი, შეიძლება იყოს გამოყენებული. მაგრამ წყლის დიდი მოცულობების დამუშავების შემთხვევაში და ხსნარში მარილის მნიშვნელოვანი კონცენტრაციების აუცილებლობის დროს უკუოსმოსის გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი.

ღია წყლის წყაროებში ძირითადი რადიონუკლიდების კონცენტრაციის დასაშვები დონეები.

ცხრილი 3.

N/N	რადიონუკლიდი	კონცენტრაციის დასაშვები დონე.		რადიონუკლიდი	კონცენტრაციის დასაშვები დონე.	
		ДКб, Бк/л	ДКк, Ки/л		ДКб, Бк/л	ДКк, Ки/л
1						
2	^{45}Ca	$3,3 \times 10^2$	$8,9 \times 10^{-9}$	^{89}Sr	$4,4 \times 10^2$	$1,2 \times 10^{-8}$
3	^{95}Zr	$2,3 \times 10^3$	$6,2 \times 10^{-8}$	^{90}Sr	$1,5 \times 10^2$	$4,1 \times 10^{-9}$
4	^{95}Nb	$3,6 \times 10^3$	$9,7 \times 10^{-8}$	^{90}Y	$7,4 \times 10^2$	$2,0 \times 10^{-8}$
5	^{131}I	$0,7 \times 10^2$	$1,9 \times 10^{-9}$	^{103}Ru	$3,7 \times 10^3$	$1,0 \times 10^{-7}$
6	^{99}Mo	$1,5 \times 10^3$	$4,1 \times 10^{-8}$	^{106}Ru	$4,4 \times 10^2$	$1,2 \times 10^{-8}$
7	^{137}Cs	$5,5 \times 10^2$	$1,5 \times 10^{-8}$	^{40}Ba	$9,3 \times 10^2$	$2,5 \times 10^{-8}$
8	^{144}Ce	$4,4 \times 10^2$	$1,2 \times 10^{-8}$	^{140}La	$8,1 \times 10^2$	$2,2 \times 10^{-8}$

ელექტროდიალიზი წარმოადგენს ერთადერთ სისტემას, როდესაც წყლის წინასწარი მომზადება შეიძლება დაყვანილი იყოს მინიმუმამდე.

ექსპლუატაციური რეჟიმის თავისებურება შეიძლება განხორციელდეს ორ ვარიანტად:

- მჟავის (HCl) შეყვანით კონცენტრირების არხში;
- რომელიმე რეაგენტის (მჟავის ან ინჰიბიტორის) არ შეყვანით;

საცდელ სტენდზე ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ წყლის მცირე მარილიანობის (130-250 მგ/ლ) შემთხვევაში რეაგენტების შეყვანა აპარატში არ არის სავალდებულო. რევერსიული ელექტროდიალიზის დროს (ჰიდრავლიკური ნაკადების და პოლარობის შეცვლა), აპარატმა გარეცხვის გარეშე შეიძლება იმუშაოს ნახევარი წლიდან ერთ წლამდე.

დღეისათვის გაწმენდილ წყალში ყველა ელემენტის, მათ შორის რადიოაქტიური იზოტოპების კონცენტრაციის შემცირება 50-100 -ჯერ არ წარმოადგენს ფანტასტიკას.

რადიოაქტიური დამაბინძურებლების ზღვ წყალში

ცხრილი 4.

N/N	დაბინძურებული წყლის შედგენილობა	ПДК _{вод} , Ки/л
1	რადიოიზოტოპების ნარევი გაურკვეველი თანაფარდობის დროს	არა უმეტეს 3×10 ⁻¹¹
	<i>ნარევი არყოფნა:</i>	
2	^{226, 228} Ra	3×10 ⁻¹¹
3	⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I, ²¹⁰ Pb, ^{226,228} Ra	2×10 ⁻¹⁰
4	⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I, ²¹⁰ Pb, Th _{ecr} , ^{223,226,228,231} Ra	7×10 ⁻¹⁰
5	⁹⁰ Sr, ^{126, 129,131} I, ²¹⁰ Pb, ²¹¹ At, ²²⁷ Ac, ^{230,232} Th, Th _{ecr} , ^{223, 224, 226, 228, 231} Ra	1×10 ⁻⁹

ელექტროდიალიზური დანადგარი წარმადობით 208 ლ/სთ, უზრუნველყოფს 887 მგ/ლ მარილშემცველობის მქონე წყლის დემინერალიზაციას 300 მგ/ლ-მდე. მაგრამ რადიოაქტიური იზოტოპების 99,9% გაწმენდის ხარისხის მისაღწევად, საჭიროა დასამუშავებელი წყლის მინერალიზაცია დაყვანილი იყოს 1,5 მგ/ლ-მდე, რაც იწვევს წარმადობის შემცირებას 26 ლ/სთ -მდე.

გაწმენდის მაღალი ხარისხი კონცენტრატის მიღების შესაძლებლობით, რომელიც შეიცავს

რადიოაქტიურ იზოტოპებს განსაზღვრული მოცულობით (5%-მდე), ხდის ელექტროდიალიზს ყველაზე პერსპექტიულ ტექნოლოგიად ასეთი ტიპის წყლების გასაწმენდად. რადიოაქტიურობა, რომელიც კონტროლდება როგორც საერთო α -აქტიურობა , ყველა ექსპერიმენტში იყო ზღვ-ზე (0,1 Бк/л) ნაკლები. გაწმენდის ხარისხმა გადააჭარბა 98%.

უკვე დღეისათვის ეკონომიურად გამართლებულია რადიოაქტიური იზოტოპების შემცველი სასმელი წყლის დამუშავება სოფლებისათვის 10000 კაცამდე მაცხოვრებლით. ამასთან, კონცენტრატის მოცულობა, რომელიც დაექვემდებარება დამუშავებას ან ჩამარხვას, არ გადააჭარბებს რამდენიმე კუბომეტრს დღეში.

18. სისტემები ჩაკეტილი ციკლით

ჩაკეტილი სისტემები წარმოადგენს ცივილიზაციის სასიცოცხლო ატრიბუტს. კოსმოსური აპარატების გაფრენა შორეულ მანძილზე შეუძლებელი იქნებოდა მათ გარეშე.

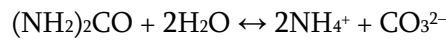
არსებობს ორი პრობლემა, სადაც ელექტროდიალიზის გამოყენება იძლევა რევოლუციურ ეფექტს:

- წყლის რეგენერაცია კონდენსატიდან და ურინიდან
- ჰაერის გაწმენდა ნახშირბადის ოქსიდიდან.

პირველი ნაშრომები, ყოველ შემთხვევაში რუსეთში არ ითვალისწინებდნენ ელექტროდიალიზს. ურინიდან და ატმოსფერული ტენის კონდენსატიდან წყლის რეგენერაციის დღეს არებული სისტემები დაფუძნებულია დისტილაციაზე და დისტილატის შემდგომ, გაწმენდაზე ელექტროდაჟანგვით და სორბციით იონიტებზე . ელექტრონერგის მნიშვნელოვანი ხარჯი, იმ პირობებში როცა კოსმოსური აპარატის ხანგრძლივი ფრენაა დაგეგმილი და ასევე წყლის დიდი დანაკარგი (20 %-მდე), დისტილაციას ქმნის ნაკლებად გამოყენებადს. ამიტომ მუდმივად მიდის ძიება უფრო პერსპექტიული ტექნოლოგიების.

ყუბანის უნივერსიტეტის (ქ.კრასნოდარი) პროფესორის ვ.ი.ზაბოლოცკის მიერ განხილულია ტექნოლოგიის პრინციპი, რომელიც მოიცავს ურეაზის ფერმენტულ ჰიდროლიზს შემდგომი დამუშავებით ელექტროდიალიზის მეთოდით.

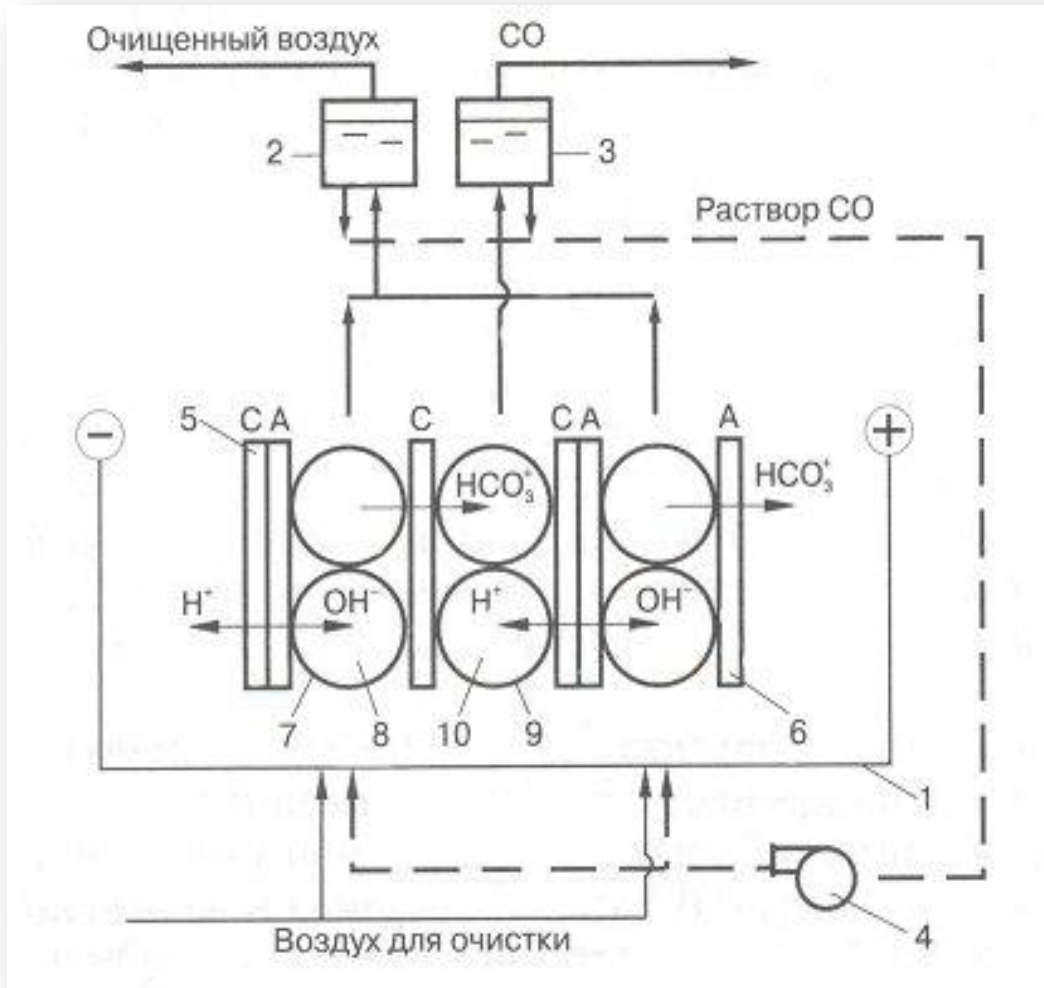
ცნობილია, რომ კარბამიდი ურეაზის ფერმენტის თანაობისას დიდი სიჩქარით ჰიდროლიზდება შემდეგი რეაქციით:



იონიზირებული პროდუქტების მოცილება კი ელექტროდიალიზით არ წარმოადგენს სირთულეს. ურეაზის ნათიური ფორმა მალე ინაქტიურდება, რის გამოც მისი გამოყენება შეიძლება ერთჯერადად (5ლ ურინისათვის საჭიროა 1-2 გ ურეაზა). ფერმენტული ჰიდროლიზის შემდეგ ურეაზა ადვილად სცილდება ულტრაფილტრაციით. ურეაზის იმობილიზირებული ფორმა იძლევა მისი მრავალჯერადად გამოყენების შესაძლებლობას. ამონიუმის კარბონატის და ნატრიუმის ქლორიდის ნარევი მიეწოდება ელექტროდიალიზატორ-კონცენტრატორს, სადაც მარილები სცილდება წყლის მინიმალური დანაკარგით. ძირითადი შეზღუდვა, რომელიც აკავებს ურინიდან წყლის რეგენერაციის ბიოქიმიურ ელექტრომემბრანული ხერხის გამოყენებას, დაკავშირებულია ურეაზის იმობილიზირებული ფორმის არასაკმარის სტაბილურობაზე და აქტიურობაზე. ამ ფორმის საუკეთესო ნიმუშები თავის აქტიურობას კარგავდნენ 10 ციკლის შემდეგ. მაგრამ ბიოქიმიის სწრაფი განვითარება იმედს იძლევა შეიქმნას ხანგრძლივად ფუნქციონირებადი კარბამიდის დამშლელი ფერმენტები. ამავდროულად, ეს ტექნოლოგია რთულია ინჟინერული უზრუნველყოფის თვალსაზრისითაც [18-21].

შესაძლებელია, და უფრო პერსპექტიულია ელექტროლიზორში უხსნადი ელექტროდებით, ურინის დესტრუქციის ტექნოლოგია, შემდგომი სორბციით და ელექტროდიალიზით. კონდენსატი გადამუშავდება ანალოგიური ტექნოლოგიით. ამ მიმართულებით სამუშაოების მნიშვნელოვანი მოცულობა შესრულებულია ვ.ი.ზაბოლოცკის სკოლის მიერ. მათი კვლევის საბოლოო შედეგია - ჰაერის რეგენერაციის სისტემა, რომელშიც გამოიყენება ელექტროდიალიზატორი პოლიმერული ელექტროლიტით. ანიონის, რომელიც ავსებს სორბციულ კამერებს, უნდა ჰქონდეს მაღალი სორბციის უნარი CO_2 -ის მიხედვით, ელექტროგამტარობა ჰიდროქსილისა და კარბონატის ფორმაში და განვითარებული ხვედრითი ზედაპირი. კათიონის, რომელიც ავსებს დაკონცენტრირების კამერებს, უნდა ჰქონდეს მაღალი ელექტროგამტარობა H^+ -ფორმაში. მის ფორიანობას გადამწყვეტი მნიშვნელობა არა აქვს. აირგაწმენდის პროცესის თავისებურებას წარმოადგენს წყლის დისოციაციის რეაქციის გამოყენება ნახშირბადის ოქსიდის მოლეკულების სორბციისათვის და მისი გამოყოფა კონცენტრირებული სახით.

ეს ენერგოტევადი პროცესია, რომელსაც შეაქვს მნიშვნელოვანი წილი ძაბვის ვარდნაზე მემბრანული პაკეტზე. მემბრანულ პაკეტზე მიმდინარე სორბცია-დესორბცია პროცესების არსი და იონური ნაკადების მიმართულება ადვილად შეიძლება ვნახოთ ნახ. 5.3-ზე მოყვანილ სქემაზე. პროცესის ენერგობარჯი შეადგენს $5 \text{ კვტ} \times \text{სთ/ლ CO}_2$.



ნახ. 25 ელექტროდიალიზური აპარატის მემბრანული პაკეტის სქემა სორბციის კამერებში პოლიმერული ელექტროლიტის ერთი ფენით : 1 - ელექტროდიალიზური აპარატი; 2 - ავზი კარბონატული ბუფერული ხსნარით; 3 - გამყოფი ავზი; 4 - ტუმბო; 5 - ბიპოლარული მემბრანა; 6 - ანიონმიმოცვლითი მემბრანა; 7 - მშთანთქმელი კამერები; 8 - ანიონმიმოცვლითი საფენი; 9 - დაკონცენტრირების კამერები; 10 - კათიონმიმოცვლითი საფენი.

19. ბუნებრივი და საწარმოო ჩამდინარე წყლების გაწმენდა

წარმოების, კერძოდ ქიმიური წარმოების მამტაბების ზრდამ : ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების, ფლოტორეაგენტების, ემულგატორების, ქაფწარმომქმნელების, სინთეტიკური საპნების და ა.შ., ფართო გამოყენებამ დააბინძურა გარემო და ეს სიტუაცია მოითხოვს ჩამდინარე წყლების დემინერალიზაციის ისეთი საიმედო მეთოდების შემუშავებასა და გამოყენებას, რომლებიც შეამცირებენ გარემოს დაბინძურებას მინერალური ნაერთებითა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით.

მსოფლიო ეკონომიკის განვითარების პროგნოზებში მემბრანული ტექნოლოგია განიხილება როგორც მომავლის ტექნოლოგია. აღსანიშნავია, რომ განვითარებულ ქვეყნებში მემბრანული ტექნოლოგიის გამოყენების ყოველწლიური მოცულობა იზრდება 20–25%–ით. მემბრანულმა ტექნოლოგიებმა მთელ მსოფლიოში დაამტკიცეს თავისი უპირატესობა გაზებისა და სითხეების ნარევების დაყოფის, გაუმარილებისა და დაკონცენტრირებისათვის ტრადიციულ ტექნოლოგიებთან შედარებით.

დღეისათვის ეჭვს არ იწვევს მათი ფართო გამოყენების შესაძლებლობა ქიმიურ და კვების მრეწველობაში, ასევე ნარჩენების გადამუშავებისათვის. ამჟამად, მემბრანული პროცესები გამოიყენება ადამიანის მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროში. მემბრანული ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა ფაზური გადასვლებისა და ტემპერატურის მომატების გარეშე, მცირე ენერგოხარჯებით მიღებული იყოს მაღალხარისხოვანი პროდუქცია,

ელექტრომემბრანულ პროცესებს განეკუთვნება ელექტროდიალიზი .

ელექტროდიალიზი - მეთოდია, რომელიც დაფუძნებულია ელექტრული ველის გავლენით იონების მიმართულ მოძრაობაზე სისტემაში იონმიმოვლითი მემბრანებით დადებითად და უარყოფითად დამუხტული ელექტროდებისაკენ. ამ მეთოდის უპირატესობას იონმიმოვლით ტექნოლოგიასთან შედარებით, რომელიც ზოგ შემთხვევაში იგივე ამოცანებს წყვეტს რასაც ელექტროდიალიზი, წარმოადგენს ის რომ, იგი არ საჭიროებს ქიმიური რეაგენტების ჭარბი რაოდენობით მოხმარებას მემბრანებისა და ელექტროდიალიზური დანადგარის რეგენერაციისათვის; ადვილია პროცესის ავტომატიზირება და უწყვეტად ჩატარება; მცირეა მოხმარებული ელექტროენერჯის ხარჯი.

ელექტროდიალიზური დანადგარების ხანგრძლივი ექსპლუატაციის დროს, მიმდინარეობს ხსნარების გაუმარილების პროცესების გაუარესება, რაც გამოწვეულია

მემბრანების ზედაპირზე ორგანული ნივთიერებების სორბციით, მემბრანაზე წარმოიქმნება ნალექი, ფორები იბლოკება და მემბრანა "იწამლება" ანუ კარგავს თავის სელექტიურობას.

აღსანიშნავია, რომ იონიტები და იონმიმოცვლითი მემბრანები ფართოდ გამოიყენება სორბენტის სახით ფარმაცევტულ წარმოებაში სამკურნალო და ბიოლოგიური პრეპარატების დაკონცენტრირება - გაწმენდისათვის, რომლებიც უმეტეს შემთხვევაში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებია. სორბენტში და მემბრანაში მიმდინარე პროცესების ასახსნელად, ინტერესს წარმოადგენდა მემბრანაში მსხვილი ორგანული იონების ქცევის შესწავლა - იონმიმოცვლითი მემბრანების სორბციული მახასიათებლების განსაზღვრა ორგანული (ნატრიუმის ბენზოლსულფონატი - NaBS, ნატრიუმის ნაფტალინი - 2 სულფონატი - NaNS და ცეტილპირიდინიუმის ქლორიდი-CPCI) ელექტროლიტების ხსნარებში.

19.1 ზოგიერთი წარმოდგენები იონმიმოცვლითი მემბრანების სტრუქტურაზე.

სინთეტიკური იონმიმოცვლითი მასალები წარმოადგენენ ნახშირწყაბადურ სივრცით ბადემატრიცას, რომელშიც ქიმიური ბმებით უძრავად დამაგრებულია დადებითად ან უარყოფითად დამუხტული იონოგენური ჯგუფები. ჯგუფების მუხტები კომპენსირდება მოძრავი - უკუიონების მუხტით. ფიქსირებული აქტიური ჯგუფებისა და შესაბამისად უკუიონების კონცენტრაცია იონიტში, როგორც წესი, საკმაოდ მაღალია.

მიღების ხერხით, იონიტები იყოფა: პოლიკონდენსაციური და პოლიმერიზაციული, ფიქსირებული აქტიური ჯგუფების მუხტის ნიშნით : კათიონიტები და ანიონიტები. კათიონიტების და ანიონიტების საფუძველზე შესაბამისად მიიღება კათიონური და ანიონური მემბრანები. ანსხვავებენ : ჰომო და ჰეტეროგენულ მემბრანებს. ჰომოგენურ მემბრანებში ფიქსირებული ჯგუფები განლაგებულია თანაბრად, ჰეტეროგენული მემბრანები კი - არაერთგვაროვანია [22]. არაერთგვაროვნებას ქმნის მემბრანაში შეყვანილი ინერტული პოლიმერული შემცველები.

იონიტების ჩაშვებისას ხსნარში, მოძრავი უკუიონები ექვივალენტური რაოდენობით მიმოიცვლება ხსნარის ელექტროლიტების იონებზე. გარდა ამისა, იონიტი შთანთქავს გამხსნელის და უკუიონების დამატებით რაოდენობას. უკუიონებთან ერთად, სისტემის

ელექტრონეიტრალობის შენარჩუნების მიზნით, იონიტში აღწევს იონები, რომლებსაც აქვთ იგივე მუხტი, რაც მატრიცას (ბადეს). დამატებით შთანთქმულ ელექტროლიტს უწოდებენ არამიმოცვლით შთანთქმულს ან დონანისებრ სორბირებულს.

ასეთ სისტემებში წონასწორობა პირველად შეისწავლა დონანმა, რომელმაც დაადგინა წონასწორობის ძირითადი კანონზომიერებანი. დონანის თეორიის თანახმად, იონიტი განიხილება, როგორც მაღალკონცენტრირებული ჰომოგენური ხსნარი ან გელი, რომელშიც თანაბრად განაწილებულია იონიტის კომპონენტები: მატრიცა ფიქსირებული იონებით, ძვრადი იონები და გამხსნელი. იონიტის ასეთი მოდელი კარგად აღწერს სორბციის დროს, წონასწორობას იონიტი-ელექტროლიტი.

პირობებში, როდესაც იონიტი და ხსნარი იმყოფება წონასწორობაში, ხსნარში და იონიტის ფაზაში იონების ელექტროქიმიური პოტენციალი ერთნაირია და მათი აქტიურობები დაკავშირებულია შეფარდებით.

$$\bar{a}_+ \cdot \bar{a}_- = a_+ \cdot a_- = a^2 \pm \quad (1)$$

სადაც :

- ✓ \bar{a}_+, \bar{a}_- - დადებითი და უარყოფითი იონების აქტიურობა მემბრანაში;
- ✓ $a_+, a_-, a \pm$ - დადებითი და უარყოფითი იონების აქტიურობა და იონების საშუალო აქტიურობა ხსნარში.

პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება განტოლება, რომელშიც უგულებელყოფილია იონების აქტიურობის კოეფიციენტები :

$$\bar{c}_+ \times \bar{c}_- \cong c_0^2 \quad (2)$$

სადაც :

- ✓ $\bar{c}_+, \bar{c}_-, c_0$ - დადებითი და უარყოფითი იონების კონცენტრაცია მემბრანაში და გარე ხსნარის კონცენტრაცია.

იონიტი ელექტრონეიტრალურია და ამ პირობის გათვალისწინებით ჩაიწერება შემდეგი განტოლება:

$$\sum z_i \bar{c}_i + \omega X = 0 \quad (3)$$

სადაც :

- ✓ X -ფიქსირებული იონების კონცენტრაცია;
- ✓ ω -მუხტის ნიშანი;

ფორმულის (3) გათვალისწინებით მიიღება განტოლება, რომელიც აკავშირებს იონების კონცენტრაციას მემბრანაში და ხსნარში :

$$\bar{c}_- = \frac{-\frac{x}{z} + \sqrt{\frac{x^2}{z^2} + 4 c_0^2}}{2} \quad (4)$$

$$\bar{c}_+ = \frac{\frac{x}{z} + \sqrt{\frac{x^2}{z^2} + 4 c_0^2}}{2} \quad (5)$$

თუ უკუიონების კონცენტრაცია მემბრანაში განისაზღვრება ფიქსირებული იონების კონცენტრაციით და დონანისებრ სორბირებული ელექტროლიტით, მაშინ კოიონების კონცენტრაცია ახასიათებს დონანისებრ სორბირებულ ელექტროლიტს. დონანისებრ ან არამიმოცვლით შთანთქმული ელექტროლიტის რაოდენობა (m) გამოითვლება ფორმულით:

$$m = \frac{c_0^2}{x+2 c_0} \quad (6)$$

დონანის თეორია დამტკიცდა გლუკაუფის ნაშრომებში. მან დაამტკიცა, რომ იონიტი ნივთიერების სორბცია, ნებისმიერი ელექტროლიტიდან, არ ემორჩილება დონანის კანონს და აიღწერება შეფარდებით:

$$\bar{m} = Kc^{2-z} \quad (7)$$

სადაც:

- ✓ $Z = 0$, თუ იონიტი ჰომოგენურია და მიისწრაფვის 1- ისაკენ, თუ იონიტის ჰეტეროგენურობა იზრდება;
- ✓ K - კონსტანტა, შეესაბამება იონების აქტიურობას ხსნარში.

გლუკაუფმა დაადგინა: თუ Z იცვლება 0,63 - 0,76 - ის ფარგლებში, მემბრანა ჰეტეროგენულია.

ი.კოზინას ნაშრომში [23] აღწერილია ჰეტეროგენული კათიონ მიმოცვლითი მემბრანებით ელექტროლიტის არამიმოცვლითი შთანთქმა. ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ

მსჯელობა ფუნქციური ჯგუფების განაწილებაზე შეიძლება მხოლოდ ჰომოგენური მემბრანების შემთხვევაში. თუ მემბრანა ჰეტეროგენულია, მაშინ მხედველობაში უნდა მივიღოთ მისი რთული სტრუქტურა და არაერთგვაროვნება.

იონმიმოცვლითი პროცესის ასაღწერად, ჰეტეროგენულ მემბრანებში იყენებენ ბიფორულ მოდელს, რომელშიც მემბრანა განიხილება, როგორც სორბენტის გრანულა, წარმოქმნილი ორი ცალკეული მაკროფორული ზონით: დისპერსიული ფაზა (იონიტის ნაწილაკები) და იონიტების ნაწილაკებ შორის შევსებული შუალედები-სატრანსპორტო სისტემა - დისპერსიული გარემო.

არსებობს იონმიმოცვლითი მემბრანების შემდეგი არაერთგვაროვნების დონეები;

- *მაკრო დონე.* ამ დონეზე ერთგვაროვნება განპირობებულია მემბრანაში იონიტის მარცვლებთან ერთად არსებული თავისუფალი სივრცეებით, რომლებიც შევსებულია წონასწორული ხსნარით და წარმოიქმნება მემბრანაში მაკავშირებელი მასალის შეყვანის შედეგად. ამ დონის ერთგვაროვნება წარმოიქმნება მემბრანის წარმოების პროცესში.
- *უფრო წვრილი მაკრო დონე,* რომელზეც მემბრანების არაერთგვაროვნება აიხსნება გელისებრი მონაკვეთების არსებობით, რომელშიც ფუნქციური ჯგუფების კონცენტრაცია განსხვავებულია, რის შედეგად იონმიმოცვლით მემბრანაში წარმოიქმნა ფორები. ფორების ზომები შეადგენს ათეულ და ასეულ \AA .
- *მიკროდონეზე* მემბრანის არაერთგვაროვნება განიხილება თვით გელისებრ მონაკვეთებზე, რომლებიც, *ტიმაშევის* მიხედვით წარმოადგენენ კლასტერებს. კლასტერები შეერთებულია ჯაჭვებით და ამ ჯაჭვებით ხდება უკუიონების გადატანა [24].

19.2 იონმიმოცვლითი მემბრანების ელექტროგამტარობა

იონმიმოცვლითი მემბრანის ელექტროგამტარობა :

- განისაზღვრება იონების ძვრადობით მემბრანაში და, აქედან გამომდინარე, შეიძლება დასკვნის გამოტანა მემბრანაში იონების ტრანსპორტის მექანიზმზე , რაც ძალიან მნიშვნელოვანია მემბრანული პროცესების თეორიისათვის;

- მემბრანების ელექტროგამტარობის ცოდნა მნიშვნელოვანია ელექტროდიალიზის პრაქტიკისათვის, რადგან იძლევა ელექტრული დენის მეშვეობით მიმდინარე პროცესების ტექნოლოგიური პარამეტრების გამოვთვის საშუალებას.

19.2.1 წარმოდგენები იონიტებში იონების გადატანის მექანიზმზე

შულცის და სტეფანოვას ნაშრომებში [24-25] წარმოდგენილია იონიტურ მემბრანებში იონების გადატანის შესაძლებელი მექანიზმები:

- *სოლვაციური* - მემბრანის ფორებში უკუიონების თავისუფალი მოძრაობა;
- *ვაკანსიური* - დაკავშირებული იონების მიგრაცია ახლომდებარე ვაკანსიებში;
- *კროკეტული* - თავისუფალი იონი აძევებს დაკავშირებულ იონს საწყისი მდგომარეობიდან. გამოძევებული უკუიონი ან გადადის თავისუფალი იონის მდგომარეობაში ან გამოაძევებს შემდეგ უკუიონს .ეს პროცესი მიმდინარეობს ჯაჭვურად.

ცუნდელის მიერ [26] ნაჩვენებია, რომ იონიტებში, როგორც თავისუფალ ხსნარებში, ადგილი აქვს პროტოტროპულ გამტარობას, რომელიც მდგომარეობს უკუიონების გადატანაში წყლის მოლეკულებიდან მეზობელ წყლის მოლეკულამდე. ამ თეორიის თანახმად პროტონების გადასვლა მოლეკულებს შორის ხდება უწყვეტად, მაგრამ ელექტრული ველი იწვევს ამ გადასვლას მხოლოდ ძალური წირების მიმართულებით.

იონიტები, როგორც ამორფული სხეულები, იკავებენ შუალედურ მდგომარეობას კრისტალებსა და სითხეებს შორის, ამიტომ, ისინი განიხილება, როგორც "ფხვიერი" კვაზიკრისტალები [27].

ნიკოლაევმა [28-32] გამოიყენა იონიტებისათვის *კინეტიკური თეორიის ძირითადი დებულებები* :

- უკუიონები წყდება ფიქსირებული იონებიდან მხოლოდ თბური ფლუქტუაციების შედეგად და ვაკანსიებში ისინი დონანის მექანიზმით ჩაენაცვლებიან სორბირებული ელექტროლიტის იონებს;
- უკუიონების გადანაცვლება მიმდინარეობს ნახტომისებურად, კერძოდ τ_1 მონაკვეთში უკუიონები იმყოფება ფიქსირებული იონების პოტენციურ ორმოში

და ასრულებენ მხოლოდ რხევას, τ_2 მონაკვეთში ისინი მიგრირებენ ხსნარით მეზობელ პოტენციურ ორმომდე;

- ფიქსირებული იონები და უკუიონები იონიტის მოცულობაში განლაგებულია თანაბრად.

ეს მოდელი შეიძლება გამოიყენოს იონიტებში იონების თვითდიფუზიის მექანიზმის ასაღწერად [27, 28, 30, 32]. ამ მოდელის შესაბამისად დიფუზიის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$D = \frac{l^2}{6(\tau_1 + \tau_2)} \quad (8)$$

სადაც :

- ✓ l - მანძილი ფიქსირებულ იონებს შორის

არსებობს დიფუზიის მექანიზმის შესწავლისადმი - მეორე მიდგომა: გამოიყენება სტატისტიკური მექანიკა ანუ რეაქციის აბსოლუტური სიჩქარეების თეორია, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ ქიმიურ რეაქციას ან ნებისმიერ სხვა პროცესს, რომელიც მიმდინარეობს დროში, აქვს შუალედური კონფიგურაცია - აქტივირებული კომპლექსი.

ეირინგის თეორიაში [33] ნავარაუდებია, რომ პროცესი შეიძლება აიღწეროს მონო მოლეკულური რეაქციის სიჩქარის ანალოგიურად. ნაწილაკმა უნდა გადალახოს პოტენციური ბარიერი რომელიც ყოფს ორ წონასწორულ მდგომარეობას. წონასწორული მდგომარეობები შეესაბამება სტრუქტურაში ორი მეზობელი მოლეკულების მდგომარეობას. ამ ვარაუდიდან გამომდინარე იყო მიღებული განტოლება.

$$D = l^2 \frac{kT}{h} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \exp\left(\frac{S}{R}\right) \quad (9)$$

სადაც:

- ✓ l - მანძილი ორ წონასწორულ მდგომარეობა შორის . იონიტისათვის მანძილი ორ ფიქსირებულ იონს შორის;
- ✓ R - აირადი მუდმივა;
- ✓ S - აქტივაციის ენტროპია;
- ✓ E - აქტივაციის ენერგია;
- ✓ $T^{\circ}C$ - აბსოლუტური ტემპერატურა.

აბსოლუტური სიჩქარეების თეორიის ძირითადი ნაკლოვანია - ენტროპიის აქტივაციის განსაზღვრის მეთოდის არ არსებობა. შესაბამისად ფორმულის გამოყენებით შეუძლებელია თვითდოფუზიის კოეფიციენტების გამოთვლა.

19.2.2 სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა იონიტებისა და იონმიმოცვლითი მემბრანების ელექტროგამტარობაზე

იონიტებში ელექტროობის მატარებელია - უკუიონები. გარე ელექტრულ ველში კათიონები და ანიონები მოძრაობენ საწინააღმდეგო მიმართულებით. რადგან უკუიონების კონცენტრაცია აღემატება კოიონების კონცენტრაციას, ხახუნის ძალა, რომელიც წარმოიქმნება ელექტრულ ველში სხვადასხვა ნიშნით მოძრავ იონებსა და გამხსნელს შორის, არ კომპენსირდება მთლიანად. ეს იწვევს გამხსნელის კონვექციას, რის შედეგად ელექტროგამტარობა იზრდება. იონიტის კუთრი ელექტროგამტარობა გამოისახება შემდეგი განტოლებით :

$$\bar{\kappa} = 10^{-3} F (\sum_i z_i^2 \bar{c}_i \bar{u}_i + \bar{u}_0 X) \quad (10)$$

სადაც :

- ✓ F - ფარადეის რიხვია ;
- ✓ z_i - ნაწილაკების მუხტია (უკუ- და კოიონების);
- ✓ \bar{u}_i - i სახის იონების ძვრადობა მემბრანებში;
- ✓ \bar{c}_i -უკუიონების კონცენტრაცია იონიტის ფაზაში;
- ✓ \bar{u}_0 - სითხის ძვრადობა ფორებში;

ამ განტოლებაში პირველი წევრი წარმოადგენს ჩვეულებრივ ელექტროლიტურ გამტარობას, მეორე კონვექტურს. დესპიგის, ხილსის, მაკეის და მირსის ნაშრომებში [34] დადგენილია, რომ ექვივალენტური ელექტროგამტარობის მნიშვნელობები, მიღებული წინააღობის გაზომვით და გამოთვლილი უკუიონების დიფუზიის კოეფიციენტებით, ზუსტად ემთხვევა ერთმანეთს. აქედან გამომდინარე, შეიძლება კონვექტური წევრის უგულებელყოფა და იონიტებისათვის იქნება მართებული ნერნსტ-აინშტაინის განტოლება :

$$\bar{u}_i = \frac{\bar{d}_i F}{RT} \quad (11)$$

სადაც :

✓ \bar{d}_i – i სახის იონის თვითდიფუზიის კოეფიციენტი .

იონტებისა და იონმიმოცვლითი მემბრანების ელექტროგამტარობა განისაზღვრება შემდეგი ფაქტორებით:

- პოლიმერული მატრიცისა და ფუნქციური ჯგუფების არსებობით და ტიპით;
- ფუნქციური ჯგუფების განაწილების ერთგვაროვნებით და კონცენტრაციით;
- იონური ფორმით;
- გაჯირჯვების ხარისხით;
- ტემპერატურით;
- გარე ელექტროლიტის ბუნებითა და კონცენტრაციით.

დესპიგისა და ხილსის ნაშრომში [24] დადგენილია, რომ უკუიონების მოძრაობის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს მათ მიერ გავლილი გზის სიგრძე: რაც უფრო მეტია ის, მით უფრო ნაკლებია მოძრაობის სიჩქარე. გზის გაგრძელება განისაზღვრება მატრიცის გამრუდებით და იონიტის ფაზის მოცულობითი წილით, რომელსაც ის იკავებს იონიტის მთლიან მოცულობასთან შეფარდებით.

$$V_R = \frac{V-W}{V} \quad (12)$$

სადაც :

- ✓ V - იონიტის საერთო მოცულობა;
- ✓ W - წყლის მოცულობა, შთანთქმული იონიტით.

ამ განტოლების გამოყენებით მაკეიმმა და მირსმა გამოიყვანეს განტოლება, რომელიც აკავშირებს იონების ძვრადობას (\bar{u}_i) კათიონიტში და წყალხსნარში, იმ დაშვებით, რომ ფისი მემბრანაში იჯირჯვება თანაბრად და მისი კარკასი არ ახდენს სფეციფიკურ გავლენას უკუიონებზე.

$$\bar{u}_i = u_i \left(\frac{1-V_R}{1+V_R} \right)^2 \quad (13)$$

გარდა პოლიმერული ჯაჭვის გავლებისა იონის სატრანსპორტო გზაზე, დიდ გავლენას ახდენს ფუნქციური ჯგუფების მაღალი კონცენტრაცია [25]. ეს მოვლენა ნაკლებად

შესწავლილია, რადგან მემბრანების მიღება რთულია და მემბრანები, რომლებსაც გააჩნია პოლიმერული მატრიცის ერთნაირი აღნაგობა, განსხვავდებიან მიმოცვლითი ტევადობით.

დები-ონზაგერის მცდელობები - მატრიცის გამრუდების ფაქტორის შეყვანა მემბრანის ელექტროგამტარობაში, აღმოჩნდა უშედეგო [35].

რუსმა მეცნიერებმა *გრებენმა* და *ტულუპოვმა*, გამოიყვანეს ემპირიული განტოლება, რომელიც აღწერს მემბრანის ელექტროგამტარობას

$$\bar{\alpha}_m = A \exp(-B/E) \quad (14)$$

სადაც:

- ✓ *A* და *B* ემპირიული პარამეტრებია;
- ✓ *E* - მიმოცვლითი ტევადობა ან ძვრადი უკუიონების კონცენტრაცია.

გრებენმა და *ეფიმეკომ* შეისწავლეს ფისის KY-2 სხვადასხვა შემცველობის იონმიმოცვლითი ჰეტეროგენული სულფოკათიონური მემბრანა MK-40. მეცნიერებმა ჩათვალეს რომ, თუ არ ხდება იონმიმოცვლითი მემბრანებით ელექტროლიტის დონანისებრი სორბირება, მემბრანა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც სისტემა, რომელიც შედგება სხვადასხვა ელექტროგამტარობის მქონე ორი ფაზისაგან. ჰეტეროგენული მემბრანების არაერთგვაროვნება ჩადებულია დამზადების ტექნოლოგიით ანუ იონმიმოცვლითი ფისის ნაწილაკები არათანაბრად განაწილებულია ინერტული მასალის მასაში და გამტარობა განისაზღვრება მუხტების გადანაცვლებით, როგორც იონიტში, ასევე ხსნარის აკვირ, რომელიც წარმოიქმნება იონიტის მარცვალი - ინერტული მასალის საზღვარზე. ამიტომ, მიმოცვლის ტევადობის ცვლილება, იონმიმოცვლითი ფისის შემცველობის შემცირების შედეგად, ანუ ფუნქციური ჯგუფის კონცენტრაციის შემცირება, ამცირებს გამტარობის უწყვეტი გზების არსებობის ალბათობას.

ფიქსირებული მუხტების სიმკრივე იონიტში განისაზღვრება შეყვანილი შემკვრელი აგენტის განაწილებით: რაც უფრო შეკრულია პოლიმერული ჯაჭვები ანუ, რაც უფრო მეტია შემკვრელი აგენტის დივინილბენზოლის რაოდენობა, მით უფრო ნაკლებია ელექტროგამტარობა [26]. ეს გამოწვეულია იონიტის შეზღუდული გაჯირჯვებით [27] და მატრიცის დრეკადი თვისებებით. ამიტომ იონიტი, რომელშიც შემკვრელი აგენტის რაოდენობა მცირეა, იჯირჯვება უფრო ძლიერად. გაჯირჯვების გაზრდა ორმაგად

მოქმედებს იონიტის ელექტროგამტარობაზე. ერთი მხრიდან ფართოვდება გზები, რომლებზეც მოძრაობენ იონები, რის შედეგად იზრდება იონების ძვრადობა და თვითდიფუზიის კოეფიციენტები, მეორე მხრიდან, ძლიერ გაჯირჯვებულ იონიტებში დენის გადამტანის კონცენტრაცია ნაკლებია, ვიდრე სუსტად გაჯირჯვებულში. ამიტომ, შეკვრის გაზრდით იონიტში ელექტროგამტარობა ერთდროულად იზრდება და მცირდება.

ელექტროგამტარობაზე გავლენას ახდეს ტენიანობა. ელექტროგამტარობა ძლიერ იზრდება წყლის რაოდენობის შემცირებით. ვალასის და ამპაის [28] ნაშრომში აღწერილია იონმიმოცვლით მემბრანებში გადატანის შერეული მექანიზმი, რომელშიც გადატანა განიხილება, როგორც ჩქარი გადატანა ერთდროულად შეკავშირებული ან მიგრაციული. ავტორები განიხილავენ გადატანას, როგორც ელექტრომიგრაციულ პროცესს, რომელშიც თანმიმდევრულად გადაიტანება პროტონი წყლის მოლეკულების ჯაჭვის გასწვრივ. მათ მიერ გამოყვანილი მემბრანის ელექტროგამტარობის გამოთვლის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\bar{\alpha}_m = \frac{cq^2 \bar{\lambda}^2}{h} \exp\left[-\frac{(\Delta E_d - \beta \Delta F_s)}{RT}\right] \quad (15)$$

სადაც :

- ✓ \bar{e} - იონის მუხტის ნიშანია;
- ✓ $\bar{\lambda}$ - ეფექტური გარბენის სიგრძე დიფუზიის მიმართულებით;
- ✓ h -წყლის შემცველობა, გამოთვლილი იონმიმოცვლითი ჯგუფების ექვივალენტზე;
- ✓ ΔF_s - თავისუფალი ენერჯიის ცვლილება წყლის სორბციის დროს.

იონმიმოცვლითი ფისებისა და მემბრანების ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია, როგორც იონიტის ბუნებაზე, ასევე წონასწორული ხსნარის შემადგენლობაზე. კათიონიტების ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია უკუიონების მუხტის [30,31]. სიდიდეზე. მიღებულია ამ დამოკიდებულების შემდეგი რიგი: *ერთმუხტიანი* -> *ორმუხტიანი* -> *სამმუხტიანი იონები*. იგივე რიგი მიიღო *უშაკოვმა* იონმიმოცვლითი MK-40 და MA-40 მემბრანებისათვის. ეს აიხსნება იმით, რომ მრავალმუხტიანი იონები უფრო ძლიერად მიიზიდება ფიქსირებული იონებით და ელექტრულ ველში მოძრაობისას განიცდიან დიდ დამუხრუჭებას.

ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია უკუიონების სახეობაზე. თუ უკუიონები არ მოქმედებენ სპეციფიკურად ფიქსირებულ იონებთან [24,25,29,34], მათი ელექტროგამტარობა იგივეა, რაც ელექტროლიტების წყალხსნარში. თუ კი მემბრანის ფისი იმყოფება ტუტემიწათა ლითონის ფორმაში, მაშინ ელექტროგამტარობა იცვლება ამ იონების ძვრადობის საწინააღმდეგო მიმართულებით : $Mg^{2+} \rightarrow Ca^{2+} \rightarrow Ba^{2+}$. ეს აიხსნება იმით, რომ ამ რიგში იზრდება სპეციფიკური ურთიერთქმედება ფიქსირებული იონი - უკუიონი. მემბრანაში და იონიტში დენი გადაიტანება უკუიონებით, ამიტომ კოთიონი არ ახდენს დიდ გავლენას ელექტროგამტარობაზე [36].

ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და ამ დამოკიდებულებით შეიძლება ფიქსირებული იონი - უკუიონის ურთიერთქმედების შეფასება. მემბრანების ელექტროგამტარობა იზრდება ტემპერატურის გაზრდით და უმეტეს შემთხვევაში ეს აიხსნება არენიუსის განტოლებით:

$$\bar{\kappa}_m = \text{const} \cdot t \cdot \exp(-\bar{E} / RT) \quad (16)$$

სადაც:

✓ \bar{E} - მემბრანის ელექტროგამტარობის აქტივაციის ენერგია.

კონსტანტა \bar{E} დამოკიდებულია მემბრანის სახეობაზე, ბუნებასა და წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციაზე და იცვლება 2-7 კკალ/მოლი ფარგლებში. *ულოსოვმა* [37] განსაზღვრა MK-40 მემბრანის ელექტროგამტარობის აქტივაციის ენერგია, ის უდრის 4-6 კკალ/მოლი. ანალოგიური მნიშვნელობა მიღებულია *კუდრატოვას* ნაშრომში [38], რომელშიც აქტივაციის ენერგია შეადგენდა 5,5 კკალ/მოლი და ავტორმა დაადგინა, რომ ის არ არის დამოკიდებული უკუიონების მუხტზე. რადგან მემბრანების და ფისების აქტივაციის ენერგიები უახლოვდება ერთმანეთს ეს ამტკიცებს იმას, რომ იონიტური მემბრანის შემკვრელი მასალა არ ახდენს მათზე გავლენას.

იონმიმოცვლითი მემბრანის ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციაზე. განზავებულ ხსნარებში ის ან მუდმივია ან უმნიშვნელოდ იზრდება [22]. წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად მემბრანების კუთრი ელექტროგამტარობა უნდა გაიზარდოს. ეს აიხსნება იმით, რომ განზავებულ ხსნარებში მემბრანის გამტარობა განისაზღვრება იონიტის გამტარობით და ხსნარის კონცენტრაცია ნაკლებად ახდენს გავლენას მემბრანის ელექტროგამტარობაზე. წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით, იზრდება

არამიმოცვლით შთანთქმული ელექტროლიტის (დონანისებრ-სორბირებული) რაოდენობა და მემბრანის ელექტროგამტარობა იზრდება.

დადგენილია : ელექტროგამტარობაზე გავლენას ახდენს კათიონმიმოცვლითი მემბრანის სტრუქტურა, რადგან ის აბრკოლებს იონების ძვრადობას მემბრანაში. მანდერსლუტმა განსაზღვრა უკუ- და კოიონების ძვრადობა და დაადგინა, რომ ის უმნიშვნელოდ იზრდება ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით, კოიონების ძვრადობა ნაკლებია უკუიონების ძვრადობაზე. ვილიერის და შპიგლერის [39] ნაშრომში აღწერილია გარე, წონასწორული მაღალი კონცენტრაციის ხსნარის გავლენა დონანისებრ სორბირებული ელექტროლიტების რაოდენობაზე. ავტორებმა დაადგინეს, რომ მას შეაქვს დიდი წილი მემბრანის ელექტროგამტარობაში. წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გავლენა მემბრანის ელექტროგამტარობაზე განიხილება გნუსინის და გრებენიუკის ნაშრომში [40]. ავტორებმა დაადგინა მემბრანის და იონიტის ელექტროგამტარობის მკვეთრი შემცირება წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის შემცირებით.

ნიკოლაევის ნაშრომში [41] შესწავლილია ჰომოგენური MK-40 - იონიტური მემბრანების გამტარობა ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით მცირდება, ჰეტეროგენული MK-40 მემბრანის კი - იზრდება. არსებობს ელექტროგამტარობის გაზომვის კონტაქტური, სხვაობითი, კონტაქტურ-სხვაობითი მეთოდები.

არ არსებობს იონმიმოცვლითი ფისისგან დამზადებული დიაფრაგმის ან სუსპენზიის ელექტროგამტარობის აღწერის ერთიანი თეორია. ეს გამოწვეულია იონიტებისა და მემბრანების რთული სტრუქტურით და ამიტომ, ფართოდ გავრცელებულია სხვადასხვა სახის მოდელური აღწერა, მათ შორის ყველაზე დასაბუთებულია შპიგლერ - ვილის მოდელი [42] . ამ მოდელის თანახმად იონიტი-ხსნარი სისტემაში, დენის გავლა მიმდინარეობს სამი დამოუკიდებელი პარალელური ჯაჭვით: მხოლოდ იონიტით, მხოლოდ ხსნარით და თანმიმდევრულად იონიტით და ხსნარით. ასეთი სისტემით საერთო გამტარობა განისაზღვრება:

$$\kappa = \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 \quad (17)$$

სადაც :

- ✓ κ_1 - თანმიმდევრულად შეერთებული ერთმანეთთან ხსნარის და ნაწილაკების ელექტროგამტარობა;

- ✓ \mathcal{A}_2 -ელემენტის ელექტროგამტარობა, რომელიც შეიცავს მჭიდროდ კონტაქტში მყოფი ერთმანეთთან იონიტის ნაწილაკებს, რომლებიც წარმოქმნიან უწყვეტ გზებს;
- ✓ \mathcal{A}_3 - ელემენტის ელექტროგამტარობა, რომელიც შეესაბამება ნაწილაკებს შორის სივრცეების თხევად შევსებას.

სისტემის ელექტროგამტარობა \mathcal{A}_m შედგება სამი ელემენტის ელექტრო გამტარობიდან:

$$\vec{\mathcal{A}}_m = x = \frac{\vec{\mathcal{A}} + \mathcal{A}_v}{x\vec{\mathcal{A}} + y\mathcal{A}_v} + \frac{\vec{\mathcal{A}}}{z} + \frac{\mathcal{A}_v}{F} \quad (18)$$

სადაც:

- ✓ $\vec{\mathcal{A}}$ და \mathcal{A}_v - იონიტისა და წონასწორული ხსნარის ელექტროგამტარობა;
- ✓ x, y, z, f - სისტემის გეომეტრიის განმსაზღვრელი პარამეტრებია:

$$x = \frac{1-d}{a}; \quad y = \frac{d}{a}; \quad z = \frac{1}{b}; \quad F = \frac{1}{c} \quad (19)$$

პარამეტრები x, y, z და f ავტორებმა განსაზღვრა შემდეგი წესით:

- თუ $\mathcal{A}_v = 0$, მაშინ წონასწორული ხსნარი გამოხდელი წყალია ანუ $\vec{\mathcal{A}}_m = \frac{\vec{\mathcal{A}}}{z}$;
- თუ (23) განტოლებას გავადიფერენცირებთ $\vec{\mathcal{A}} = \text{const}$ და $\mathcal{A}_v = 0$, მიიღება

$$\frac{\partial \vec{\mathcal{A}}_m}{\partial \mathcal{A}_v} = -\frac{1}{x} + \frac{1}{F} \quad (20)$$

- თუ ავაგებთ მრუდს კოორდინატებში $\vec{\mathcal{A}}_m - \vec{\mathcal{A}}_v$, როდესაც \mathcal{A}_v მიისწრაფვის ნულისაკენ, მრუდის დახრა განისაზღვრება როგორც $\frac{1}{x} + \frac{1}{F}$
- მაღალი კონცენტრაციის ხსნარებისათვის, როდესაც იონიტის კუთრი ელექტროგამტარობა ბევრად ნაკლებია ხსნარის ელექტროგამტარობაზე ($\vec{\mathcal{A}}_v \gg \vec{\mathcal{A}}$) (18) განტოლებიდან გამომდინარეობს $\vec{\mathcal{A}}_m = \vec{\mathcal{A}} \left(\frac{1}{y} + \frac{1}{z} \right) + \frac{\mathcal{A}_v}{F}$;
- ექსპერიმენტალური წრფივი ხაზის ექსტრაპოლაციით $\vec{\mathcal{A}}_m$ ღერძზე (20) განტოლებიდან გამომდინარე მივიღეთ $\vec{\mathcal{A}} = 1/y + 1/z$. ამ მრუდის დახრის კუთხის ტანგენსი ედრება $1/f$.

ამ მოდელის ავტორების აზრით, განტოლებიდან (20) გამოთვლილი მრუდი ზუსტად არ ედრება ექსპერიმენტალურს, იმის გამო, რომ მეთოდი დაფუძნებულია ვარაუდზე: ფისის ელექტროგამტარობა $\vec{\mathcal{A}}$ არ არის დამოკიდებული \mathcal{A}_v -ზე. გეომეტრიული ფაქტორები: a, b, c, d . მიახლოებით ერთნაირია ყველა ელექტროლიტისათვის და ყველა შემთხვევაში $a+b+c=1$. სამგამტარიანი მოდელს ფართოდ იყენებენ იონმიმოცვლითი სვეტების

ელექტროგამტარობის გამოთვლისათვის [43,44]. ამ მეთოდის შემდგომი დამუშავება და გამოყენება სისტემებისათვის, რომლებიც შედგება იონიტისა და ჰეტეროგენული მემბრანისაგან ჩატარებულია და აღწერილია *გნუსინის* ნაშრომებში. მისი აზრით, ამ მოდელის მთავარი ნაკლი მდგომარეობს იმაში, რომ საჭიროა მთელი რიგი პარამეტრების ექსპერიმენტალური განსაზღვრა და მან ნაშრომში [45] წარმოადგინა განტოლება, რომელიც შეიცავს მხოლოდ ერთ ემპირიულ კოეფიციენტს - Z , რომელიც დაკავშირებულია სისტემის გეომეტრიასთან და ახასიათებს დენის გავლის თანმიმდევრული და პარალელური გზების წილს.

ერთიანი თეორიის და წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციაზე მემბრანის ელექტროგამტარობის დამოკიდებულების აღწერის ერთიანი თეორიისა და თანამედროვე მოდელის არ არსებობა, იწვევს საჭიროებას განისაზღვროს იონიტური მემბრანების კუთრი ელექტროგამტარობა ($\bar{\sigma}_m$) სხვადასხვა კონცენტრაციის ელექტროლიტების წონასწორულ ხსნარებში, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია მემბრანული პროცესების თეორიისათვის, ელექტროდიალიზის პრაქტიკისათვის, უკუოსმოსისა და მემბრანული დაყოფის სხვა მეთოდისათვის

რიგ ნაშრომებში ისაზღვრებოდა ფისებისა და მემბრანების ელექტროგამტარობის [46-49], უკუ- და კოიონების [50] თვითდიფუზიის კოეფიციენტების დამოკიდებულება გარე ხსნარის კონცენტრაციაზე. ფორული დიაფრაგმების ელექტროგამტარობა განისაზღვრა *ვილისა* და *სპანგლერის* ნაშრომებში, მაგრამ მონაცემები მიღებული ამ ავტორების მიერ ეწინააღმდეგება ერთმანეთს, რაც სავარაუდოდ, დაკავშირებულია იმასთან, რომ სხვადასხვა ავტორების მიერ მიღებული მემბრანები განსხვავდებიან იონების ურთიერთქმედების ხასიათით, გაჯირჯვების ხარისხით, მომზადების ხერხით, მემბრანის გამტარობის გაზომვის მეთოდებითა და სხვა თვისებებით.

კრესმანმა თავის ნაშრომებში დაადგინა კათიონიტური მემბრანის სტრუქტურის გავლენა იონების ძვრადობაზე იონიტში და გარემო ხსნარში. დამოკიდებულების სხვადასხვა ხასიათი ავტორმა ახსნა მემბრანაში იონების მიგრაციის სხვადასხვა მექანიზმებით. *მანდერსლუტმა* დაადგინა: უკუ და კო იონების ძვრადობა კონცენტრაციის გაზრდით უმნიშვნელოდ იზრდება, კერძოდ, კო იონების ძვრადობა ნაკლებია უკუიონების ძვრადობაზე. *გლუკაუფმა* დაადგინა: მემბრანაში კოიონების დიფუზიის კოეფიციენტების მნიშვნელოვანი გაზრდა გარე ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით. ეს მოვლენა მან ახსნა უკუიონების არათანაბარი განაწილებით იონიტში:

წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით მემბრანაში ორმაგი შრეები თავისუფალ სივრცეში ვიწროვდება, თავისუფლდება კო იონებისთვის დიფუზიის არხები და ხდება შესაძლებელი კოიონების გადატანა უფრო წვრილ არხებში, რაც გამოისახება დიფუზიის კოეფიციენტების ზრდაში.

მაკკეინმა და მირსმა [51] ახსნა ელექტროგამტარობის ცვლილება: არამიმოცვლით შთანთქმული ელექტროლიტის კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება სივრცითი მუხტი იონიტში და ის ხდება უფრო მჭიდრო. ეს მოვლენა განაპირობებს ფიქსირებული მუხტების ძლიერ ეკრანირებას, უკუიონების მცირე რიცხვი ამცირებს უკუიონების საერთო მოქმედებას ფისისა ან მემბრანის მატრიცასთან. თუ გარეთა ხსნარის კონცენტრაცია დაბალია, მაშინ იზრდება ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება, რომელიც იწვევს უკუიონების მოძრაობის შენელებას და ზღვრულ შემთხვევაში ძვრადობის მკვეთრ დაცემას იონური წყვილების წარმოქმნის შედეგად.

შლოგლის აზრით, უკუიონები იონიტში მოძრაობენ ნახტომისებურად ერთი ფიქსირებული იონიდან მეორესთან. თუ იონიტი მოთავსებულია სუფთა წყალში, მაშინ უკუიონები, კულონისებრი მიზიდულობის შედეგად, ლოკალიზირებულია ფიქსირებული იონების ირგვლივ. თუ გარე ხსნარს ვამატებთ ელექტროლიტს, მაშინ მემბრანაში აღწევენ კოიონები, რომლებიც მოქმედებენ, როგორც უფრო მაღალი ძვრადობის კულონისებური მიზიდულობის ცენტრები და, ამიტომ იზრდება ერთი ფიქსირებული იონისგან მეორესთან გადასვლის ალბათობა. ასეთივე ახსნას აქვს ადგილი *გრეგორისა და პეტერსონის* ნაშრომში

ვილი, შპიგლერმა და სხვამ [52] არამხოლოდ თვისობრივად აღწერეს დონანისებრ სორბირებული ელექტროლიტის გავლენა ფორული დიაფრაგმებისა და ფისების ელექტროგამტარობაზე გარე წონასწორული ხსნარების (NaCl, KCl AgNO₃) ზემოთ განხილული თეორიების მსგავსად, არამედ ისინი რაოდენობრივად შეაფასენ დონანისებრსორბირებული ელექტროლიტის წილი ელექტროლიტურ გამტარობაში. ამ წილის მხედველობაში მიღებით, გაზომილი სისტემის კუთრი ელექტროგამტარობა $\bar{\kappa}_m$ ჩაიწერება:

$$\bar{\kappa}_m = X \lambda_R + C_D \lambda_k + C_D \lambda_A \quad (21)$$

სადაც:

- ✓ λ_k და λ_A - კათიონის და ანიონის ძვრადობა;
- ✓ \bar{C}_D - არამიმოცვლით შთანთქმული ელექტროლიტის კონცენტრაცია.

სტეფანოვისა და როჯანსკაიას ნაშრომებში [53,54] განხილულია იონიტების ელექტროგამტარობის ანომალური შემცირება 10^{-1} - 10^{-3} M ხსნარებში, რომელიც დაკავშირებულია იონიტში არამიმოცვლითი შთანთქმული ელექტროლიტის

შედეგად იონების ურთიერთქმედების ცვლილებასთან,

შპიგლერი თვლის რომ, წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით მიკროჰეტეროგენულ იონიტებში შედარებით ჩქარა იზრდება იონების რაოდენობა მონაკვეთებში, სადაც მცირეა ფიქსირებული იონების შემცველობა. ამასთან დაკავშირებით იზრდება ერთი მონაკვეთიდან მეორეზე იონების გადასვლის ალბათობა.

წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გავლენა იონიტების ელექტრო გამტარობაზე შეისწავლა *გნუსინმა* და *გრებენუკმა*. მათ აღმოაჩინეს KY -2 იონიტის ელექტროგამტარობის მკვეთრი შემცირება წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის შემცირებით. ავტორების აზრით, განზავებულ ხსნარებში, იონიმომოცვლითი ფისის ელექტროგამტარობის ანომალური ქცევა აიხსნება იონიტის მიკრო ჰეტეროგენურობით, რომელიც გამოვლინდება იმაში რომ ფიქსირებული იონები არათანაბრად განაწილებულია ფისის მთელ მოცულობაში და იმყოფებიან მხოლოდ ცალკეულ გელისებრ მონაკვეთებში, რომლებიც გაყოფილი არიან ერთმანეთისაგან მონაკვეთებით იონოგენური ჯგუფების გარეშე. განზავებულ ხსნარებში ელექტროლიტი პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას ლოკალურ ელექტროგამტარობაზე. მასზე გავლენას ახდენს ელექტროლიტი, რომელიც თავსდება გელისებრ მონაკვეთებს შორის, ანუ ადსორბირებული ელექტროლიტი. წონასწორული ხსნარების მაღალ კონცენტრაციებზე იზრდება ადსორბირებული ელექტროლიტის რაოდენობა რაც, ავტორების აზრით, იწვევს იონიტში წყლის რაოდენობის შემცირებას და შიდა ხსნარის მნიშვნელოვან კონცენტრირებას ანუ იონიტის ელექტროგამტარობის ზრდას.

ნიკოლაევა [55] დაადგინა, რომ ჰომოგენური იონიტური მემბრანის MK-100-ის ელექტროგამტარობა გარე ხსნარის (KOH) კონცენტრაციის გაზრდით 0.5-6.6 N -დე მცირდება. ჰეტეროგენული მემბრანის MK-40-ის ელექტროგამტარობა იზრდება. დადგენილია, რომ MK-100 მემბრანაში დონანისებრ სორბირებული ელექტროლიტის

კონცენტრაცია იზრდება 0.01-0.53 მგ.ექვ/სმ³ , თუ გარეთა ხსნარის კონცენტრაცია გაიზარდება 0.5-6.6 N-დე. ამ გარემოებამ უნდა გამოიწვიოს MK-100 მემბრანის აქტივობის გაზრდა, მაგრამ ხდება ამ ტენდენციის კომპენსირება წყლის მოლეკულებით, ჰომოგენური მემბრანის მატრიცის მაღალ კონცენტრაციაზე შეკუმშვის შედეგად.

19.2. 3 ელექტროგამტარობის გაზომვის მეთოდები

ელექტრო გამტარობის გაზომვის მეთოდები იყოფა:

- ✓ კონტაქტური;
- ✓ სხვაობითი ;
- ✓ კონტაქტურ-სხვაობითი.

გაზომვის კონტაქტური მეთოდებში [47, 56, 57] მემბრანა - ელექტროდის კონტაქტის წინაღობა შედის გამომ ელექტროწინაღობაში და კვლევარებს არ შეუძლიათ ელექტრო გამტარობის ზუსტი გაზომვა, რადგან დენი გადის ხსნარის ჰიდროფილურ აპკებში, ეს იწვევს წინაღობის მნიშვნელოვან ზრდას მაშინაც , როდესაც მემბრანის სისქე ძალიან მცირეა, განსაკუთრებით ეს ხდება განზავებულ ხსნარებში, სადაც ხსნარის ელექტროგამტარობა ბევრად ნაკლებია მემბრანის ელექტროგამტარობაზე, რის შედეგადაც მემბრანის ელექტროგამტარობა ქვეითდება. ამასთან ერთად, მემბრანის ელექტროგამტარობა იცვლება იმის გამო, რომ ადგილი აქვს ელექტროდების პოლარიზაციას, მემბრანების გამოშრობას და დეფორმაციას. სხვაობით მეთოდებში[49] თხელი იონიური მემბრანების წინაღობა განისაზღვრება, როგორც ორი დიდი სიდიდის მცირე სხვაობა და შესაბამისად ეს გამოიწვევს უფრო მნიშვნელოვან შეცდომას: ხსნარის განზავებით შეცდომა იზრდება. ამ მეთოდის ნაკლოვანია ის, რომ ადგილი აქვს ელექტროოსმოსურ ნაკადს და მემბრანის კონცენტრაციულ პოლარიზაციას. კონტაქტური სხვაობითი მეთოდი - შედარებით ახალი მეთოდია, რომელიც დაამუშავა შაპოშნიკოვმა [57]. ამ მეთოდში გაიზომა მემბრანის პაკეტის (2-8 მემბრანა) წინაღობა და ერთი მემბრანის წინაღობა გაიზომა, როგორც წინაღობის სხვაობა. მაგრამ, ამ მეთოდით გაზომილი ელექტროგამტარობა მაინც შეიცავს ცდომილებას, რომელიც წარმოიქმნება კონტაქტური და სხვაობითი მეთოდებით გაზომვისას. შედეგების შედარება გვიჩვენებს რომ, ერთი და იგივე მემბრანისთვის მიღებული მონაცემები განსხვავდება სიდიდით და კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების ხასიათით, მაგრამ მთლიანობაში ადგილი აქვს

ელექტრო გამტარობის ზრდას 2-5 და მეტ-ჯერ. როდესაც კონცენტრაცია იზრდება 10^{-4} - 10^{-1} M, მიღებული შედეგები შეუძლებელია აიღწეროს დონანის წონასწორობის თეორიის გამოყენებით, რადგან დონანისებრი სორბირებული იონების წილი, იონიტების ელექტროგამტარობაში, ხდება მხოლოდ შესამჩნევი, როდესაც კონცენტრაცია მეტია ან უდრის 0.1M. ამ ანომალიის ასახსნელად (ელექტროგამტარობის მნიშვნელოვანი შემცირება განზავებით) იყენებენ წარმოდგენებს იონიტების და განსაკუთრებით რეალური ჰეტეროგენული მემბრანების არაერთგვაროვნებაზე [47]. აგრეთვე ამ ანომალიას ხსნიან მემბრანებში იონების ძვრადობის ძლიერი შემცირებით კონცენტრაციის შემცირების დროს.

19.3 იონიტური მემბრანების მიღების მეთოდები.

სინთეზური იონმიმოცვლითი მემბრანები შედგებიან ნახშირწყალბადოვანი ჯაჭვების მატრიცისაგან, რომელიც შეიცავს ფიქსირებულ იონოგენურ ჯგუფებს. ამრიგად, ჰეტეროგენული მემბრანები წარმოადგენენ სამკომპონენტო სისტემას, ფორმირებული არიან წვრილად დისპერსიული იონიტისა და ინერტიული პოლიმერული შემკვრელი მასალისაგან შემდგარი კომპოზიციიდან და მექანიკური სიმტკიცის ამაღლებისათვის მემბრანების შიგნით დაპრესილია არმირებადი მასალა არამჭიდრო ქსოვილის ნაჭრის სახით [46-54]. იონიტის ნაწილაკები შემკვრელ მასალაში შეიძლება შეყვანილი იყოს რამოდენიმე ხერხით:

- *მშრალ შემკვრელ მასალას და იონიტის ფხვნილს აურევენ და განსაზღვრული წნევისა და ტემპერატურის პირობებში დაპრესავენ თხელი ფურცლების სახით;*
- *შემკვრელი მასალა გადაჰყავთ ნახევრადთხევად პლასტიკურ მდგომარეობაში, შემდეგ უმატებენ იონიტს, კარგად აურევენ და გაატარებენ ვალცებზე;*
- *წვრილად დაქუცმაცებულ იონიტს აურევენ აქროლად გამხსნელში გახსნილ შემკვრელ მასალაში. მიღებულ ნარევს შემდეგ ასხამენ არმირებად ნაჭერზე და ღებულობენ მემბრანას.*

მემბრანის მიღების მეთოდისაგან დამოუკიდებლად ყველა განხილულ შემთხვევაში, უკვე პროცესის დასაწყისში იონიტი იმყოფება წყალში უხსნად მდგომარეობაში, ხოლო შემკვრელი მასალა - თერმოპლასტიკურია ან იმყოფება ნაწილობრივ პოლიმერულ მდგომარეობაში. სრული პოლიმერიზაცია წარმოებს მემბრანის მიღების პროცესის დროს.

ამ მეთოდებით მიღებულ მემბრანებში იონიტის ნაწილაკის ზომები არ აღემატება 100 მკ. კარგი ელექტროგამტარი მემბრანის მისაღებად, აუცილებელია იონიტის მაღალი შემცველობა (65%-ზე მეტი). მაგრამ, იონიტის კონცენტრაციის გაზრდასთან ერთად მცირდება მემბრანის მექანიკური სიმტკიცე.

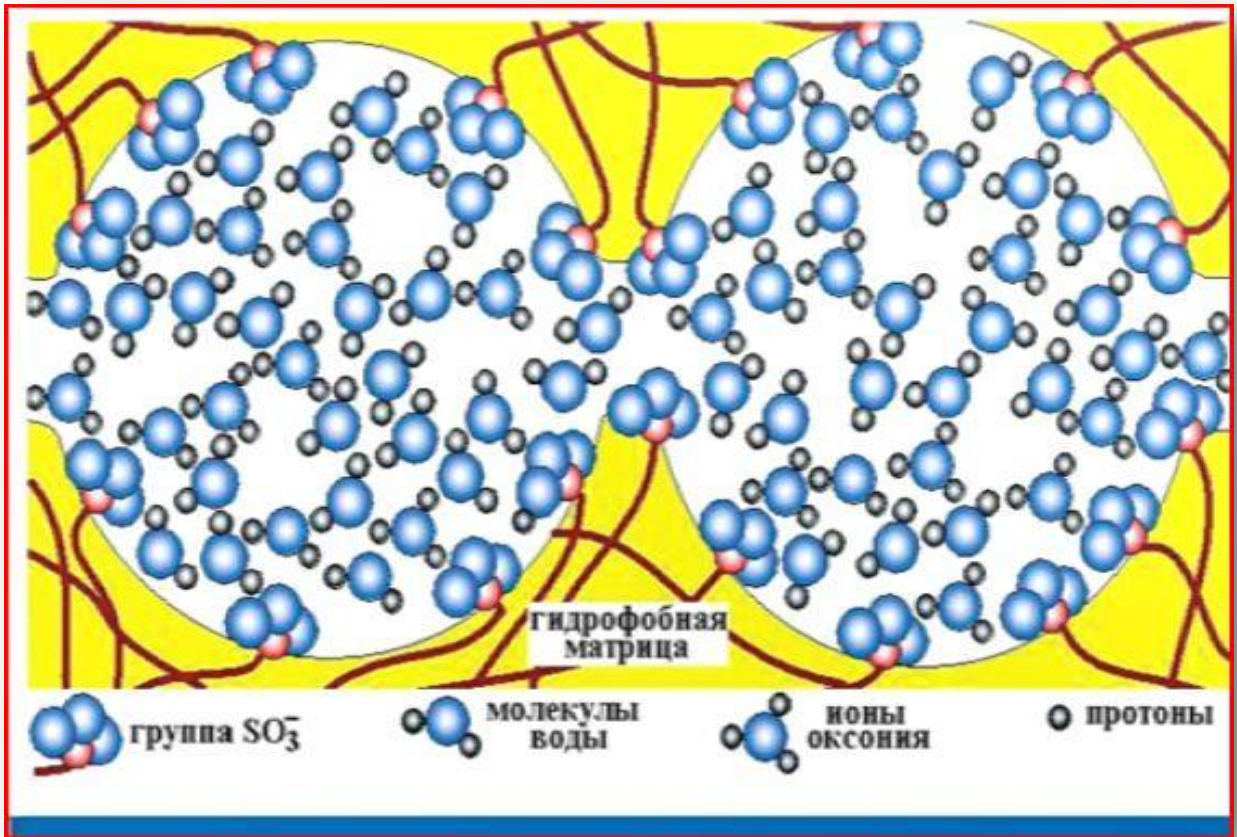
ჰეტეროგენული მემბრანის წყალხსნარში მოთავსებისას, იონიტი განიცდის ძლიერ გაჯირჯევას, მისი ორი კომპონენტი – იონიტი და შემაკავშირებელი მასალა გაჯირჯევებისას მნიშვნელოვნად იმატებს მოცულობაში, არმირებადი მასალის მოცულობა კი - იცვლება უმნიშველოდ. ყოველივე ეს მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მემბრანის მექანიკურ თვისებებზე [55,56]. ამიტომ, მემბრანაში იონიტის განაწილება და მისი კონცენტრაცია ისეთი უნდა იყოს, რომ გაჯირჯევებისას მემბრანა არ უნდა იშლებოდეს, ტყდებოდეს და ილუნებოდეს.

ჰეტეროგენული მემბრანებისათვის დამახასიათებელი ნაკლოვანი მხარეების აღმოსაფხვრელად შემუშავებული იყო მათი მიღების ახალი ტექნოლოგია. ამ ტექნოლოგიით: წყალში უხსნადი იონიტის დისპერგირებას ახორციელებენ ელექტროგაუმტარ შემკვრელ მასალაში; იონიტისა და შემკვრელი მასალის ფარდობას იღებენ ოპტიმალურზე უფრო მეტს; იონიტს აქუცმაცებენ ჩვეულებრივზე უფრო წვრილად; შემკვრელ მასალაში დისოციაციის უნარის მქონე ჯგუფების შეყვანის მიზნით მიღებულ მემბრანებს შემდეგ ამუშავებენ რეაგენტებით [57]. ამ მეთოდის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ მემბრანები ისეთ პირობებში მუშავდება და შემკვრელი მასალა მთლიანად მოდიფიცირდება.

ელექტროქიმიურად ინერტული შემკვრელი მასალის იონიტში გადასვლის ხარისხი ისეთი უნდა იყოს, რომ მემბრანა არ უნდა იჯირჯებოდეს ხსნარში და ინარჩუნებდეს მნიშვნელოვან სიმტკიცეს. ჰეტეროგენული მემბრანების მექანიკური სიმტკიცის გაზრდისათვის მათ უკეთებენ არმირებას ნეილონის ან კაპრონის ქსოვილით, რომელიც იცავს მემბრანას დაშლისაგან გაჯირჯევების დროს [58].

ცხადია, ჰეტეროგენულ მემბრანებში იონიმომოცვლითი კოწარმოადგენს მთლიან ფაზას, იონების გადატანა ხორციელდება იონიტკომპონენტი არ ის ნაწილაკებს შორის კონტაქტით, ან ნაწილაკებს შორის არსებული ხსნარით, ან განპირობებულია ორივე ფაქტორით [59,60].

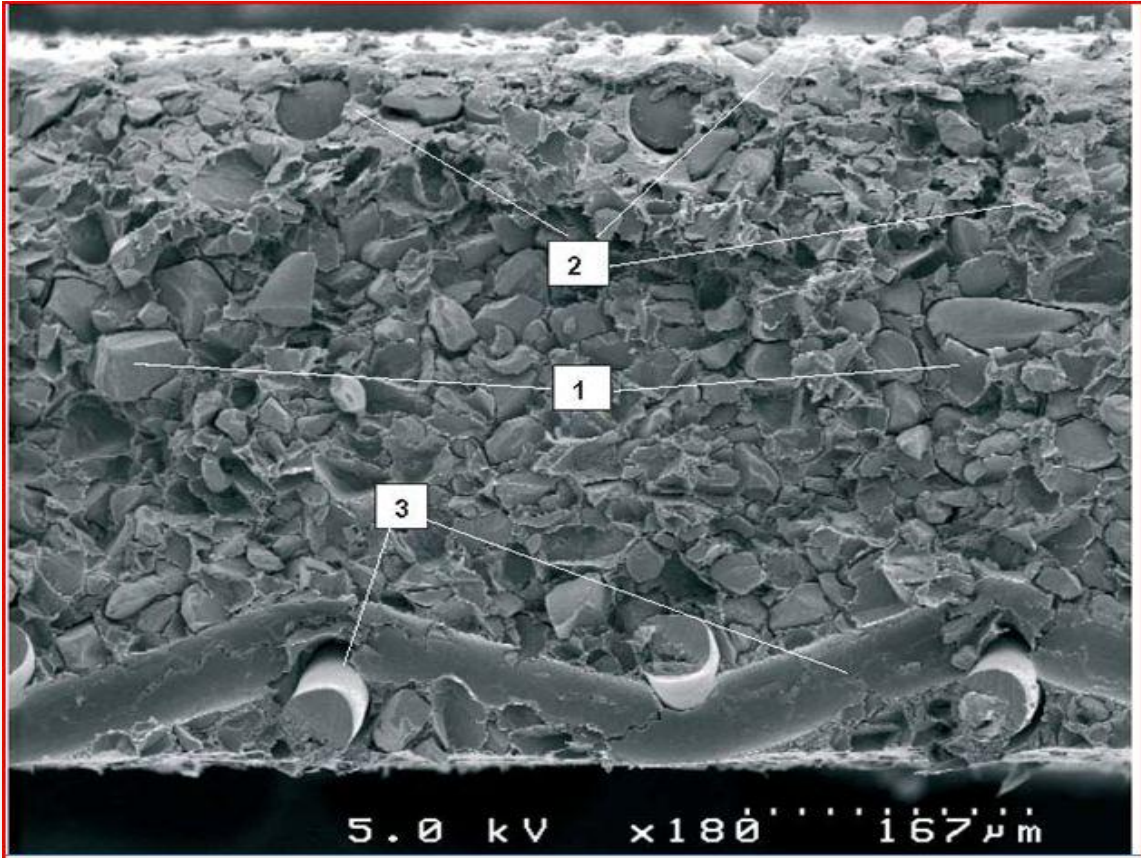
ჰომოგენური მემბრანების სტრუქტურაში იონიმომოცვლითი კომპონენტი წარმოქმნის



ერთ მთლიან ფაზას. ასეთი მემბრანები შეიძლება მიღებული იყოს ფიქსირებული ჯგუფების შემცველი მონომერების მარტივი პოლიკონდენსაციით მჟავა- ან ტუტეგამძლე საფენებზე, რომლებზეც წარმოებს მემბრანების ჩამოსხმა [61].

ქიმიურად და თერმულად მტკიცე მემბრანებს ღებულობენ შემკვრელი აგენტის შემცველი არაიონური მონომერების დამატებითი პოლიმერიზაციით და შემდეგ მჟავა არეში დაყოვნებით. მაგალითად, ძლიერი კათიონმიმოცვლითი თვისებების მინიჭებისათვის მემბრანას ათავსებენ გოგირდმჟავას კონცენტრირებულ ხსნარში.

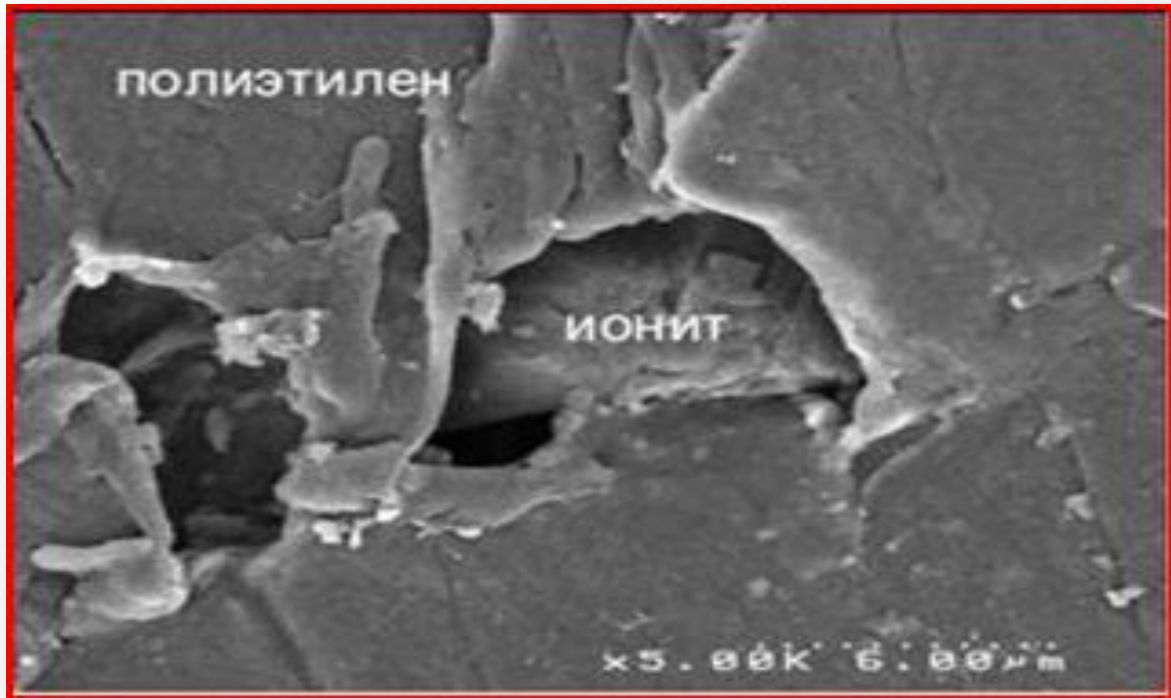
აღნიშნული მეთოდის საპირისპიროდ, ჰომოგენური იონმიმოცვლითი მემბრანა შეიძლება დამზადებული იყოს წრფივი სტრუქტურის მქონე პოლიელექტროლიტის და ინერტული პოლიმერის შემცველი ჩამოსასხმელი ხსნარების აორთქლებით. ასეთი მემბრანები პრაქტიკულად უხსნადი არიან წყალხსნარებში. ამ მეთოდით მემბრანის მიღების დროს გამხსნელი უნდა წარმოადგენდეს პოლარული და არაპოლარული კომპონენტების ნარევს, რომ მან შეძლოს ჰიდროფილური პოლიელექტროლიტის ისევე კარგად გახსნა, როგორც ჰიდროფობური ინერტული პოლიმერისა [57].



ჰეტეროგენული MA-40 მემბრანა: 1. იონმიმოცვლითი ფისი, 2. პოლიეთილენი, 3. არმირებადი ბადის ძაფები

ამ მეთოდით მემბრანების მიღების დროს აუცილებლად უნდა დაიცვას პოლიელექტროლიტისა და უხსნადი პოლიმერის თანაფარდობა : პოლიელექტროლიტის სიჭარბე იწვევს მემბრანის თვისებების ცვლილებას - ის ხდება წყალში არამდგრადი. მემბრანაში პოლიელექტროლიტის რაოდენობა ჩვეულებრივ მერყეობს 15%-დან 30%-მდე [62].

ამიტომ მათი ექსპლუატაციური თვისებები უფრო დაბალია, ვიდრე ჰეტეროგენური მემბრანებისა. აღსანიშნავია, რომ მემბრანების მიღების ზოგიერთი მეთოდი, რომელიც კარგად არის დასაბუთებული ქიმიურად, ხშირად ვერ პასუხობს პრაქტიკულ მოთხოვნებს. კერძოდ, ვერ უზრუნველყოფს მემბრანების მექანიკურ სიმტკიცეს და მათი დიდი ზომის ფურცლების სახით წარმოებას, რომლის დროსაც მემბრანის მთელ მოცულობაში დაცული იქნება თვისებების ერთგვაროვნება.



მაღალი ხარისხის მემბრანების მიღების მიზნით მუდმივად წარმოებს მათი მიღების ახალი ხერხებისა და მასალების ძიება, ასევე, უკვე არსებული მეთოდების სრულყოფა. ამ სფეროში წამყვან ფირმებს მიეკუთვნებიან: "Asahi Glass", "Asahi Chemical Ind", „ИОНИКС“, და სხვა [53]. მათ მიერ გამოშვებული მემბრანები არ წარმოადგენს ქ.შოკინოში (რუსეთი) წარმოებული მემბრანების ანალოგებს, მაგრამ მათი გამოყენების სფეროები ერთნაირია. კერძოდ, წარმოებული მემბრანების ასორტიმენტი ელექტროლიტთა ხსნარების დემინერალიზაციისა და დაკონცენტრირების საშუალებას იძლევა [63].

იონმიმოცვლითი მემბრანების ძირითად ტიპს, რომლებსაც ელექტროდიალიზურ პროცესებში დღემდე იყენებენ ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში, წარმოადგენს ქ.შოკინოში (რუსეთი) წარმოებული ჰეტეროგენული მემბრანები. მათ მისაღებად გრანულირებულ ფისებს აკონდიციონირებენ, შემდეგ აქუცმაცებენ ნაწილაკების ერთმანეთთან ურთიერთდაჯახებით შემხვედრ ნაკადში, რომელიც იქმნება შეკუმშული ჰაერით. მიღებული დაქუცმაცებული იონიტი ერევა პოლიეთილენის წვრილად დისპერსულ ფხვნილს და ანტიოქსიდანტებს. ჰეტეროგენული MK – 40 ტიპის კათიონმიმოცვლითი მემბრანის სერიული წარმოებისათვის ნარევი შეიცავს 65% ძლიერმჟავურ სულფოკათიონიტს, რომელსაც დებულობენ სტიროლისა და დივინილბენზოლის თანაპოლიმერის სულფირებით.

MA-40 ტიპის საწარმოო სერიული ანიონმიმოცვლითი მემბრანა შეიცავს 65 % მაღალფუძოვან ანიონიტს, მიღებულს სტიროლისა და დივინილბენზოლის თანაპოლიმერის ქლორმეთილირებით და შემდგომი ამინირებით- ტრიმეთილამინით. ეს იონიტი შეიცავს მხოლოდ ბენზილტრიმეთილამინურ ჯგუფებს. მომზადებული წვრილად დისპერსული ნარევი განიცდის ვალცირებას ფურცლებში 140°C ტემპე-რატურაზე. იონიტის ფურცლები პოლიეთილენთან ერთად იპრესება ნეილონის ან კაპრონის არმირებად ნაჭერთან 350 სმ x 450 სმ ზომის ფურცლებში, 250-295 ატმ წნევისა და 140°C ტემპერატურის პირობებში.

ქ.შოკინოში მცირე პარტიების სახით, დაკვეთით მზადდება სხვა ტიპის ჰეტეროგენული მემბრანებიც, როგორცაა : იზოფოროვანი *MA -41 II* მარკის მემბრანები, რომლებიც წარმოადგენენ ანიონიტური *MA - 41* მემბრანის ანალოგებს; *MK - 41* კათიონიტური მემბრანები - დამზადებული ფოსფორმჟავური კათიონიტის სა-ფუძველზე და ბიპოლარული მემბრანები : *MB - 1* - მიღებული *MK - 40* და *MA - 40* მემბრანების დაპრესვით და *MB -3* მემბრანები- დამზადებული *MK-41* და *MA -41* მემბრანების დაპრესვით [64,65].

ზემოაღნიშნული ტექნოლოგიით დამზადებული ჰეტეროგენული მემბრანების თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ელექტროდიალიზის დროს იძულებითი გამოშრობის შემდეგ, მათ ახასიათებთ მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შექცევადობა.

იონმიმოცვლითი მემბრანები შეიძლება გამოყენებული იყოს ნივთიერებათა დაყოფისათვის სხვადასხვა სისტემებში და მათ შორის აგრესიულ სისტემებში. აგრესიულ არეებთან გარკვეული კონტაქტის შემდეგ ადგილი აქვს მემბრანების თვისებების გაუარესებას. წყალი და მარილთა წყალხსნარები იმ პოლიმერების მიმართ გამოდიან ქიმიურად აგრესიული არეების როლში, რომლებიც შეიცავენ ადვილად ჰიდროლიზირებულ კავშირებს. ასეთი ხსნარების მოქმედებისას პოლიეთერულ ფისებში წარმოიქმნება შიგა და გარე მიკრობზარები რომლებიც დროთა განმავლობაში გადაიზრდებიან მაკრობზარებად [66].

[67] სამუშაოს ავტორები თვლიან, რომ პოლიამიდების საფუძველზე დამზადებული მემბრანები, მათზე წყლისა და მარილხსნარების მოქმედებისას დესტრუქციას განიცდიან მხოლოდ მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

[68] სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ აგრესიული არე გავლენას არ ახდენს მემბრანაში შემავალი მაღალი წნევის პოლიეთილენის მექანიკურ თვისებებზე, ვინაიდან მას გააჩნია საკმარის მაღალი ქიმიური სტაბილურობა. ავტორების მიერ დადგენილია, რომ არაორგანული არეები, განსაკუთრებით გოგირდმჟავა და მარილმჟავა უფრო მეტად აუარესებს არმირებადი მასალის - კაპრონის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს, ვიდრე ლავსანისას.

19.4. ორგანული ნივთიერებების სორბცია იონმიმოცვლითი მემბრანებით

ელექტროდიალიზური იონმიმოცვლითი მემბრანების ურთიერთქმედება ორგანულ ნივთიერებებთან იწვევს მათ "მოწამვლას". ამიტომ, ძალიან აქტუალურია მემბრანების ორგანულ ნივთიერებებთან ურთიერთქმედების საკითხის შესწავლა, რადგან ეს ძალიან მნიშვნელოვანია ელექტროდიალიზის პროცესისათვის.

სრულყოფილად "მოწამვლის" მოვლენა შესწავლილია [69-71, 72, 73] ნაშრომებში, ანიონიტებით ჰუმინური და ფულვომჟავების სორბციის მაგალითზე. ნაჩვენებია, რომ სორბციაზე დიდ გავლენას ახდენს შემადგენლობის არაერთგვაროვნება, მაღალი მოლური მასა და სხვადასხვა ფუნქციური ჯგუფების არსებობა, რაც იწვევს ფისებისა და მემბრანების თვისებების დაქვეითებას ამ მჟავების სორბციისას. აგრეთვე ნაჩვენებია წყლიდან ჰუმინური მჟავების სრული გამოყოფის აუცილებლობა, რადგან პრაქტიკულად შეუძლებელია სორბირებული ჰუმინური მჟავების ჩამორეცხვა იონიტიდან.

შესწავლილია ალიფატური მჟავების სორბცია [71,74-76]. დადგენილია, რომ ჯაჭვის სიგრძის გაზრდით, იზრდება ამ მჟავების მოლეკულური სორბცია, რაც იწვევს ადსორბციის გაზრდას და იონური მიმოცვლის შემცირებას. იგივე ხასიათით მიმდინარეობს ფენოლის შთანთქმა კათიონიტებითა და ანიონიტებით [77,78]. ასეთ სორბციაზე დიდ გავლენას ახდენს თვით იონიტების ბუნება, იონოგენური ჯგუფების ხასიათი, კონცენტრაცია და ნახშირწყალბადური ჩონჩხის აღნაგობა. ანიონმიმოცვლით ფისებს გააჩნია უფრო დიდი ტევადობა ფენოლის მიმართ, ვიდრე კათიონმიმოცვლითს. იონიტის ფორიანობის გავლენა ორგანული იონების სორბციაზე შეისწავლა *ი. ზნამენსკიმ* [79]. მან დაადგინა, რომ მაკროფორული მატრიცის მქონე იონიტებზე, სორბცია ნაკლებია, ვიდრე გელისებრზე. ორგანული იონების სორბციას იონიტებით გააჩნია შემდეგი განსაკუთრებული თვისებები [39] :

- იონიტები, როგორც წესი ამჟღავნებენ მაღალ სელექტიურობას ორგანული იონების მიმართ, ტრაუბეს წესის თანახმად იონების რადიუსის გაზრდით იზრდება სელექტიურობა;
- ორგანული ნივთიერებების იონების ზომები შეესაბამება იონიტის სამგანზომილებიან ბადის უჯრედებს, რის გამო წარმოიქმნება სტერიული ეფექტი და, როდესაც მიმოცვლის სიჩქარე მკვეთრად შემცირდება, პრაქტიკულად ნულამდე, ჭეშმარიტ წონასწორობზე დამყარდება ცრუ წონასწორობა;
- ორგანული ნივთიერებების სორბციისას, ადგილი აქვს მარტივი კანონებიდან, კერძოდ მოქმედ მასათა კანონიდან, მიმოცვლის გადახრებს.
- დიდი ორგანული იონები, როგორც წესი, მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან მინერალური მარილებისაგან, რომლებიც მონაწილეობენ მიმოცვლაში მეორე კომპონენტის სახით, ძვრადობით, დიფუზიის კოეფიციენტებით ხსნარში და იონიტში.
- ორგანული იონების სორბციის სიჩქარე ყოველთვის ნაკლებია მცირე ზომების იონების სორბციის სიჩქარეზე.
- ორგანული ნივთიერებების იონების შთაქნთქმა გაჯირჯვებული სორბენტებით, ხშირად მიდის იონიტის დეჰიდრატაციით.
- ორგანული იონების სორბციის განსაკუთრებული თვისებაა - იონიტების მაღალი ამორჩევითი უნარი.

ნაშრომში [80] ნაჩვენებია, რომ სელექტიურობის კოეფიციენტი დეცილ - და დოდეცილსულფატის კალიუმის იონებისათვის ანიონმიმოცვლით ფისზე შეადგენს 10 დან 100 - მდე, თუ კი აღებულია ტეტრა ან დეცილსულფატი - 100- დან 1000 -მდე. *სამსონოვის* მიერ ეს აიხსნება იმით, რომ ორგანული იონი მოქმედებს ფისის მატრიცასთან, რომელსაც აგრეთვე აქვს ორგანული ბუნება. ეს ურთიერთქმედება მიდის წყალბადური ბმების ხარჯზე.

მაღალი სელექტიურობას იჩენენ იონიტები და მემბრანები ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მიმართ, რის გამო ისინი ფართოდ გამოიყენება ჩამდინარე და სასმელი წყლების ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისაგან გაწმენდის პროცესებში. ნაშრომებში [81,82] ნაჩვენებია : თუ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ხსნარში წარმოქმნიან ასოციატებს, მაშინ იონიტის ტევადობა მცირდება იმის გამო, რომ ასოციატები ვერ აღწევენ ფისების მარცვლებში და წარმოქმნიან მათ ზედაპირზე მონომოლეკულურ შრეს. ადსორბციის იზოთერმების ხასითი დამოკიდებულია იონიტის

ფუძიანობაზე. თუ იონიტი სუსტფუძიანია, მაშინ იზოთერმებზე წარმოიქმნება ორი უცვლელი მონაკვეთი, თუ კი ძლიერფუძიანი - ერთი. პირველ შემთხვევაში ადსორბცია განპირობებულია ელექტროსტატიკური ძალებით და ზედაპირულად აქტიური იონის არაპოლარული ჯაჭვის ჰიდროფობური ურთიერთქმედებით იონიტთან. თუ ანიონიტი ძლიერფუძიანია, მაშინ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების შთანთქმა განპირობებულია იონური მიმოცვლით [83].

არაორგანული მარილები (NaCl , Na_2SO_4 , Na_3PO_4) სხვადასხვანაირად ახდენენ გავლენას ადსორბციის ხარისხზე. ყველაზე ნაკლებ გავლენას ახდენს: დოდეცილ -, ტრიდეცილ და ტეტრადეცილნატრიუმი [29,30]. ნახშირწყალბადური ჯაჭვების სიგრძის გავლენა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების სორბციაზე, შესწავლილია *ბ.თამაშისა და კ.თამაქის* ნაშრომში. შეისწავლებოდა ნატრიუმის დოდეცილსულფატისა და ალკილამონიუმის ქლორიდების ხსნარები. მათ დაადგინეს, რომ ადსორბირებული ნივთიერებების რაოდენობა, ჯაჭვის სიგრძის გაზრდით, აღემატება ფისის მიმოცვლის ტევადობას. ავტორების აზრით, მიმოცვლითი სორბციის გარდა, ადგილი აქვს დიდი ჰიდროფობური ალკილური ჯგუფების ფიზიკურ ან მოლეკულურ სორბციას. [84,85,86-92] ნაშრომებში შესწავლილია ცილებისა და ანტიბიოტიკების : ინსულინის, პენიცილინის, ერითრომიცინისა და სტრეპტომიცინის სორბცია. მიღებულია, რომ დიდი ორგანული იონები შთანთქმება მაღალი ამორჩევითი უნარით, რაც განპირობებულია ფუნქციურ ჯგუფებთან ან სორბენტის მატრიცასთან დამატებითი ბმების წარმოქმნით. *ი.დრობიშევას ნაშრომში* [42] აღნიშნულია, რომ ელექტროველის გარეშე, იონიტური მემბრანების ელექტროგამტარობა ალკილ სულფონატების ხსნარებში, ნახშირწყალბადური ჯაჭვის სიგრძის გაზრდით 6 დან 16- მდე - მცირდება. ელექტროგამტარობა მცირდება, თუ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების რადიკალში იზრდება ნახშირბადის ატომების რიცხვი. ეს შედეგი აიხსნება ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებათა იონების მცირე ძვრადობით. გარდა ამისა, იგივე ხსნარებში ისაზღვრებოდა მემბრანების ტენზომცველობა. დადგენილია, რომ ანიონიტური მემბრანების ელექტროგამტარობა განისაზღვრება წყლის შემცველობით და ზედაპირულად აქტიური იონების კონცენტრაციით მემბრანაში. არამიმოცვლითი სორბირებული ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების რაოდენობის გაზრდით, ელექტროგამტარობა მცირდება. *კუდრატოვას* [33] ნაშრომში წარმოდგენილია მონაცემები MK-40 და MA-40 მემბრანების ურთიერთქმედებაზე ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების ხსნარებთან. დადგენილია, რომ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების სორბცია უმნიშვნელოა სისტემებში, სადაც ზედაპირულად აქტიური

იონის და მემბრანის მუხტების ნიშნები ემთხვევა ერთმანეთს, და აღემატება მიმოცვლის ტევადობის სიდიდეს, თუ მათ აქვთ საწინააღმდეგო ნიშნები. ამ დროს მემბრანა სორბირებს ზედაპირულად აქტიურ უკუიონს. ამით მემბრანის ელექტროქიმიური აქტივობა ძლიერ მცირდება, ძვრადობას აქვს დაბალი სიდიდეები, რაც მოწმობს იმაზე, რომ იონებს უჭირს მოძრაობა მემბრანაში. ნატრიუმის დოდეცილ სულფატის გავლენა საწარმოო მემბრანების MK-40 და MA-40 ტრანსპორტულ მოწამვლის და სელექტიურობის კორელაცია, კერძოდ, რომ მემბრანის სელექტიურობის გაზრდით, მათი მდგრადობა მოწამვლისადმი მცირდება.

მიუხედავად იმისა, რომ მემბრანების მოწამვლას აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ელექტროდიალიზის პროცესებისათვის, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების სორბცია მემბრანებით, ბოლომდე არ არის შესწავლილი. სამეცნიერო და პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენდა იონმიმოცვლითი მემბრანებზე ორგანული იონების კერძოდ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების სორბციის შესწავლა ორგანული და არაორგანული ელექტროლიტების ზღვის წყლის იმიტატის ხსნარებში

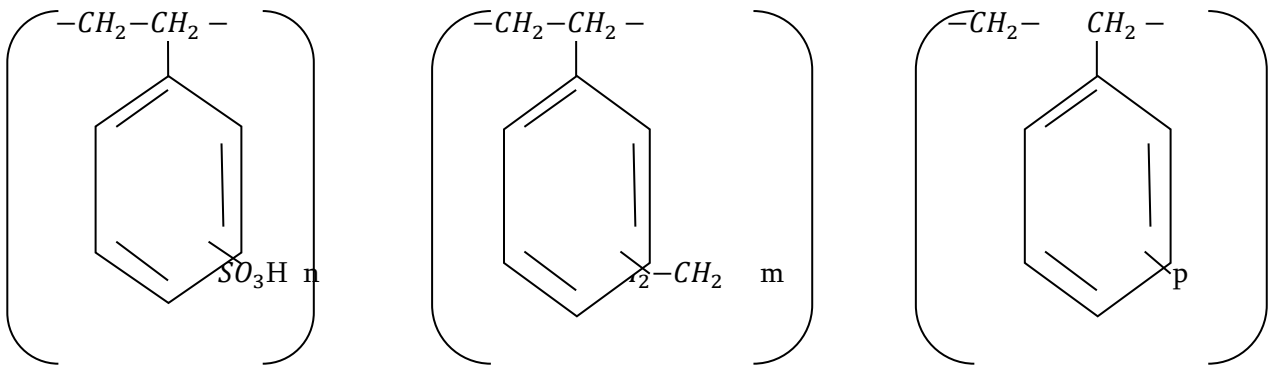
20. იონმიმოცვლითი მემბრანების სორბციული მახასიათებლების განსაზღვრა ელექტროლიტების ხსნარებში

20.1 ექპერიმენტალური ნაწილი

20.1.1 კვლევის ობიექტები

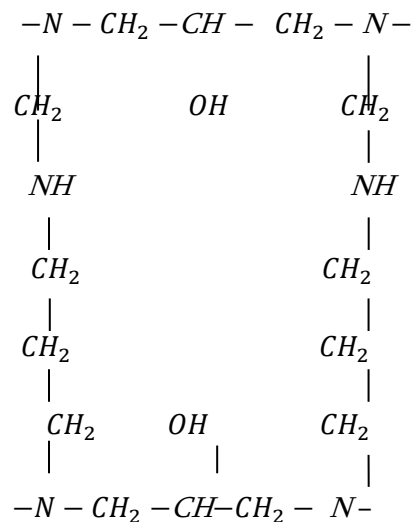
კვლევა ტარდებოდა საწარმოო კათიონ- და ანიონმიმოცვლით მემბრანებზე, რომლებიც გამოიყენება ელექტროდიალიზურ დანადგარებში. კათიონიკური მემბრანა MK-40 მიღებულია კათიონიტის **KY-2-8** და ანიონიკური მემბრანა MA-40 ანიონიტის $\Xi\Delta\Xi$ -10π საფუძველზე. მონოფუნქციური ძლიერმჟაური კათიონიტი **KY-2-8** მიიღება სტიროლისა და 8 % დივინილ ბენზოლის სოპოლიმერის სულფიტრებით [93].

ელემენტალურ რგოლს აქვს შემდეგი აღწერა :



ნახ.26 ფისი კათიონიტი KY-2-8

ანიონიტი $\text{X}\text{D}\text{X}-10\pi$ წარმოადგენს პოლიფუნქციურ ანიონიტს, რომელიც შეიცავს ალქილატური რიგის მეორეულ და მესამეულ ამინოჯგუფებს და მიახლოებით მეოთხეული ამონიუმის ფუძეთა ჯგუფების 20%. ელემენტარული რგოლის აღნაგობა:



ანიონიტი გამოიშვება Cl - ფორმაში და მიიღება პოლიეთილენპოლიამინისა და პიქლორგიდრინის პოლიკონდენსაციით. მემბრანა წარმოებაში მიიღება დაბალი წნევის პოლიეთილენისა და იონიტს (ნაწილაკების ზომები 5-60 მკმ) შერევით და ნარევის შემდეგი ფორმირებით ფურცლებში. მემბრანების ზედაპირს არმირებენ კაპრონის ქსოვილით. ორივე მემბრანაში პილიეთილენის შემცველობა შემკვრელი აგენტის სახით შეადგენს 60-65 %.



ნახ.27. ფისი ანიონიტი $\text{XDC-10}\pi$

კვლევისათვის მემბრანები მზადდებოდა სტანდარტული მეთოდიკით. მემბრანების ზედაპირი ცხიმოვანი აკვის მოსაშორებლად იწმინდებოდა ტეტრაქლორმეთანით (CCl_4) გაჟღენთილი ტამპონით, შემდეგ მემბრანები თავსდებოდა ეთილის სპირტში 6 საათით. მემბრანები სპირტული დამუშავების შემდეგ თავსდებოდა NaCl- ის ნაჯერ ხსნარში და შემდეგ ირეცხებოდა გამოხდილი წყლით. მემბრანები თანმიმდევრულად

მუშავდებოდა 10% HCl-ისა და 10% NaOH - ის ხსნარებით და ამის შემდეგ გადაიყვანებოდა H⁺ და OH⁻ ფორმაში 15 HCl და 15 NaOH ხსნარებით, ორი დღე-ღამის განმავლობაში ხსნარი იცვლებოდა მრავალჯერ. ნეიტრალური რეაქციის მიღებამდე გამოხდილი წყლით გარეცხვის შემდეგ, მემბრანები გადაიყვანებოდა Na⁺ და Cl⁻ ფორმაში, შესაბამისად 1 ნ NaCl-ის ხსნარით მრავალჯერადი დამუშავებით.

მემბრანების სორბციული მახასიათებლები ისაღვრებოდა ორგანული ელექტროლიტების : ნატრიუმბენზოლსულფონატის - $C_6H_5SO_3Na$ (NABS) , ნატრიუმის ნაფტალინ - 2 - სულფონატის $C_{10}H_7SO_3Na$ (NaNS) და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების - ქლორიდ ცეტილ პირიდინიუმის $C_{16}H_{33}NC_3H_5Cl \cdot H_2O$ (CPCI) ხსნარებში. შედარებისათვის მემბრანის მახასიათებლები იზომებოდა არაორგანული: NaCl, Na₂SO₄ და MgCl₂ ელექტროლიტების ხსნარებში. ელექტროლიტების მუშა ხსნარების კონცენტრაცია შეესაბამებოდა მათ შემცველობას შავი ზღვის წყალში. NaNS მიიღებოდა 0,1 ნ HNS (ნაფტალინ სულფომჟავა) და 0,1 ნ NaOH-ის ხსნარების ურთიერთქმედებით. უხსნადი მინარევების ნალექი იფილტრებოდა და ფილტრატის pH, NaOH-ის ხსნარის დამატებით, დაიყვანებოდა ნეიტრალურ მნიშვნელობამდე.



ნახ.28 ანიონმიმოცვლითი მემბრანა MA-40

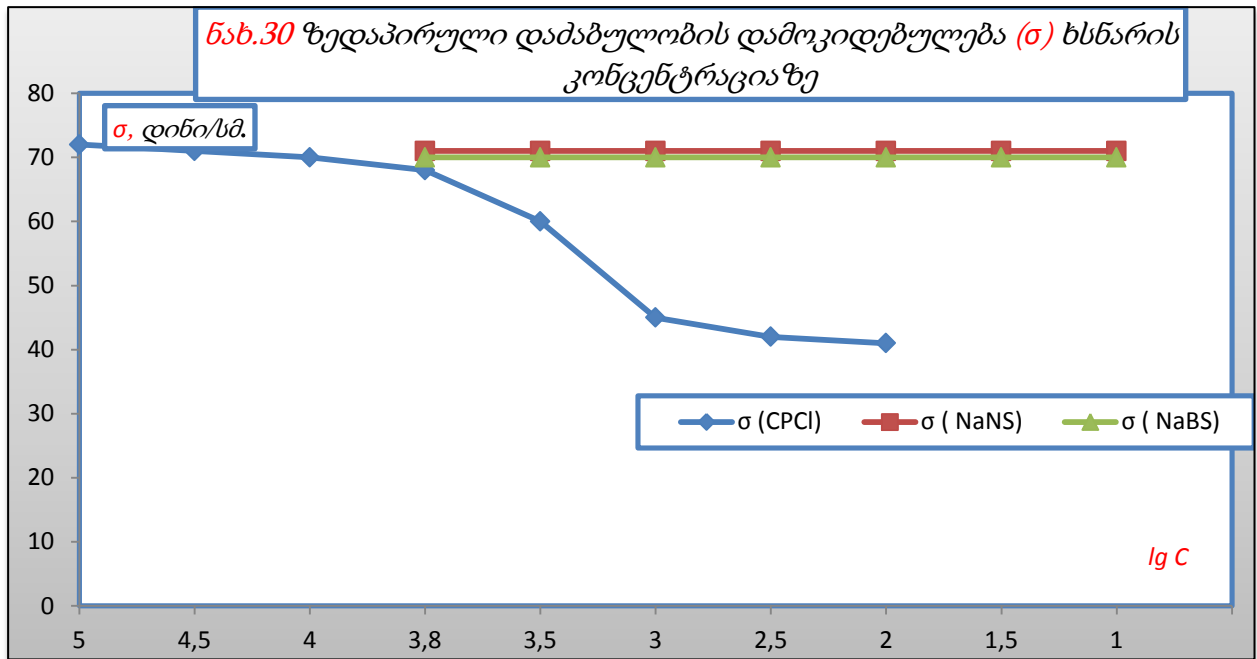


ნახ.29 კათიონმიმოცვლითი მემბრანა MK-40

20.2 ექსპერიმენტის მეთოდები

20.2.1 ორგანული ელექტროლიტთა ხსნარების ზედაპირული დაძაბულობის განსაზღვრა

ორგანულ ნაერთთა ხსნარების მოცულობითი თვისების - ზედაპირული დაძაბულობის განსაზღვრა, ტარდებოდა სტანდარტული მეთოდით [94] ხსნარების კონცენტრაციის დიაპაზონში : 10^{-4} - 10^{-1} M NaBS, 10^{-4} - 10^{-1} M NaNS და 10^{-4} - 10^{-3} M CPCI. ნახ 30-ზე მოცემულია ხსნარების ზედაპირული დაძაბულობის დამოკიდებულება კონცენტრაციის ლოგარითზე. მიღებული მონაცემებიდან გამომდინარე ზედაპირული დაძაბულობა NaBS და NaNS ხსნარებისათვის არ არის დამოკიდებული კონცენტრაციაზე, რაც მოწმობს იმაზე, რომ ამ ნივთიერებებს არ აქვთ ზედაპირული აქტიურობა ანუ ისინი იქცევიან, როგორც ძლიერი ელექტროლიტები. NaBS და NaNS ხსნარებიდან განსხვავდება CPCI ხსნარი: დამოკიდებულება $\sigma - \lg C$ შეესაბამება ტიპური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ქცევას. მრუდზე გარდატეხის წერტილი - მიცელწარმოქმნის კრიტიკული კონცენტრაციაა, რომელიც უდრის $1,1 \cdot 10^{-3}$ მოლი/ლ.მიღებული მონაცემები ემთხვევა ლიტერატურულ მონაცემებს.



20.2.2 მემბრანის მიმოცვლის უნარის განსაზღვრა

მემბრანის სრული მიმოცვლის ტევადობა განისაზღვრება იონოგენური ფიქსირებული ჯგუფების რაოდენობით, რომლებსაც შეუძლია მიმოცვლა წონასწორული ხსნარის უკუიონებზე, გამოსხება მგ.ექვ. მშრალი მემბრანის 1 გრამზე. მიმოცვლის ტევადობა ისაზღვრებოდა პოტენციომეტრიული გატიტრის მეთოდით, რომელიც მდგომარეობს ორი მრუდის აგებაში : მარილის ხსნარის გატიტრას მჟავათი ან ტუტით მემბრანის დასწრებით და მემბრანის გარეშე.

ნახ.31-32 - ზე წარმოდგენილია კათიონიტური და ანიონიტური მემბრანის გატიტრის მრუდები. მიმოცვლის ტევადობა g განისაზღვრებოდა ერთი და იგივე pH - ზე ორ მრუდზე მყოფი წერტილების აბსცისის სხვაობით და განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$g = \frac{C(V_1 - V_0)}{m} \quad (17)$$

სადაც :

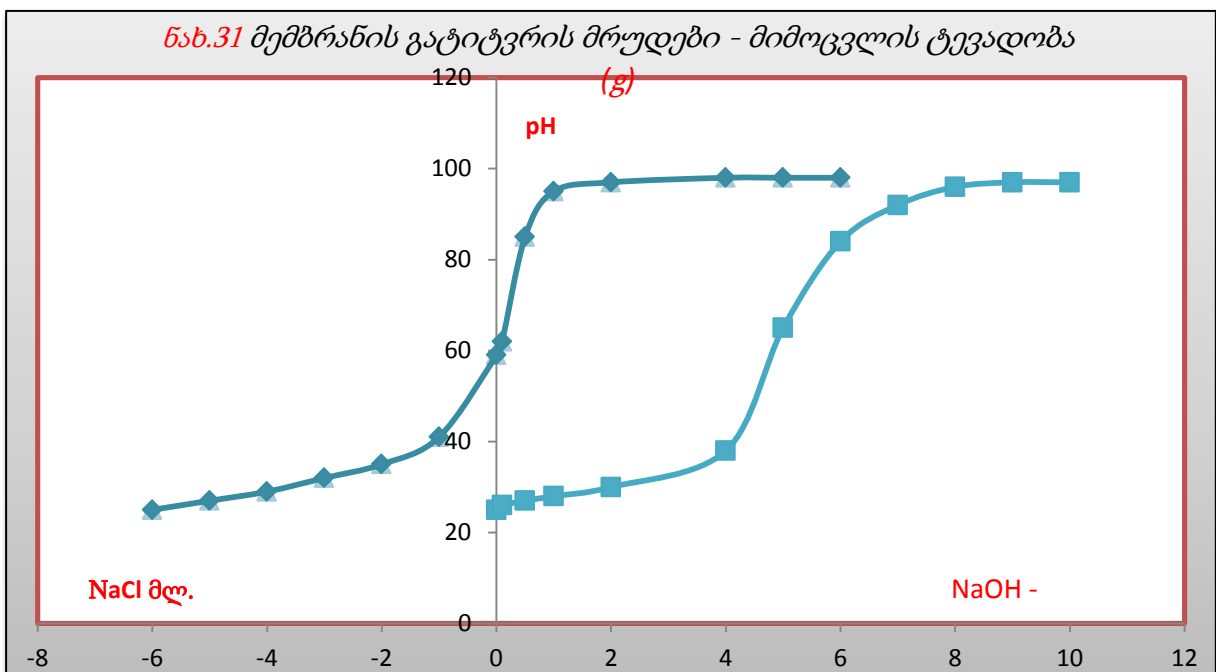
- ✓ V_1 – HCl (NaOH) მოცულობა მემბრანის დასწრებით , სმ³ ;
- ✓ V_0 - HCl (NaOH) მოცულობა მემბრანის გარეშე, სმ³;
- ✓ C- HCl (NaOH)- ის კონცენტრაცია, გ-ექვ. /ლ.;
- ✓ m- მემბრანის სინჯი, გ.

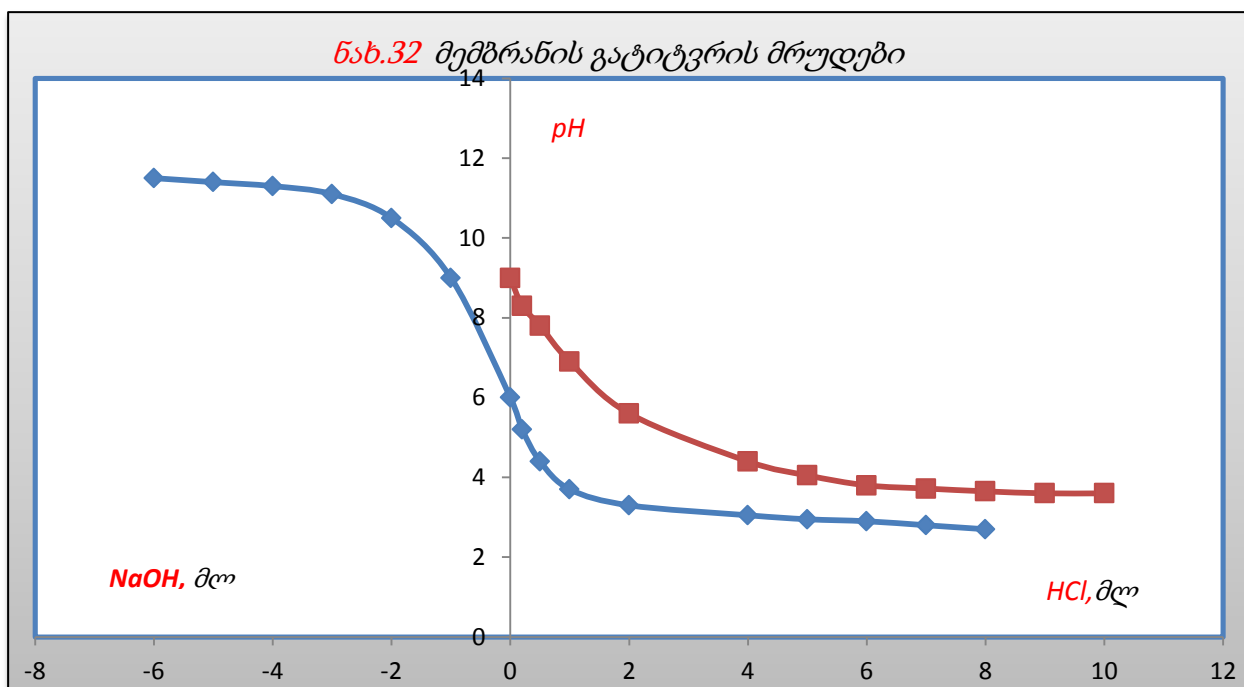
20.2.3 მემბრანებით ორგანული იონების სორბციის განსაზღვრა

ორგანული იონების სორბცია ისაზღვრებოდა სისტემებში: MK-40-CpCl, MA-40-NABS და MA-40-NaNS. სორბციის განსაზღვრა ტარდებოდა სტატიკურ პირობებში ორი მეთოდით :

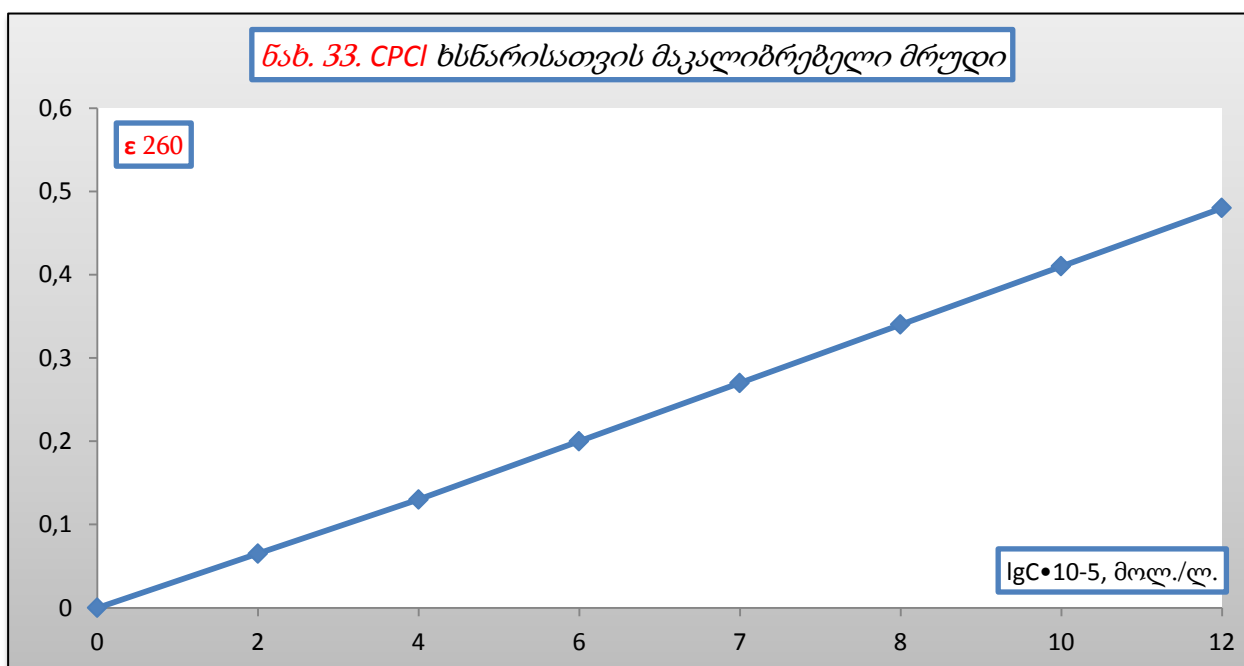
- ორგანული იონების კონცენტრაციის შემცირებით ხსნარებში, რომლებიც კონტაქტში იყვნენ მემბრანებთან (MK-40 და MA-40);
- MA-40 მემბრანისათვის პოტენციომეტრიული გატიტრის მეთოდი. სორბციის დროს ტარდებოდა პერიოდული მორევა (1ჯერ დღე-ღამეში, 2-3 საათის განმავლობაში).

სორბცია ისაზღვრებოდა დროის განსაზღვრულ მონაკვეთებში აღებული ცალკეული სინჯების ანალიზით. სორბცია ტარდებოდა 35 დღე - ღამემდე. ყველა გაზომვა მიმდინარეობდა ოთახის ტემპერატურაზე (18 °C). საკვლევი ნივთიერების კონცენტრაცია ისაზღვრებოდა სპექტროფოტომეტრიულად : 260 ნმ - $2.5 \cdot 10^{-4}$ M CpCl, 275 ნმ - $2.5 \cdot 10^{-4}$ M NaNS, 263 ნმ - $2.5 \cdot 10^{-3}$ M NaBS. აგებული იყო ამ ხსნარების მაკალიბრებელი მრუდები. ნახ.8 - ზე მოყვანილია CpCl მაკალიბრებელი მრუდი ექსტინქციის (ϵ) ხსნარის კონცენტრაციის ლოგარითმზე დამოკიდებულების სახით.





ანალოგიური მრუდები მიღებული იყო NaNS და NaBS -ისათვის.



20.2.4 მემბრანის ტენზომცველობის განსაზღვრა

წყლის შემცველობა მემბრანებში დამოკიდებულია ელექტროლიტის სახეობაზე, გარე ხსნარის კონცენტრაციაზე და მემბრანაში შემავსებელი ნივთიერების რაოდენობაზე.

მემბრანების ტენშემცველობის ანუ ფორიანობის განსაზღვრის მეთოდი დამოკიდებულია გაჯირჯვული და მუდმივ მასამდე გამომშრობილი მემბრანის სინჯის აწონვაზე. მემბრანა მოყვანილია წონასწორობაში შესაბამისი კონცენტრაციების ხსნარებთან, ამოიღებოდა ხსნარიდან და 30 წამის განმავლობაში შრებოდა ფილტრის ქაღალდით, შემდეგ იწონებოდა. ამის შემდეგ მემბრანა შრებოდა მუდმივ წონამდე : 60°C -ზე - MA-40 და 80-100°C-ზე - MK-40.

მემბრანების ტენშემცველობა გამოითვლებოდა შემდეგი ფორმულებით:

$$\alpha' = \frac{P_H - P_0}{P_0} \quad (18)$$

$$\alpha'' = \frac{P_H - P_0}{P_H} \quad (19)$$

სადაც :

✓ $P_H - P_0$ გაჯირჯვული და გამომშრალი მემბრანების წონა, გ;

✓ α' და α'' - ტენშემცველობა, გ., გადათვლილი 1 გ. მშრალ და 1 გ. ტენიან მემბრანაზე.

მემბრანების გაჯირჯვების ხარისხი ისაზღვრებოდა მემბრანების ზოგადი ფორიანობის განსაზღვრის მეთოდის ანალოგიურად, იმ განსხვავებით, რომ აწონვა ტარდებოდა ორ შეურევად სითხეებში (P_{0K} და P_{0CCl_4}).

v_0 და ω (გაჯირჯვების ხარისხი) მნიშვნელობები გამოითვლებოდა, ფორმულებით :

$$v'_0 = \frac{P_{0K} - P_{0CCl_4}}{P_{CCl_4} \cdot P_k} \quad (20)$$

$$\omega = \frac{V_H - V'_0}{P_0} \quad (21)$$

სადაც:

✓ P_{0K} და P_{0CCl_4} - მშრალი მემბრანის წონა განსაზღვრული შესაბამისად ნავთში და CCl_4 .

20.2.5 გადატანის რიცხვების განსაზღვრა მემბრანაში

მემბრანაში გადატანის რიცხვის განსაზღვრისათვის გამოიყენებოდა მემბრანული პოტენციალის მეთოდი. უჯრედის კონსტრუქცია [33] იძლეოდა მემბრანის ზედაპირთან სითხის გადინების საშუალებას, რაც განაპირობებს კონცენტრაციის გრადიენტის მუდმივობას. ყველა ცდაში კონცენტრაციის შეფარდება მემბრანის ორივე მხრიდან უდრიდა 2-ს. იზომებოდა კონცენტრაციული ჯაჭვის ელექტრო მამოძრავებელი ძალა ქლორვერცხლის ელექტროდების გამოყენებით. NaBS და NaNS ხსნარები მზადდებოდა 10^{-4} N NaCl-ის ხსნარის საფუძველზე, იზომებოდა შემდეგი კონცენტრაციული ჯაჭვის ელექტრომამოძრავებელი ძალა (E):

(-) Ag/AgCl : საკვლევი ხსნარი (C₁) : მემბრანა : საკვლევი ხსნარი (C₂) : AgCl/Ag (+)

ელექტრომამოძრავებელი ძალა (E) წარმოადგენს კონცენტრაციული (E_H) და მემბრანული (E_M) პოტენციალების ჯამს NaCl და CPCI ხსნარებში და განისაზღვრებოდა შემდეგი ფორმულებით:

$$E = E_H + E_M \quad (22)$$

$$E_H = -\frac{RT}{z_i F} \ln \frac{a_1}{a_2} \quad (23)$$

$$E_M = -\frac{RT}{z_i F} (2\bar{n}_i - 1) \ln \frac{a_1}{a_2} \quad (24)$$

სადაც :

✓ a_1 და a_2 - ხსნარში ელექტროლიტის საშუალო აქტიურობები.

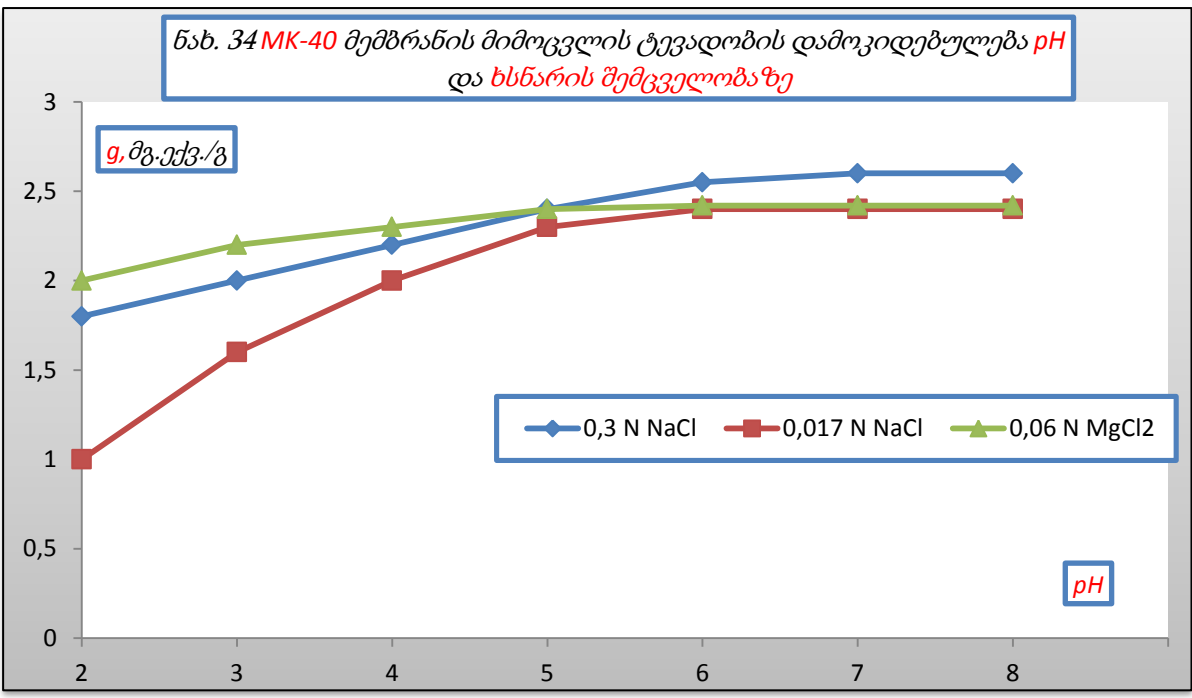
NaBS და NaNS ხსნარების შემთხვევაში ელექტრომამოძრავებელი ძალა განისაზღვრებოდა მხოლოდ E_M -ით. გაზომილი E სიდიდეებიდან გამოითვლებოდა მემბრანაში იონების გადატანის რიცხვები ($2\bar{n}_i$). მემბრანული პოტენციალების გაზომვა ტარდებოდა პოტენციომეტრით, მიკროვოლტამპერმეტრის M - 95 -ის გამოყენებით.

20.3 ექსპერიმენტალური მონაცემები და მათი განხილვა

20.3.1 მიმოცვლის ტევადობა და ორგანული იონების სორბცია

წყლის გაუმარილების ელექტროდიალიზურ დანადგარებში გამოყენებადი საწარმოო ჰეტეროგენული მემბრანების მიმოცვლის ტევადობა (გ) ისაზღვრებოდა ზღვის წყლის ძირითადი კომპონენტების : NaCl , MgCl₂ და Na₂SO₄ ელექტროლიტების ხსნარებში.

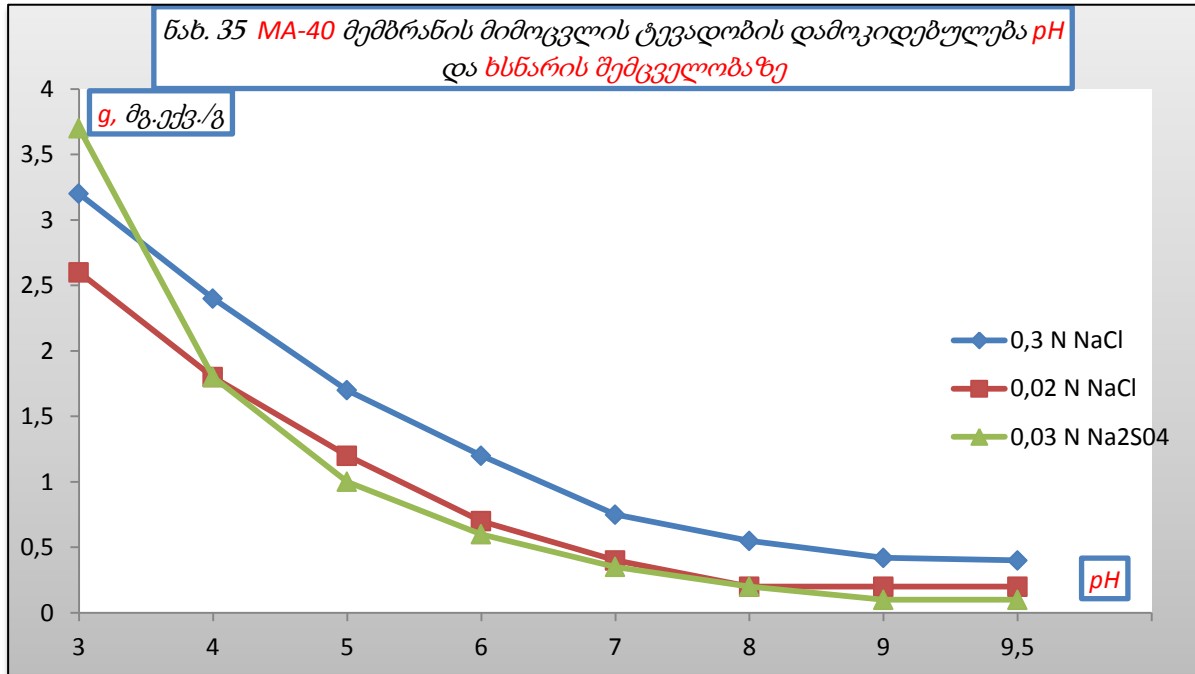
მემბრანების მიმოცვლის ტევადობა (გ) ისაზღვრებოდა პოტენციომეტრიული გატიტრის - ცალკეული სინჯების მეთოდით: კათიონიტური მემბრანების - NaCl და MgCl₂, ანიონიტური - NaCl და Na₂SO₄ ხსნარების ფონზე. მიღებული შედეგები მოყვანილია ნახ.34 და ნახ.35-ზე , მიმოცვლის ტევადობის - გ-ს წონასწორული ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულების სახით.



დადგენილია : კათიონიტური, ძლიერმჟავური კათიონიტი KY-2-8 - დან დამზადებული MK-40 მემბრანების მიმოცვლის ტევადობა, როდესაც გარემოს pH >3, პრაქტიკულად უცვლელია და უმნიშვნელოდ იზრდება საკვლევი ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით. გ-ს სიდიდეები, მიღებული Na⁺ და Mg²⁺ კათიონებისათვის, უახლოვდება ერთმანეთს, რაც შეეესაბამება თეორიულ წარმოდგენებს ძლიერმჟავურ იონიტებზე [22].

გ-ს მნიშვნელობები, მიღებული MK-40 მემბრანისათვის, სახელმწიფო სტანდარტის მიხედვით ტოლია 2,6 მგ.ექვ/გ. და კარგად შეესაბამება ნახ.9-ზე მოყვანილ სიდიდეებს

(pH > 3). MA-40 მემბრანისათვის $g - pH$ დამოკიდებულების ხასიათი განსხვავებულია: მყავა გარემოდან ფუძე გარემოში გადასვლისას, ადგილი აქვს მიმოცვლის ტევადობის ძლიერ დაქვეითებას.



ეს შეესაბამება თეორიულ წარმოდგენებს g -ს დამოკიდებულებაზე პოლიფუნქციური იონიტისათვის. კერძოდ, pH-ის ნეიტრალურ გარემოში მიმოცვლის ტევადობა მცირდება 3-5-ჯერ მაქსიმალურთან შედარებით. სახელმწიფო სტანდარტის მიხედვით MA-40-ის მიმოცვლის ტევადობა უდრის 3,7 მგ.ექვ./გ., რაც კარგად შეესაბამება მიღებულ მონაცემებს. როგორც კათიონური მემბრანისათვის, ანიონურ მემბრანაში ელექტროლიტის კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება მიმოცვლის ტევადობა და როდესაც $pH < 4$ -ზე მემბრანის მიმოცვლის ტევადობა ორვალენტანი იონების მიმართ (SO_4^{2-}) მეტია ვიდრე ერთვალენტანისათვის.

მიღებული მონაცემებიდან ფორმულებით :

$$\bar{m}_R = \frac{100-W}{W} \cdot \frac{M_0}{M} g \quad (25)$$

$$X = \rho \frac{100-W}{100} \cdot \frac{M_0}{M} g \quad (26)$$

სადაც :

- ✓ M_0 - იონიტის მასა საწყის მდგომარეობაში (გარეცხილი და გამოშრალი იონიტი)

H^+ ან C^- ფორმაში შესაბამისად);

- ✓ M - საკვლევ ფორმაში მყოფი მშრალი იონიტის წონა ;
- ✓ ρ და W - წყლის სიმკვრივე და შემცველობა იონიტში.

გამოითვლებოდა ხსნარის მოლალობა \bar{m}_R და ფიქსირებული იონების (X) კონცენტრაცია მემბრანებში. მიღებულია :

მემბრანაში მოლალობა \bar{m}_R :

- ✓ $MA-40$ მემბრანაში :

$\bar{m}_R = 4,4 - 0,2 N$ NaCl-ის ხსნარისათვის და $4,3$ მგ.ექვ/გ. $0,03 N$ Na_2SO_4 ხსნარისათვის ;

- ✓ $MK-40$ მემბრანაში : $0,3N$ NaCl და $0,06 N$ $MgCl_2$ $\bar{m}_R=4.2$ მგ.ექვ / გრამი.

ფიქსირებული იონების კონცენტრაცია:

- ✓ $MK-40$ მემბრანაში

NaCl-ის და $MgCl_2$ -ის ხსნარებში უდრის 1.8 მგ.ექვ/გ, $BaCl_2$ - 1.5 მგ.ექვ/მშრალი მემბრანის 1 გრამზე

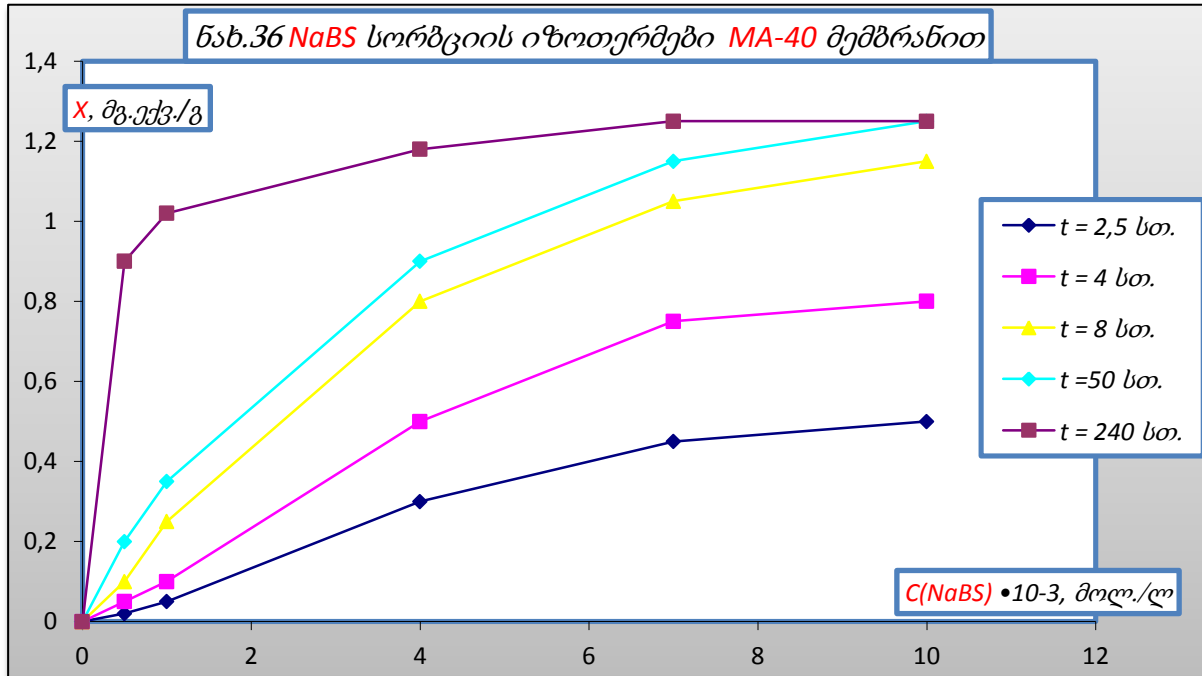
- ✓ $MA-40$ მემბრანაში:

NaCl - $1,7$, Na_2SO_4 - 1.9 მგ.ექვ/ გრამი.

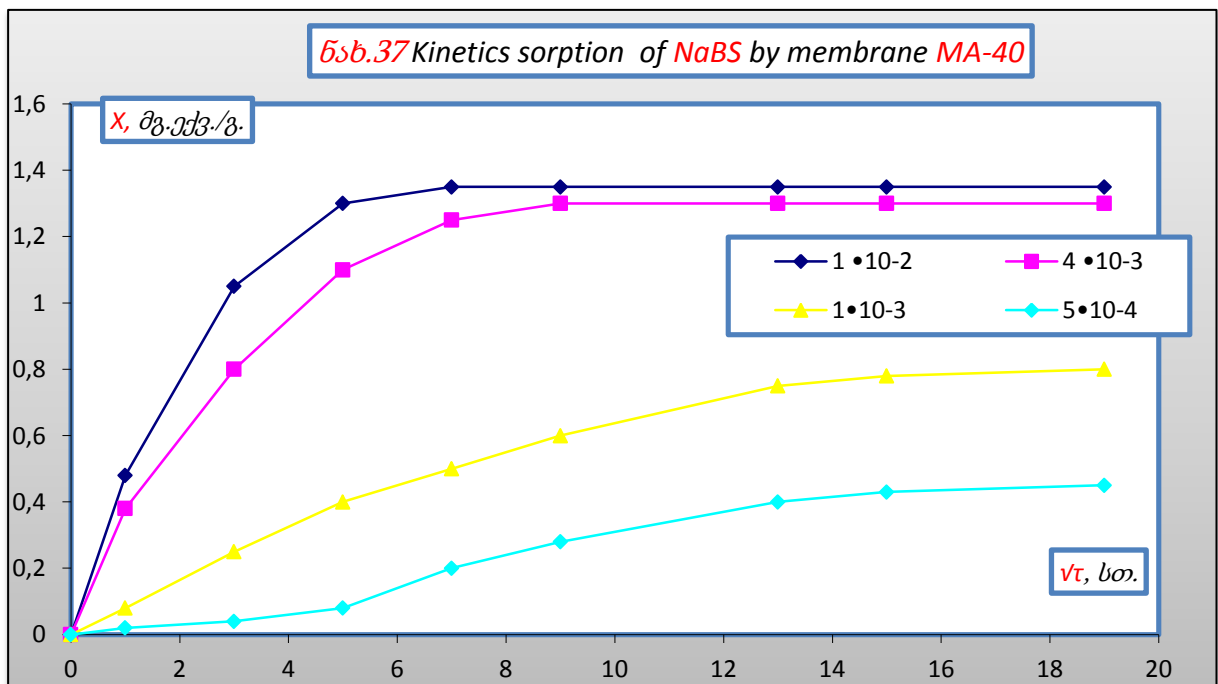
BS^- და NS^- ორგანული იონების სორბცია $MA-40$ მემბრანით განისაზღვრა 10^{-4} - $10^{-2} M$ და CP^+ იონის $MK-40$ მემბრანით 10^{-4} - $10^{-3} M$ კონცენტრაციების ინტერვალში. კონცენტრაციების ზედა ზღვარი განპირობებულია BS^- და NS^- იონების სორბციის განსაზღვრის შესაძლებლობით. ამ იონების კონცენტრაცია ისაზღვრებოდა ხსნარში კონცენტრაციის ცვლილებით, C_{PCL} -სათვის კი - მიცელწარმომქმნის კრიტიკული კონცენტრაციით. მიღებული მონაცემები მოყვანილია ნახ.36 - 41 და ნახ.42 - ზე მოყვანილია სორბციის იზოთერმების შედარება. ნახ.43 -ზე მოყვანილია სორბციული წონასწორობის დამყარების კინეტიკა კოორდინატებში $\theta = X/X_{\text{მაქს}}$, როგორც სორბციის წილი მაქსიმალურად შესაძლებელი მოცემული იონისათვის .

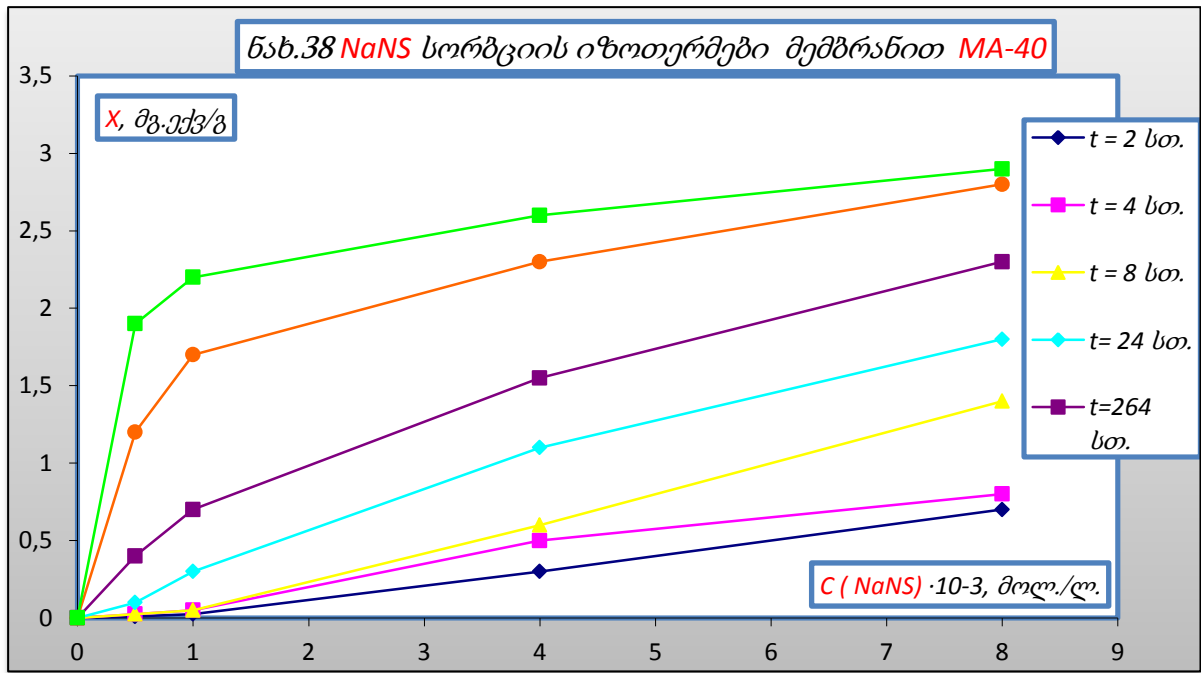
მონაცემების შედარება გვიჩვენებს, რომ სორბციული წონასწორობის დამყარების სიჩქარე დამოკიდებულია ორგანული რადიკალის ზომაზე: ის იზრდება რადიკალის

ზომის გაზრდი. NaBS-ის ზღვრული სორბცია მიიღწევა ორ დღე-ღამეში, NaNS - ის სორბციული წონასწორობა მყარდება 14 დღე - ღამეში, ტიპიურად ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების CPCI - 35 დღე-ღამეში.

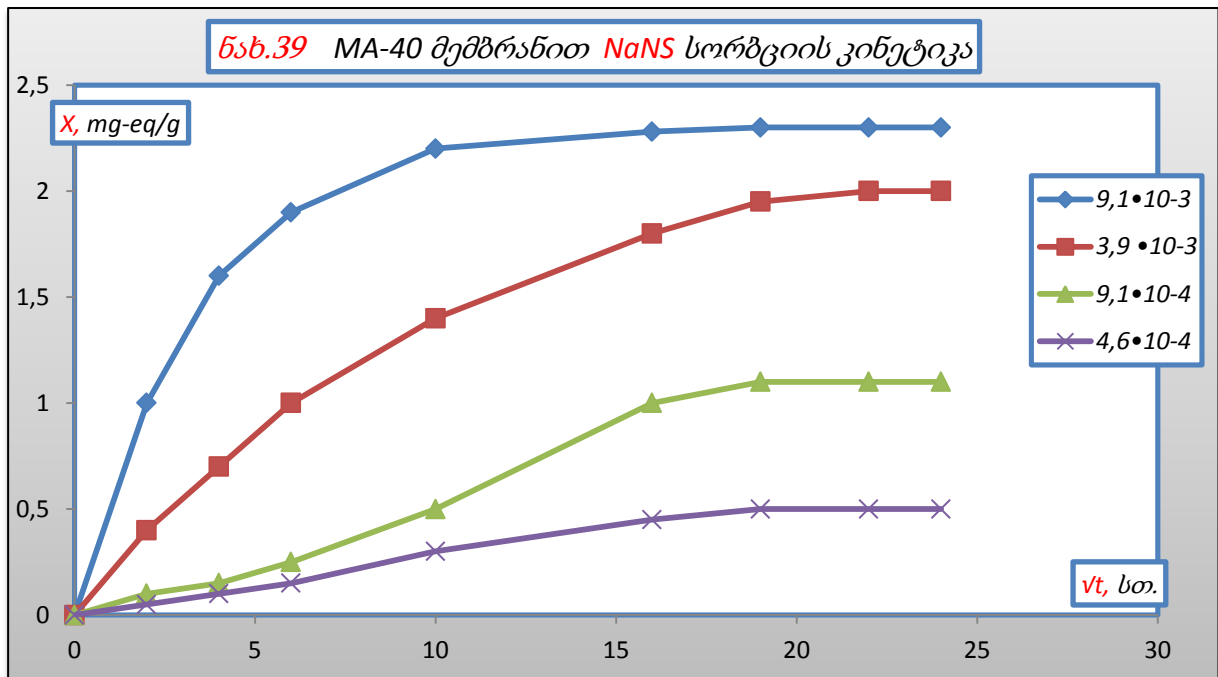


ეს მონაცემები კარგად შეესაბამება თეორიულ წარმოდგენებს. ისინი ამტკიცებენ სტერიული ფაქტორის ძლიერ გავლენას სორბციაზე, მემბრანებისა და ორგანული იონების სფეციფიკურ ურთიერთქმედებას (განსაკუთრებით სისტემაში MK-40 - CP⁺).





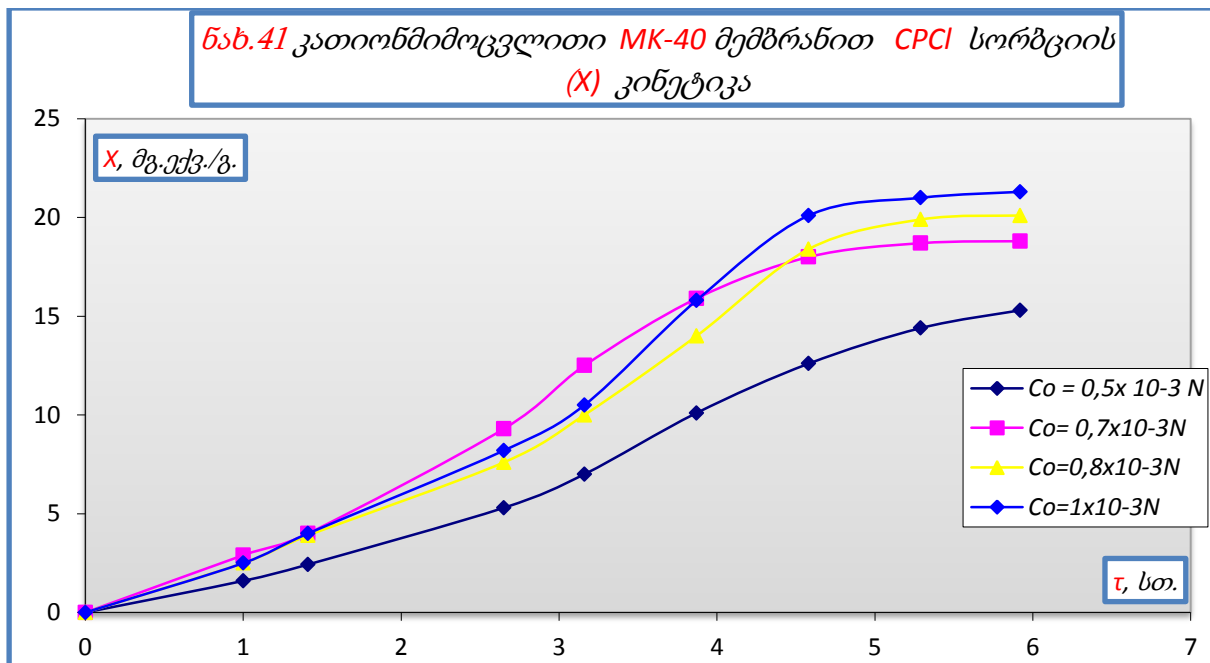
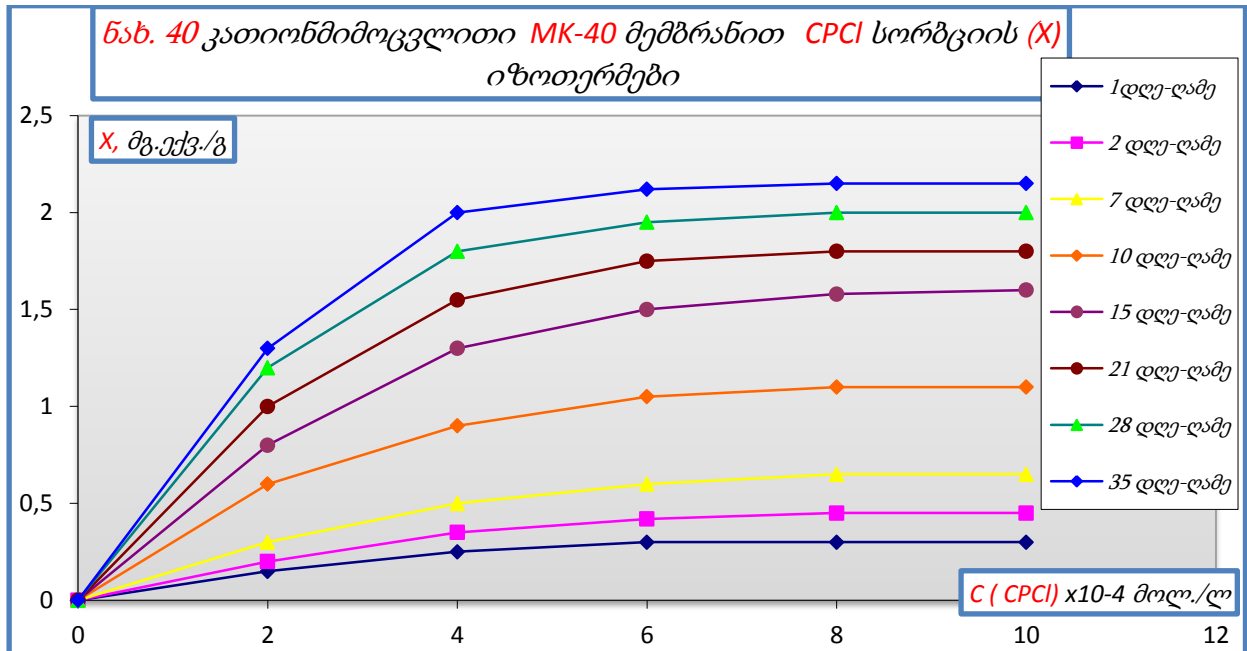
ამ ფაქტორის გავლენა ძლიერდება ორგანულ ნივთიერებათა მოლეკულაში ნახშირწყალბადური ჯაშვის სიგრძის და განშტოების გაზრდით.



სორბციული წონასწარობის დამყარების სიჩქარე აგრეთვე დამოკიდებულია ნივთიერების კონცენტრაციაზე ხსნარში.

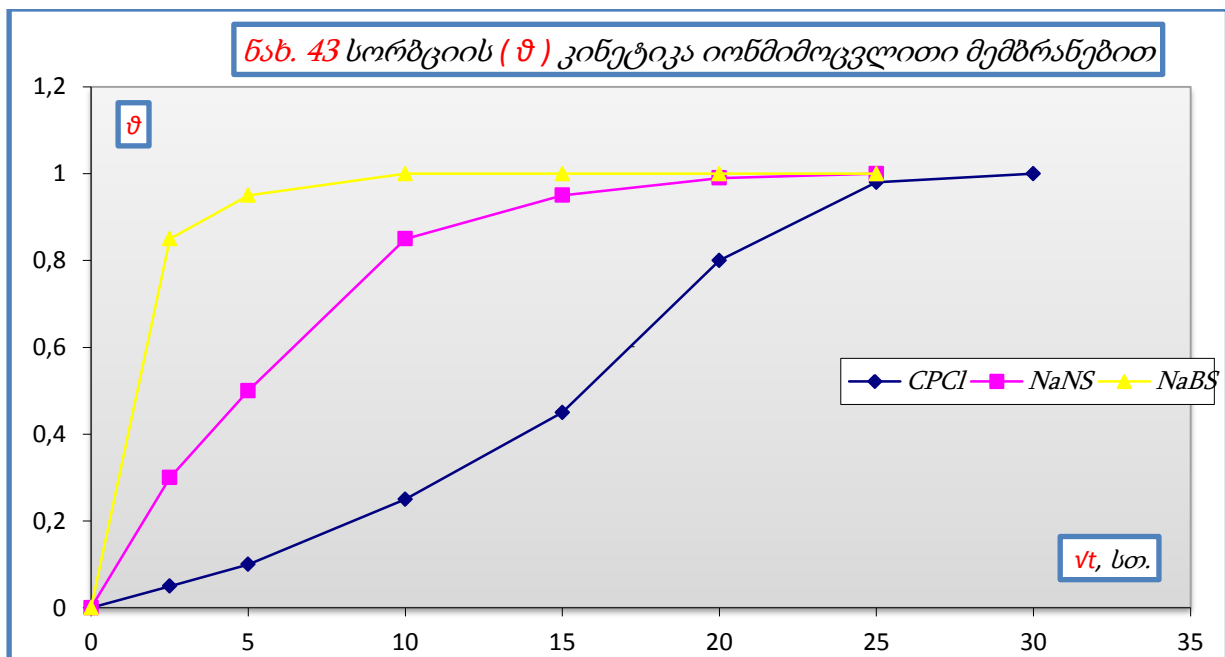
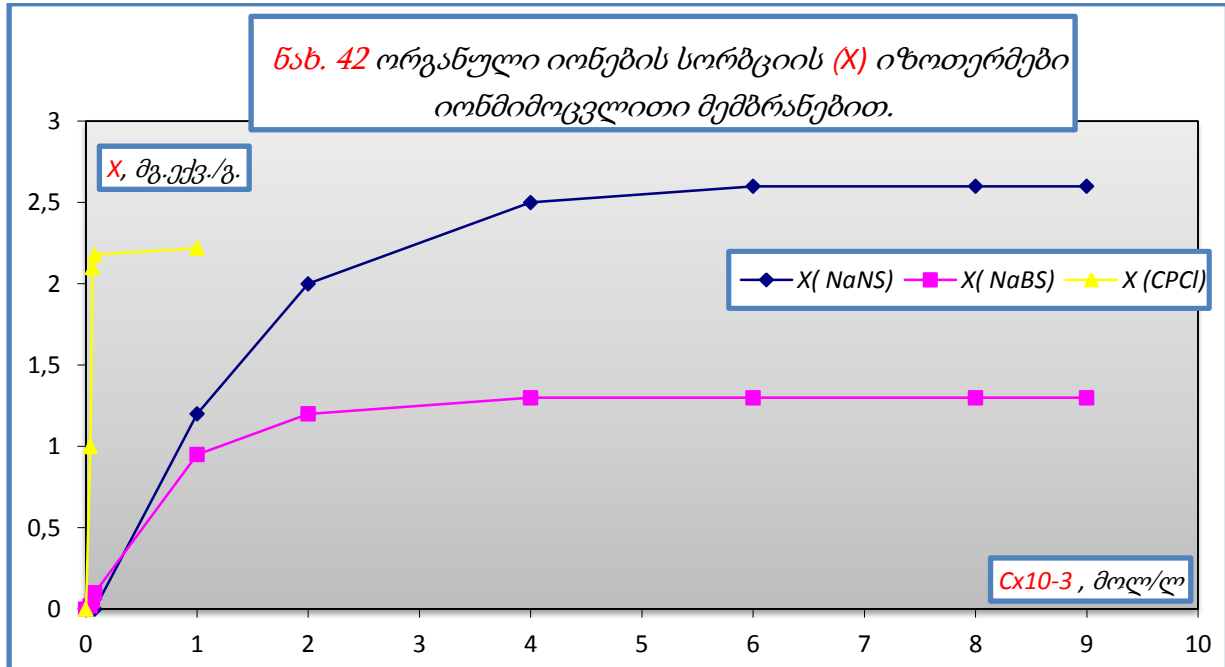
დადგენილია : მაღალი კონცენტრაციების ხსნარებში წონასწორობა მყარდება უფრო ჩქარა, მრუდებზე $g - \sqrt{t}$ საწყისი მონაკვეთის წრფივობა 10^{-2} მ NaBS და NaNS ხსნარებისათვის

მოწმობს იმაზე, რომ ამ პროცესის მალიმიტირებელი სტადია - დიფუზიაა თვით მემბრანაში, იზოთერმებს აქვს ლენგმიურის ხასიათი ანუ ნივთიერების კონცენტრაციის გაზრდით სორბცია იზრდება და აღწევს ნაჯერობას მარალ კონცენტრაციებზე (ნახ. 36,38,40).



სორბციის იზოთერმების შედარება მოყვანილია ნახ.42-ზე. მიღებული მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ ორგანული რადიკალის ზომის გაზრდით, სორბციის სიდიდე იზრდება : MA-40 მემბრანაზე NS^{\ominus} იონის სორბცია მეტია ვიდრე BS^{\ominus} ; MK-40 მემბრანით CP

+ იონის მაქსიმალური სორბცია შეადგენს 2,1 მგ.ექვ / გ. და ეს მნიშვნელობა ნაკლებია 10^{-2} M NaCl-ის ხსნარში გაზომილი მემბრანის მიმოცვლის ტევადობაზე (2,35 მგ.ექვ/გრამი). ეს აიხსნება გრძელჯაჭვიანი CP^+ იონის სტერიულ დაბრკოლებებზე [40].

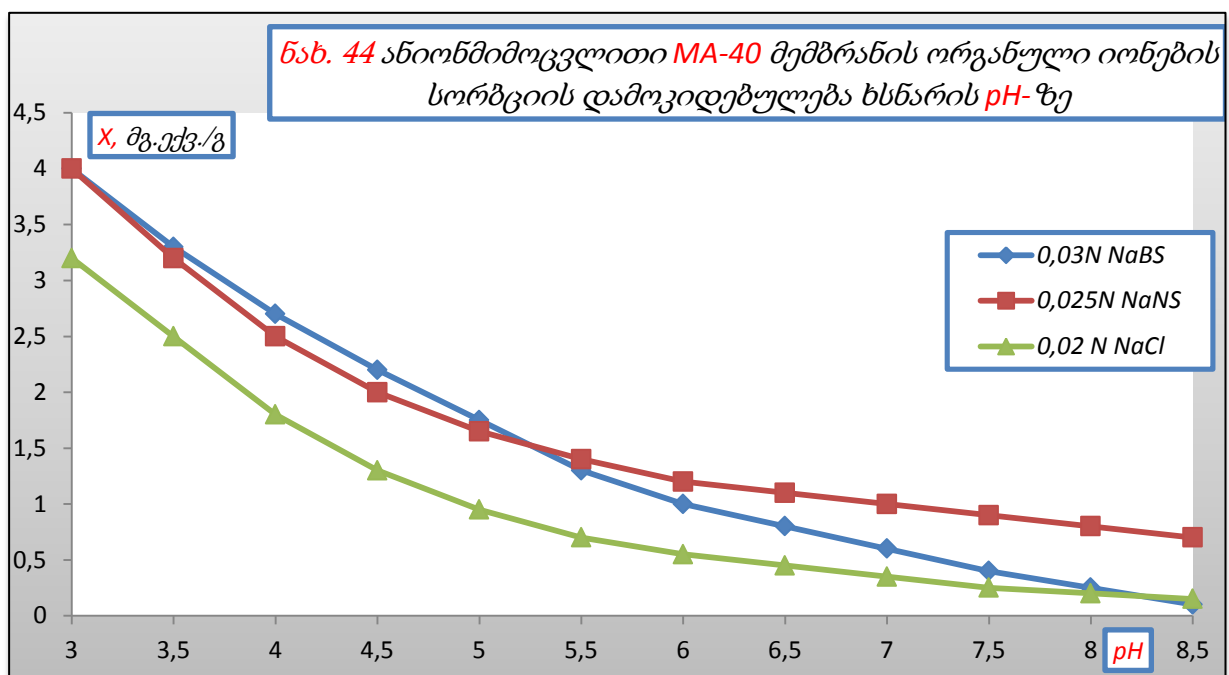


ნახ.44-ზე მოყვანილია MA-40 მემბრანით ორგანული იონების სორბციის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე. pH - ის ნეიტრალურ გარემოში BS^- და NS^- იონების სორბციის სიდიდების შედარება 10^{-2} M NaCl-ის ხსნარში განსაზღვრულ MA - 40 მემბრანის მიმოცვლის ტევადობასთან, გვიჩვენებს BS^- და NS^- იონების სორბციის

მნიშვნელოვან სპეციფიკურობაზე Cl^- იონთან შედარებით. Cl^- იონების სორბცია შეადგენს $g(\text{Cl}) = 0.8$ მგ.ექვ./გ., რაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია BS^- და NS^- იონების სორბციაზე რომელიც შესაბამისად შეადგენს 1,4 მგ.ექვ./გ. და 2,8 მგ.ექვ./გ. ნახ.44-ზე მოყვანილი მონაცემებიდან აგრეთვე გამომდინარეობს, რომ X – BS^- იონისათვის pH-ის ნეიტრალურ გარემოში, მიღებული ორი მეთოდით (პოტენციომეტრიული და კონცენტრაციის შემცირებით) ემთხვევა ერთმანეთს, რაც მოწმობს სორბციის იონმიმოცვლით ხასიათზე და არაორგანული ანიონი - ორგანული ანიონი მიმოცვლის ექვივალენტობაზე.

სორბციის იზოთერმების ლენგმიურული ხასიათის გამოყენებით შეფასდა ზღვრული სორბციის (X_{max}) სიდიდეები და წონასწორობის კონსტანტების მნიშვნელობები.

მიღებულია : $X_{max}(\text{BS}^-) = 1.4$ გ., $X_{max}(\text{NS}^-) = 2.9$ გ. ეს მონაცემები შედარებით მცირედ



განსხვავდებიან ცდაში მიღებული მონაცემებიდან, რაც მოწმობს სორბციის წონასწორობის დამყარებაზე. CPC 1 - ის - $X_{max} = 2,35$ მგ.ექვ /გ., რაც ძლიერ განსხვავდება ექსპერიმენტალური მონაცემიდან , რომელიც შეადგენს 2,1 მგ.ექვ/გ. ეს, ჩვენი აზრით, დაკავშირებულია სტერიულ დაბრკოლებასთან.

წონასწორობის კონსტანტების სიდიდეები MA-40 მემბრანაზე BS^- იონისათვის უდრის 3, NS^- იონისათვის უდრის 8 და MK-40 მემბრანაზე CP^+ იონისათვის უდრის 28. მიღებული

მონაცემები კარგად შეესაბამება ორგანული რადიკალის ზომას და ამ იონების სორბციულ უნარს.

$g\sqrt{\tau}$ -კინეტიკური მრუდების საწყისი მონაკვეთებიდან განტოლებით [80]:

$$\theta_{\tau} = \frac{6}{d} \sqrt{\frac{D\tau}{\pi}} \quad (27)$$

სადაც:

- ✓ θ_{τ} - ორგანული იონებით შევსების წილი;
- ✓ d - მემბრანის სისქე;
- ✓ τ - იონების შევსების დრო მემბრანაში;
- ✓ D - დიფუზიის კოეფიციენტები : $D_{BS^{-}}=2.8 \cdot 10^{-10}$, $D_{NS^{-}}=3 \cdot 10^{-10}$, $D_{CP^{+}}=10^{-13}$).

მიღებული შედეგები კარგად შეესაბამება ლიტერატურულ მონაცემებს [79,80].

20.3.2 წყლის შემცველობა მემბრანაში

მემბრანების ტენტევალობა (W) განისაზღვრებოდა ხსნარის pH-სა და კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებით. დადგენილია MK-40 და MA-40 მემბრანების ტენტევალობა იმყოფება ცდომილების ფარგლებში და არ არის დამოკიდებული არც pH -ზე (pH =3-10) და არც ხსნარის კონცენტრაციაზე. MK-40 მემბრანების ტენტევალობა NaCl და MgCl₂ ხსნარებში უდრის 37%, MA-40 - NaCl და Na₂S₀₄ ხსნარებში შეადგენს 40%. მიღებული მონაცემები კარგად შეესაბამება ლიტერატურულ მონაცემებს.

ვარაუდით, ორგანული იონების სორბციით უნდა შეიცვალოს მემბრანებში წყლის შემცველობა. ამ ვარაუდის შესამოწმებლად იზომებოდა მემბრანების ტენშემცველობა ორგანული იონის სორბციის შემდეგ და მიღებული მონაცემი ედარებოდა მემბრანაში წყლის საწყის რაოდენობას. მიღებული მონაცემები მოყვანილია ცხრ.5.

ცხრილში შედარებულია საწყის ფორმაში (MA-40 - Cl⁻ და MK-40 - Na⁺) მყოფი მემბრანების ტენშემცველობა, ფორიანობა და გაჯირჯვების ხარისხი, ორგანული იონებით გაჯირჯვებულ მემბრანებთან.

მიღებული მონაცემებიდან გამომდინარე, მემბრანაში წყლის შემცველობა მცირდება

ორგანული რადიკალების შემცველობის და ზომის გაზრდით, რაც მოწმობს ორგანული უკუიონების ურთიერთქმედების სფეციფიკურობაზე ერთმანეთთან და იონიტის მატრიცასთან, რის შედეგად მემბრანა ორგანული უკუიონით ღებულობს მყარი სხეულის სტრუქტურას. ასეთი სურათი მიღებულია MK-40 მემბრანისათვის CPCI ხსნარში - მემბრანა მთლიანად დაკარგა ელასტიურობა. ასეთ სფეციფიკურ ურთიერთქმედებას უწოდებენ იონიტის მატრიცის რგოლების გაყინვას.

წყლის შემცველობა მემბრანაში

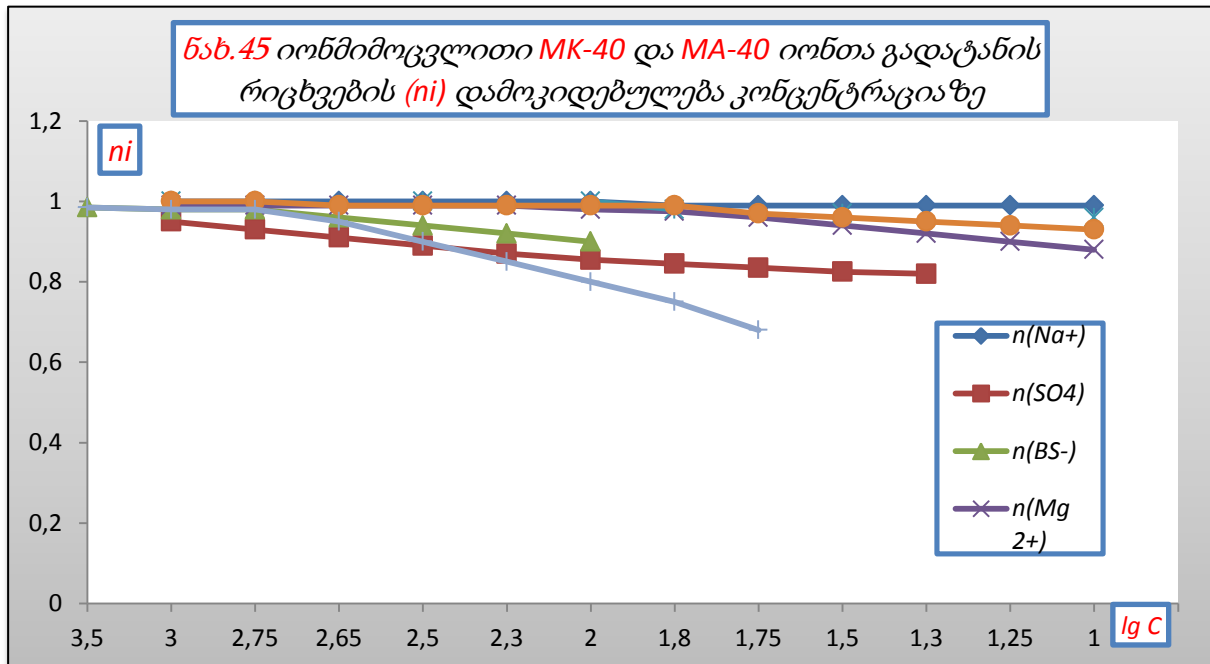
ცხრილი 5

<i>N/N</i>	<i>სისტემა</i>	<i>ზოგადი ფორიანობა</i>	<i>გაჯირჯვების ხარისხი</i>	<i>ტენშემცველობა</i>
<u>1</u>	<i>MA-40-NaCl</i>	0.55	0.88	0.40
<u>2</u>	<i>MA-40-NaBS</i>	0.47	0.41	0.32
<u>3</u>	<i>MA-40-NaNS</i>	0.32	0.19	0.20
<u>4</u>	<i>MK-40-NaCl</i>	0.34	0.5	0.41
<u>5</u>	<i>MK-40-CPCI</i>	0.21	0.32	0.26

20.3.3 იონების გადატანის რიცხვი მემბრანებში

იონმიმოცვლითი მემბრანების სელექტიურობის შეფასებისათვის მემბრანებში განისაზღვრებოდა იონების გადატანის რიცხვები \bar{n} . მარტივი და ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში. მიღებული მონაცემები წარმოდგენილია მემბრანაში იონების გადატანის რიცხვების დამოკიდებულებით ხსნარის კონცენტრაციის ლოგარითმზე (ნახ.45). მიღებული მონაცემებიდან გამომდინარე Na^+ გადატანის რიცხვები MK-40 და MA-40 მემბრანებში კონცენტრაციების მთელ დიაპაზონში უდრიდა ერთს; MgCl_2 -ისათვის MK-40 მემბრანებში იდეალური ელექტროქიმიური აქტიურობა 0,1N

ხსნართან გადასვლისას მცირდება. უკუიონების გადატანის რიცხვების უფრო ძლიერი დაქვეითება მიღებულია MA-40 მემბრანისათვის Na_2SO_4 -ის ხსნარში (0,93-0,001 N ხსნარისათვის და 0,81-0,1 N ხსნარისათვის). ეს ჩვენი აზრით აიხსნება SO_4^{2-} იონების, Cl^- იონთან შედარებით ნაკლები ძვრადობით მემბრანაში. ორგანული უკუიონი მემბრანაზე სორბციისას ძლიერ ცვლის მის ელექტროქიმიურ თვისებებს (ცხრ.2).



დიფუზიის კოეფიციენტის \bar{D}_i , მიახლოებითი შეფასებიდან გამომდინარეობს, რომ დიფუზიის კოეფიციენტის \bar{D}_i , მიახლოებითი შეფასებიდან გამომდინარეობს, რომ სფეციფიკურად (CPCI) სორბირებულ იონებს აქვს უფრო დაბალი ძვრადობა შიგ მემბრანაში, რამაც უნდა გამოიწვიოს გადატანის რიცხვების \bar{n}_i შემცირება, ნამდლილად NaBS და NaNS -ის ხსნარებში MK-40 მემბრანების ორგანული იონებით თანდათან შევსებისას ადგილი აქვს მემბრანის ელექტროქიმიური აქტივობის დაქვეითებას, მაგრამ, კონცენტრაციების საკვლევ არეში, ის მაინც რჩება მაღალი. ამასთან დაკავშირებით ჩვენ ჩავატარეთ მემბრანების ელექტროქიმიური აქტიურობის განსაზღვრა NaOH -ის ხსნარებში მაღალ pH-ის სიდიდეებზე, სადაც MA-40 მემბრანის მიმოცვლის ტევადობა პრაქტიკულად უახლოვდება 0-ს.

როგორც მიღებული მონაცემებიდან (ცხრ. 6) გამომდინარეობს $\bar{n}_{\text{OH}^-} > n_{\text{OH}^-}^0$ ანუ OH^- იონების სფეციფიკურობა, MA-40 მემბრანასთან მიმართებაში, არასაკმარისია იმისათვის, რომ მემბრანამ მთლიანად დაკარგოს თავისი ელექტროქიმიური აქტიურობა. ჩვენი აზრით მემბრანის სპეციფიკურობა OH^- იონების მიმართ და მემბრანების

ელექტროქიმიური აქტიურობა NaBS და NaNS ხსნარებში შენარჩუნდება, შემცირებული რაოდენობის სახით.

იონების გადატანის რიცხვი მემბრანაში

ცხრილი 6

<i>N/N</i>	მემბრანა- სორბირებული უკუიონი	ელექტროლიტი	კონცენტრაცია, მმოლი/ლიტრი	\bar{n}_i
1	<i>MK-40 – Na⁺</i>	NaCl	1	1.0±0.02
2	<i>MK-40 – Ba²⁺</i>	BaCl ₂	100	0.73±0.02
3	<i>MK-40 – Cl⁻</i>	NaCl	1	0.37 ± 0.02
4	<i>MA-40 – Cl⁻</i>	NaCl	1	1.0 ± 0.02
5	<i>MA-40 – OH⁻</i>	NaOH	15	0.87 ± 0.02
6	<i>MA-40 – BS⁻</i>	NaBS	0.5	0.98 ± 0.02
7	<i>MA-40 – BS⁻</i>	NaBS	2	0.97 ± 0.02
8	<i>MA-40 – BS⁻</i>	NaBS	10	0.87 ± 0.002
9	<i>MA-40 – NS⁻</i>	NaNs	0.5	0.97 ± 0.02
10	<i>MA-40 – NS⁻</i>	NaNs	2	0.97 ± 0.02
11	<i>MA-40 – NS⁻</i>	NaNs	10	0.81 ± 0.02
12	<i>MA-40 – NS⁻</i>	NaNs	15	0.77 ± 0.02

ანალოგიური სურათი მივიღეთ MK-40 მემბრანისათვის 0,1N BaCl₂ ხსნარისათვის: $\bar{n}_{Ba^{2+}} > n_{Ba^{2+}}^0$, მიუხედავად იმისა, რომ Ba²⁺ იონები და მემბრანის RSO₃⁻ ჯგუფი ურთიერთქმედებენ სფეციფიკურად.

მაგრამ, CPCI ხსნარებში, რომლებშიც სორბციული აქტიურობა მაქსიმალურია, ადგილი აქვს მემბრანის ელექტროქიმიური აქტიურობის პრაქტიკულად მთლიან დაკარგვას, რადგან მემბრანის აქტიური ცენტრები მთლიანად ბლოკირებულია CP^+ იონებით.

დასკვნა

- ჩატარებულია იონმიმოცვლითი მემბრანების MK-40 და MA-40 სორბციული მახასითებლების (მიმოცვლის ტევადობა, სორბციის იზოთერმები, ტენის შემცველობა) განსაზღვრა მარტივი : $NaCl$, $MgCl_2$, $BaCl_2$, Na_2SO_4 და ორგანული ელექტროლიტების : ნატრიუმ ბენზოსულფონატი - $NaBS$, ნატრიუმის ნაფტალინ - 2 -სულფონატი- $NaNs$, ცეტილ პერიდინიუმის CPCI -ხსნარებში.
- დადგენილია : მემბრანებით ორგანული იონების სორბციას ძირითადად აქვს იონმიმოცვლითი ხასითი. სორბციის კინეტიკა და სფეციფიკურობა განისაზღვრება იონების არაპოლარული რადიკალის ზომებით.
- სორბციული წონასწორობის დამყარების დრო (τ) იზრდება იონების რიგში $BS^- < NS^- < CP^+$. CP^+ -ის შეადგენს $\tau > 1$ თვე.
- მემბრანების ტენშემცველობა და ელასტიურობა მცირდება ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში, განსაკუთრებულად ძლიერად CPCI ხსნარში, რომლის სორბციით მემბრანა ხდება მსხრევადი.
- იონების გადატანის რიცხვების დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე გვიჩვენებს, რომ $NaBS$ და $NaNs$ -ის ხსნარებში MA-40 მემბრანა ინარჩუნებს მაღალ ელექტროქიმიურ აქტიურობას, მაშინ, როდესაც MK - 40 - CPCI ხსნარში მთლიანად კარგავს მას.
- ნაშრომის შედეგებით BS^- და NS^- ტიპის ორგანული იონები არ წარმოადგენენ საშიშროებას წყლის გაუმარილებსათვის ელექტროდიალიზით, CP^+ - იწვევს მემბრანების ” მოწამვლას”.

ჩატარებულმა კვლევამ უჩვენა, რომ ორგანული იონების სორბციას მემბრანაში აქვს იონმიმოცვლითი ხასიათი; ურთიერთქმედების სპეციფიკურობა ვლინდება, ორგანული იონის ჰიდროფობური ნაწილის ზომების გაზრდით, სორბციის სიჩქარისა და მემბრანების ტენშემცველობის შემცირებაში; იმავე რიგში მცირდება ორგანული იონების ძვრადობა და

მემბრანებში უკუიონების გადატანის რიცხვი. ცედილ პერედინიუმის შემთხვევაში მემბრანა კარგავს სელექტიურობას.

NaBS-ის და NaNS-ის ხსნარებში მემბრანების ქცევა მარტივი ელექტროლიტების ხსნარების ქცევის ანალოგიურია, CPCI-ის ხსნარში მემბრანა მთლიანად კარგავს ელექტროქიმიურ აქტიურობას. გაკეთებულია დასკვნა, რომ BS^- და NS^- ტიპის იონები არ წარმოადგენენ საშიშროებას წყლის გაუმარილებისათვის ელექტროდიალიზით, მაშინ როდესაც CP^+ კათიონების სორბცია იწვევს, მემბრანების „მოწამვლას“ .

მემბრანებზე, ორგანული იონების სორბციით მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ჩამდინარე წყლების ელექტროდიალიზით გაუმარილება - გაწმენდის პრაქტიკაში და აპარატების ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმების გამოსათვლელად, რაც მოგვცემს საშუალებას აპარატებში გავზარდოთ მემბრანების მუშაობის ხანგრძლივობა, დავამუშაოთ მათი რეგენერაციის ტექნოლოგია და აგრეთვე განვახორციელოთ მემბრანების მიმართული სინთეზი წინასწარ გათვლილი თვისებებით .

21. დისპერსიული სისტემების გაწმენდა მემბრანული მეთოდების გამოყენებით

21.1. კვლევის ობიექტები

კვლევა წარმოებდა საწარმოო კათიონ- და ანიონმიმოცვლით მემბრანებზე, რომლებიც გამოიყენება ელექტროდიალიზურ დანადგარებში. კათიონიტიური მემბრანა MK-40 მიღებულია კათიონიტის KY-2-8 და ანიონიტიური მემბრანა MA-40 ანიონიტის ЭДЭ -10π საფუძველზე. მონოფუნქციური ძლიერმჟაური კათიონიტი KY-2-8 მიიღება სტიროლისა და 8 % დივინილ ბენზოლის სოპოლიმერის სულფიტირებით.

მემბრანების ელექტროგამტარობა ისაღვრებოდა ორგანული ელექტროლიტების : ნატრიუმბენზოლსულფონატის - $C_6H_5SO_3Na$ (NABS) , ნატრიუმის ნაფტალინ - 2 - სულფონატის $C_{10}H_7SO_3Na$ (NaNS) და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების - ქლორიდ ცეტილ პირიდინიუმის $C_{16}H_{33}NC_5H_5Cl \cdot H_2O$ (CPCI) ხსნარებში. შედარებისათვის მემბრანის ელექტროგამტარობა იზომებოდა არაორგანული: NaCl, Na_2SO_4 და $MgCl_2$ ელექტროლიტების ხსნარებში. ელექტროლიტების მუშა ხსნარების კონცენტრაცია შეესაბამებოდა მათ შემცველობას შავი ზღვის წყალში. NaNS მიიღებოდა 0,1 ნ HNS (ნაფტალინ სულფომჟავა) და 0,1 ნ NaOH-ის ხსნარების ურთიერთქმედებით. უხსნადი

მინარევეების ნალექი იფილტრებოდა და ფილტრატის pH, NaOH-ის ხსნარის დამატებით, დაიყვანებოდა ნეიტრალურ მნიშვნელობამდე.

21.2. კვლევის მეთოდები

21.2.1 მემბრანების მომზადება კვლევისადმი

მემბრანა წარმოებაში მიიღება დაბალი წნევის პოლიეთილენისა და იონიტს (ნაწილაკების ზომები 5-60 მკმ) შერევით და ნარევის შემდეგი ფორმირებით ფურცლებში. მემბრანების ზედაპირს არმირებენ კაპრონის ქსოვილით. ორივე მემბრანაში პილიეთილენის შემცველობა შემკვრელი აგენტის სახით შეადგენს 60-65 %. კვლევისათვის მემბრანები მზადდებოდა სტანდარტული მეთოდით. მემბრანების ზედაპირი ცხიმოვანი აკვის მოსაშორებლად იწმინდებოდა ტეტრაქლორმეთანით (CCl_4) გაჟღენთილი ტამპონით, შემდეგ მემბრანები თავსდებოდა ეთილის სპირტში 6 საათით. მემბრანები სპირტული დამუშავების შემდეგ თავსდებოდა NaCl- ის ნაჯერ ხსნარში და შემდეგ ირეცხებოდა გამოხდილი წყლით. მემბრანები თანმიმდევრულად მუშავდებოდა 10% HCl-ისა და 10% NaOH - ის ხსნარებით და ამის შემდეგ გადაიყვანებოდა H^+ და OH^- ფორმაში 15 HCl და 15 NaOH ხსნარებით, ორი დღე-ღამის განმავლობაში ხსნარი იცვლებოდა მრავალჯერ. ნეიტრალური რეაქციის მიღებამდე გამოხდილი წყლით გარეცხვის შემდეგ, მემბრანები გადაიყვანებოდა Na^+ და Cl^- ფორმაში, შესაბამისად 15 NaCl-ის ხსნარით მრავალჯერადი დამუშავებით.

21.2.2. მემბრანების ელექტროგამტარობის გაზომვა

ლიტერატურის მიმოხილვიდან გამომდინარე, ამჟამად, არ არსებობს მემბრანის ელექტროგამტარობის ($\bar{\alpha}_m$) გაზომვის მეთოდი ნაკლოვანებების გარეშე, ამიტომ ჩვენ გაგზომეთ მემბრანის ელექტროგამტარობა სხვაობითი [95] და შევთავაზეთ ტენით ნაჯერი მემბრანების ელექტროგამტარობის გაზომვის კონტაქტური მეთოდი. გაზომვამდე მემბრანები მოყვანილი იყო წონასწორობაში საკვლევ ხსნართან, კერძოდ, საკვლევ ხსნარების ნაჯერ ორთქლთან. დამუშავებული მეთოდიკა წარმოადგენს ნაშრომში [96] წარმოდგენილი მეთოდის მოდიფიკაციას

21.2.2.1. სხვაობითი მეთოდი

მემბრანის ელექტროგამტარობის გაზომვისათვის გამოიყენებოდა სპეციალურად დამზადებული უჯრედი [97], რომელიც შედგებოდა 2 დისკისაგან დიამეტრით 36 მმ, დისკებს შორის თავსდებოდა განსაზღვრული სისქის ფტოროპლასტის ფირფიტები, რომლითაც ფიქსირდებოდა მანძილი დისკებს შორის. დისკების შიდა მხარეს განლაგებული იყო ელექტროდები, რომლებიც უერთდებოდა გამზომ სისტემას .

იზომებოდა ხსნარის წინაღობა მემბრანის გარეშე (R_v) და მემბრანით (R). ყოველი ოპერაცია ტარდებოდა 5-10-ჯერ და შემდგომ გამოითვლებოდა ამ სიდიდეების სხვაობა - $\Delta R = R - R_v$. ΔR -დან ისაზღვრებოდა მემბრანის წინაღობა:

$$R_m = \Delta R + R_h \quad (22)$$

სადაც :

- ✓ R_h - ხსნარის შრის წინაღობა რომელიც ექვივალენტურია მემბრანის ფართობისა და სისქის.

$$R_h = R_v \cdot d/a \quad (23)$$

სადაც:

- ✓ d - მემბრანის სისქე, განსაზღვრული მიკრომეტრიულად, მმ;
- ✓ a - მანძილი ელექტროდებს შორის ($a = C_v \cdot S$ სადაც, C_v უჯრედის მუდმივი წინაღობა, S -ელექტროდების ფართობი)

მემბრანის კუთრი ელექტროგამტარობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\bar{\kappa}_m = C_h^0 / R_m \quad (24)$$

სადაც : $C_h^0 = \kappa_v^0 \cdot R_h^0$ (κ_v^0 - საკონტროლო ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა).

განისაზღვრა ხსნარის κ_v და მემბრანის $\bar{\kappa}_m$ კუთრი ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციაზე და ტემპერატურაზე ინტერვალში 15-35°C. მემბრანის ფურცლიდან, რომელიც დამუშავებული იყო სტანდარტის მიხედვით [98], გამოიჭრებოდა ერთგვაროვანი სისქის, 10სმ² ფართობის დისკები. უჯრედი თავსდებოდა ულტრათერმოსტატში ტემპერატურა იზომებოდა 0.1°C სიზუსტით.

მემბრანაში ხსნარის ელექტროგამტარობა განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$\bar{\kappa}_e = C_m^0 / R_m \quad (25)$$

$$\text{სადაც: } C_m^0 = R_m^0 \cdot \bar{\kappa}_v^0 \quad (26)$$

სხვაობა $\bar{\kappa}_e$ და $\bar{\kappa}_m$ შორის განისაზღვრება არაგამტარი ჩონჩხის წინააღმდეგობით და ხასიათდება სტრუქტურული წინააღმდეგობის კოეფიციენტით β , რომელიც გვიჩვენებს რამდენჯერ მეტია დაუმუხტავი მემბრანის წინააღმდეგობა ხსნარის ექვივალენტური შრის წინააღმდეგობაზე $\beta = C_m^0 / C_n^0$. საკონტროლო ხსნარების სახით (C_m და C_h –ის განსაზღვრისათვის) გამოიყენებოდა MK-40-თვის - 0.1 M BaCl₂ და MA-40-თვის - 0.1 N NaOH ხსნარები, იმ ვარაუდით, რომ ამ სისტემებში ხდებოდა ფიქსირებული იონების სრული ეკრანირება. β განსაზღვრისათვის ტარდებოდა მემბრანების ელექტროგამტარობის დამოკიდებულების დადგენა 1.10⁻¹ - 4.10⁻¹ M BaCl₂ და NaOH-ის ხსნარებში და მიღებული დამოკიდებულების ექსტრაპოლაციით β განისაზღვრა. დადგენილია: MK-40 მემბრანისათვის $\beta = 16,1$ და MA-40 - $\beta = 12,5$. უკუიონების წილი ელექტროგამტარობაში განისაზღვრებოდა ეფექტურობის კოეფიციენტით α , რომელიც უჩვენებს რამდენჯერ მემბრანის ფორმში ხსნარის ელექტროგამტარობა აღემატება თავისუფალი ხსნარის ელექტროგამტარობას:

$$\alpha = \bar{\kappa}_i / \bar{\kappa}_v \quad [99].$$

21.2.2.2 კონტაქტური მეთოდი

მემბრანის წინააღმდეგობის (R_m) გაზომვა ტარდებოდა 10 სმ სიგრძის და 1 სმ სისქის მემბრანის ზოლებზე. გამოიყენებოდა პლატინური ელექტროდების 2 წყვილი. ელექტროდების ერთი წყვილი დამაგრებული იყო ორივე მხრიდან ზოლის ბოლოზე, მეორე გადაინაცვლებდა ზოლზე ფიქსირებულ მანძილზე პირველი წყვილიდან. მემბრანის ზედაპირიდან ხსნარის აპკი შორდებოდა ფილტრის ქალაქით და გაზომვა ტარდებოდა დახურულ ექსიკატორში ნაჯერი წყლის ორთქლის ატმოსფეროში. მემბრანის ელექტროგამტარობა უდრის:

$$\bar{\kappa}_m = 1 / (R \cdot \bar{R}) \cdot S \quad (28)$$

სადაც:

✓ \bar{R} - ელექტროლიტის ყოველი კონცენტრაციისთვის გაზომილი წინააღმდეგობა ანუ

ბალასტური წინააღმდეგობა.

შიდა მემბრანაში ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა, როგორც სხვაობითი ასევე კონტაქტურ მეთოდში, განისაზღვრებოდა :

$$\bar{\kappa}_i = C_m \cdot R_m \quad (29)$$

სადაც:

$$\checkmark C_m = \bar{R}_m \cdot \check{\kappa}_V \quad (30)$$

$\bar{\kappa}_i$ და $\bar{\kappa}_m$ განისაზღვრება არაგამტარი ჩონჩხის წინაღობით და ხასიათდება სტრუქტურული წინაღობის კოეფიციენტით β , რომელიც უჩვენებს რამდენჯერ მეტია არადამუხტული მემბრანის წინაღობა ხსნარის ექვივალენტური შრის წინაღობაზე. საკონტროლო ხსნარების სახით გამოიყენებოდა MK-40 მემბრანისთვის 0.1M BaCl₂, MA-40-სთვის 0.01N NaOH იმ ვარაუდით, რომ ამ სისტემაში ხდება ფიქსირებული მუხტების მთლიანი ეკრანირება. ელექტროგამტარობაში უკუიონების წილი განისაზღვრება ეფექტურობის კოეფიციენტით α , რომელიც გვიჩვენებს რამდენჯერ აღემატება ხსნარის ელექტროგამტარობა მემბრანის ფორებში თავისუფალი ხსნარის ელექტროგამტარობას:

$$A = \bar{\kappa}_i / \check{\kappa}_V \quad (31)$$

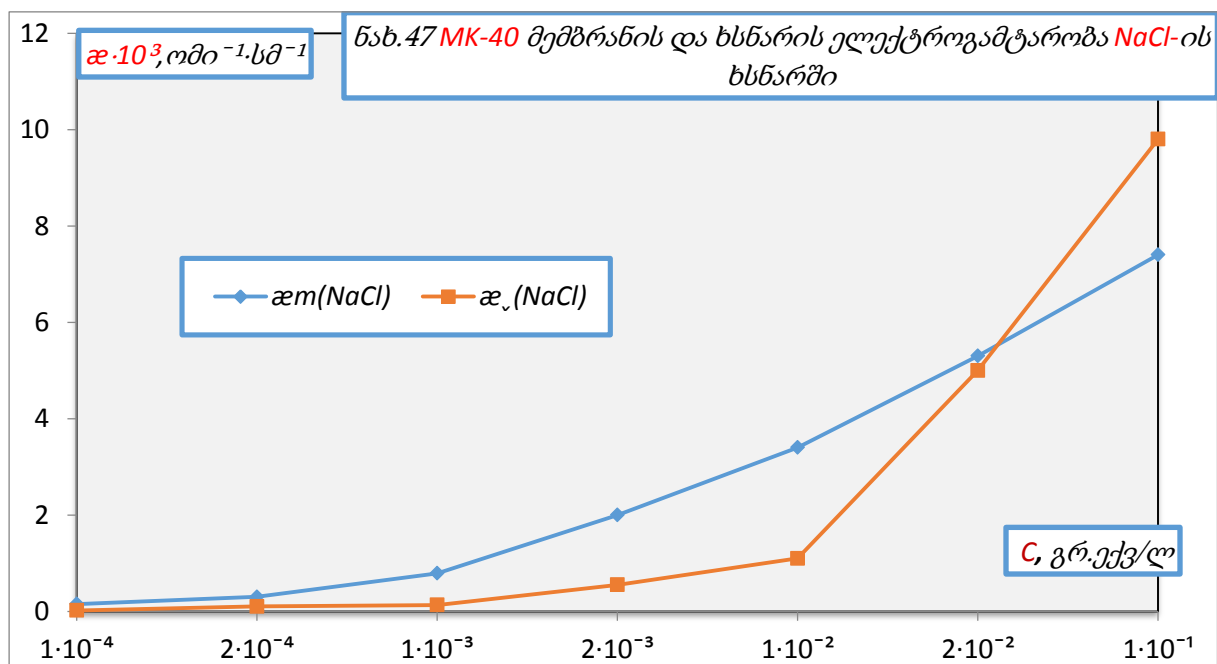
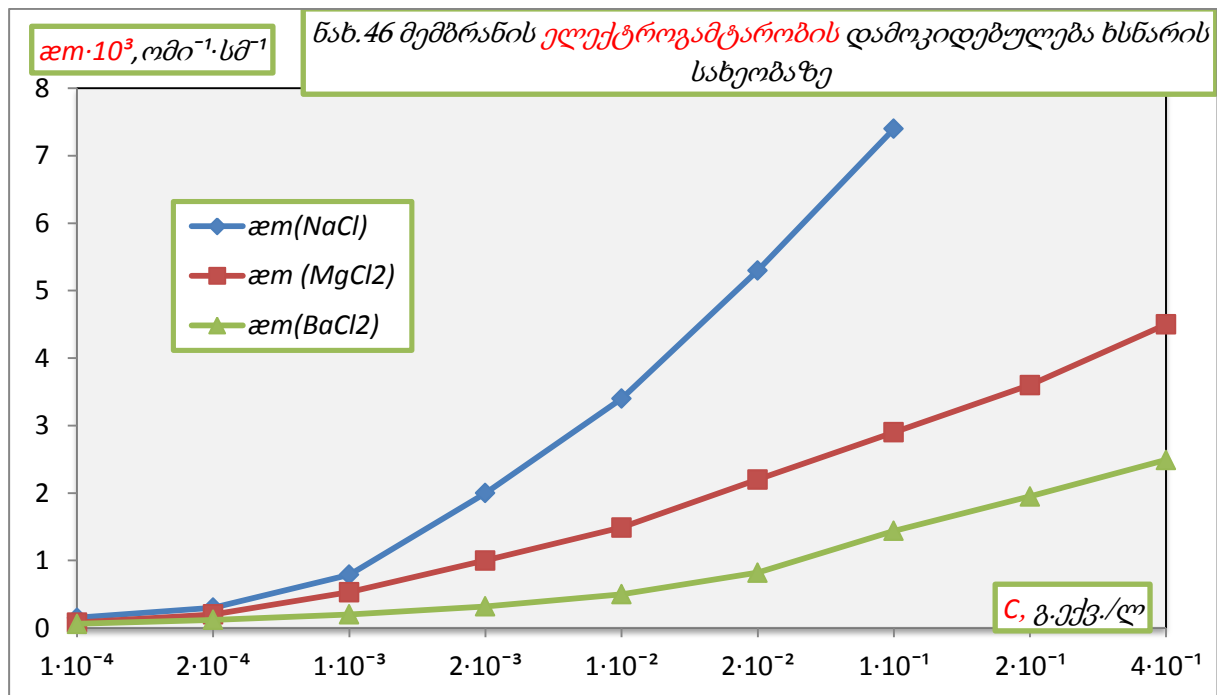
21.3 ექსპერიმენტალური მონაცემები და მათი განხილვა

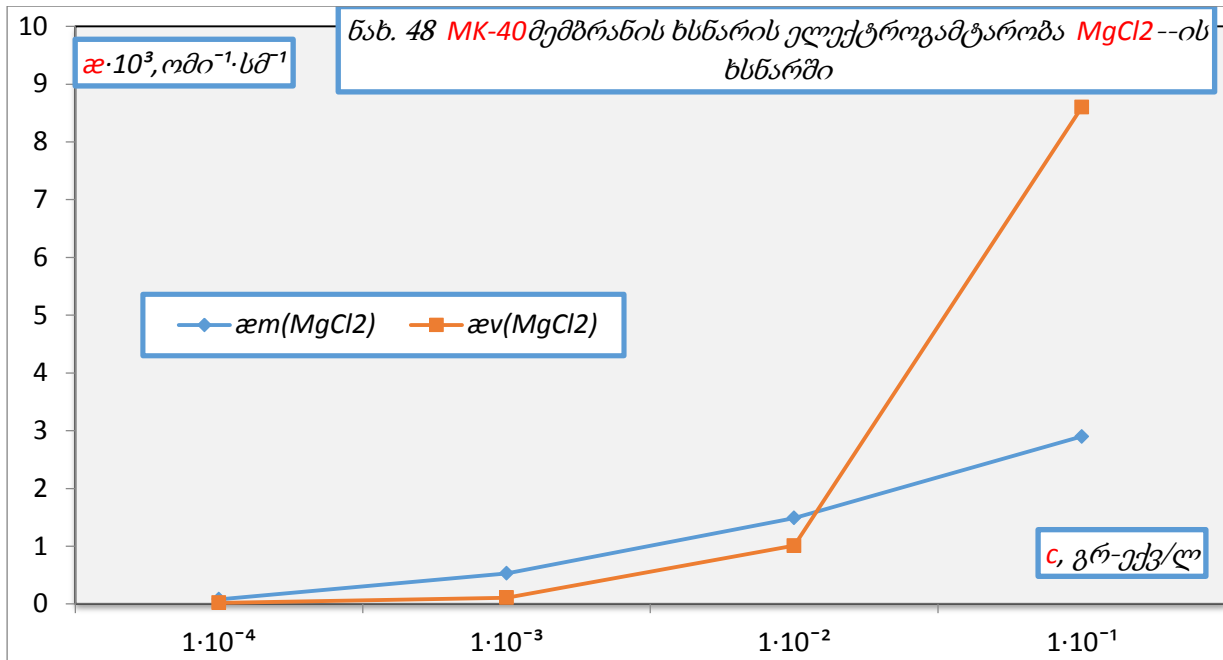
კვლევა წარმოებდა საწარმოო კათიონ- და ანიონმიმოცვლით მემბრანებზე, რომლებიც გამოიყენება ელექტროდიალიზურ დანადგარებში. მემბრანების ელექტროგამტარობა ისაღვრებოდა ორგანული ელექტროლიტების : ნატრიუმბენზოლსულფონატის - $C_6H_5SO_3Na$ (NABS) , ნატრიუმის ნაფტალინ - 2 - სულფონატის $C_{10}H_7SO_3Na$ (NaNS) და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების - ქლორიდ ცეტილ პირიდინიუმის $C_{16}H_{33}NC_5H_5Cl \cdot H_2O$ (CPCI) ხსნარებში. შედარებისათვის მემბრანის ელექტროგამტარობა იზომებოდა არაორგანული: NaCl, Na₂SO₄ და MgCl₂ ელექტროლიტების ხსნარებში. ელექტროლიტების მუშა ხსნარების კონცენტრაცია შეესაბამებოდა მათ შემცველობას შავი ზღვის წყალში.

იონმიმოცვლითი მემბრანების კუთრი ელექტროგამტარობის გაზომვას ელექტროლიტების წონასწორულ ხსნარებში აქვს დიდი მნიშვნელობა მემბრანული

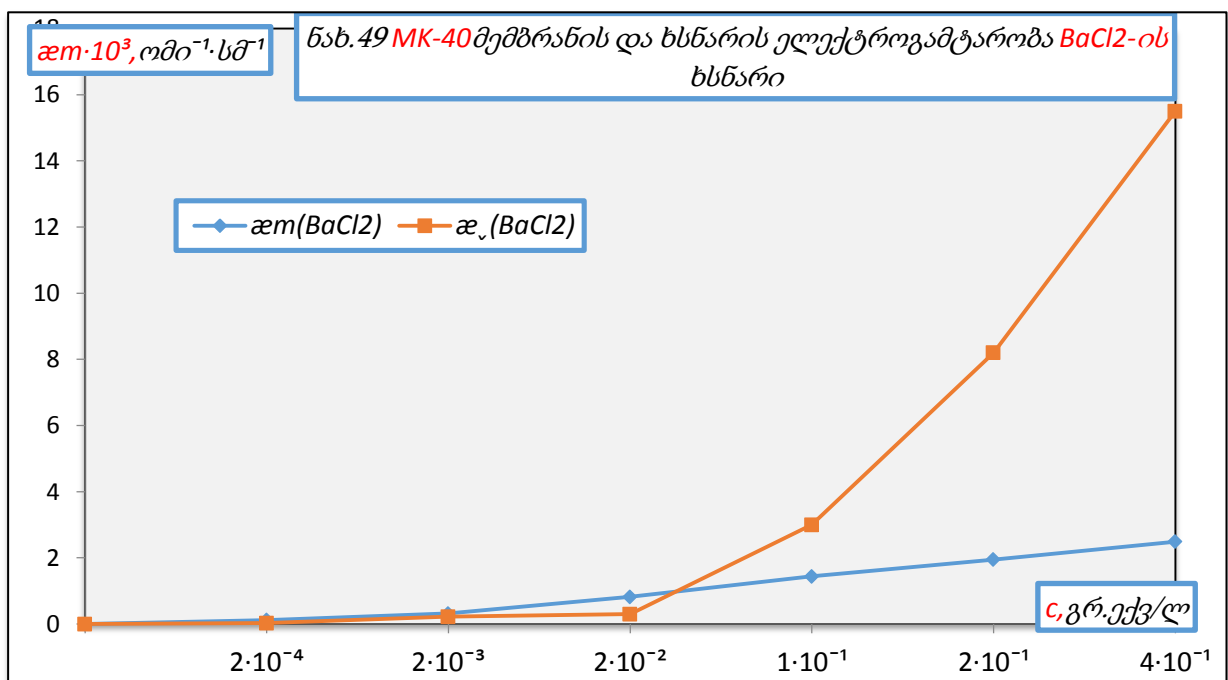
პროცესების თეორიისათვის, რადგან ეს გვაძლევს საშუალებას გამოვთვალოთ მემბრანებში იონების ძვრადობა და დიფუზიის კოეფიციენტები, და აგრეთვე დავამუშავოთ დისპერსიული სისტემების გაწმენდის ელექტროდიალიზური პროცესის ოპტიმალური რეჟიმები.

იზომებოდა MK-40 და MA-40 მემბრანების ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება წონასწორული ხსნარების კონცენტრაციაზე (ნახ.46 -53).

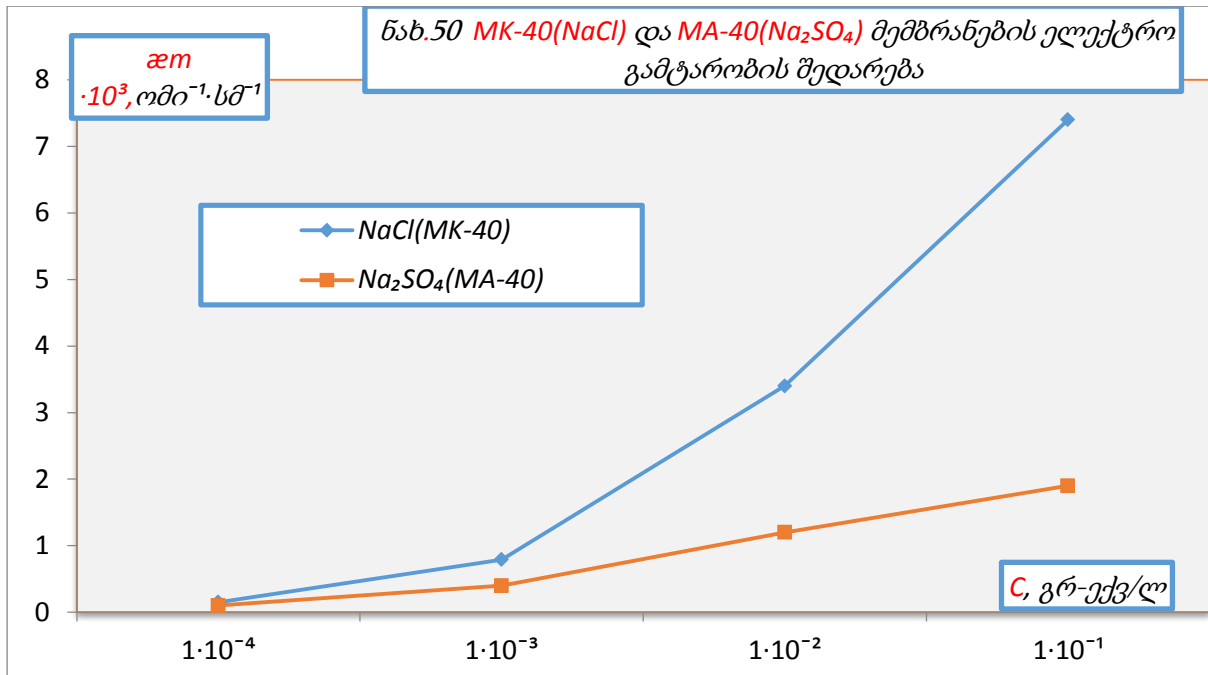




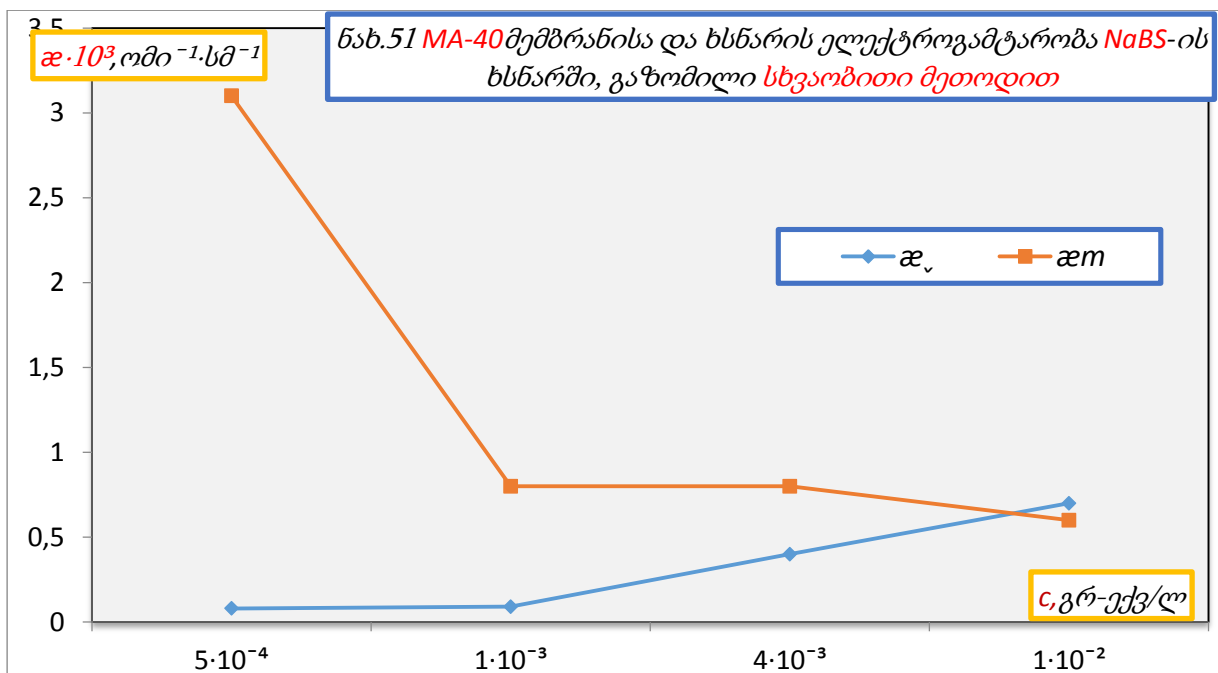
დადგენილია: მემბრანების ელექტროგამტარობა $\bar{\kappa}_m$ ერთმუხტიანი ელექტროლიტებისათვის უფრო მაღალია ვიდრე ორმუხტიანის, რაც მოწმობს ორმუხტიანი იონების სპეციფიკურ ურთიერთქმედებაზე მემბრანასთან (ნახ.46-48).

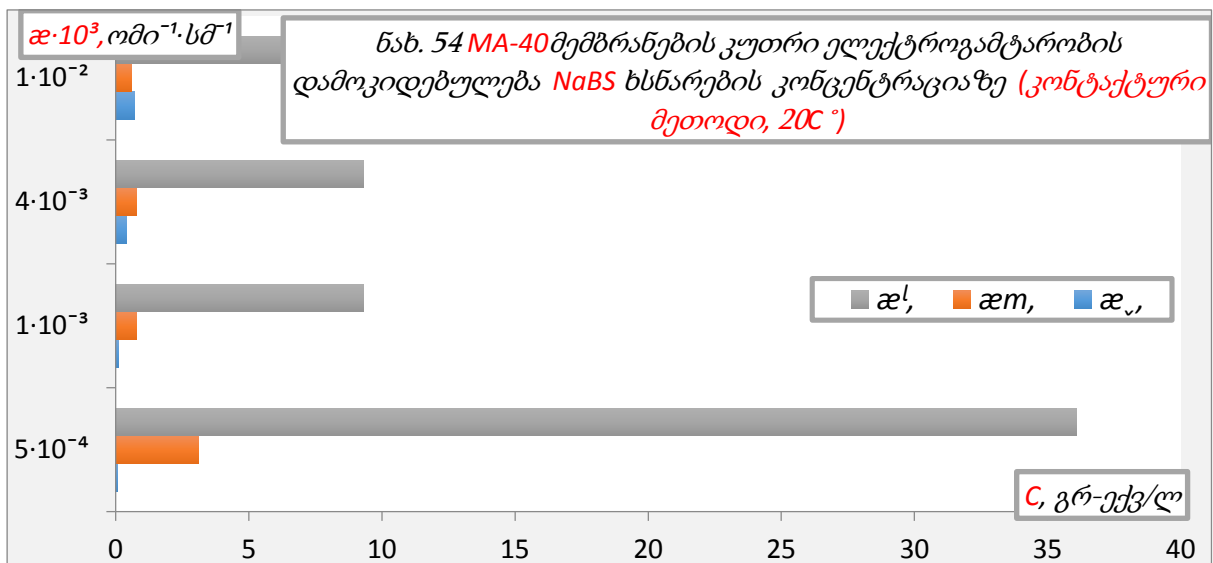
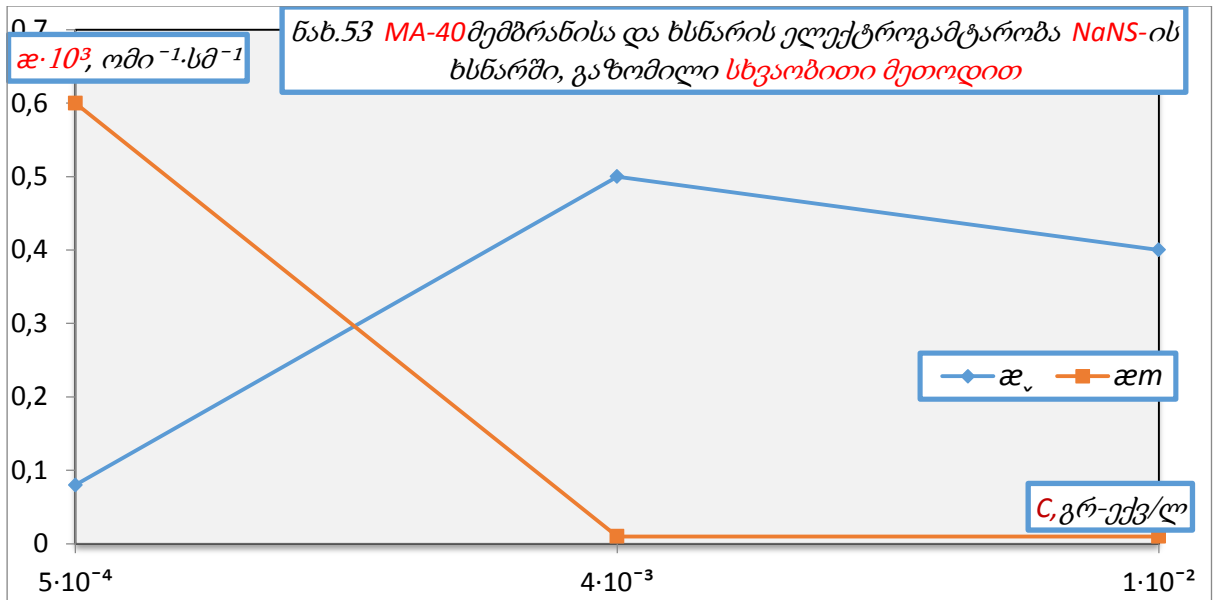
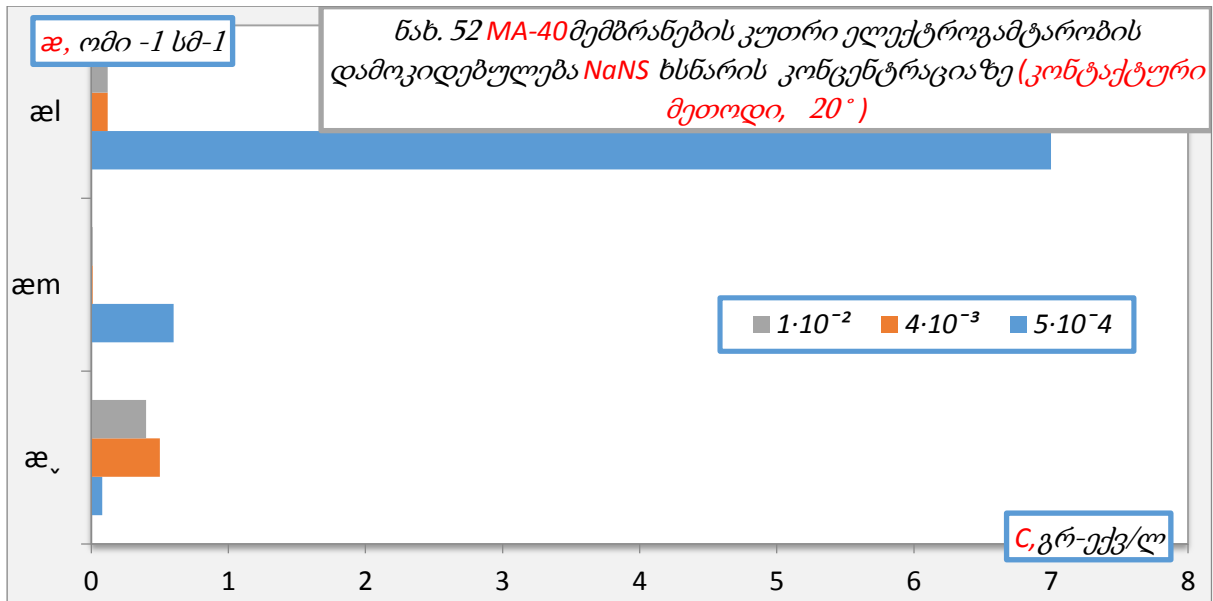


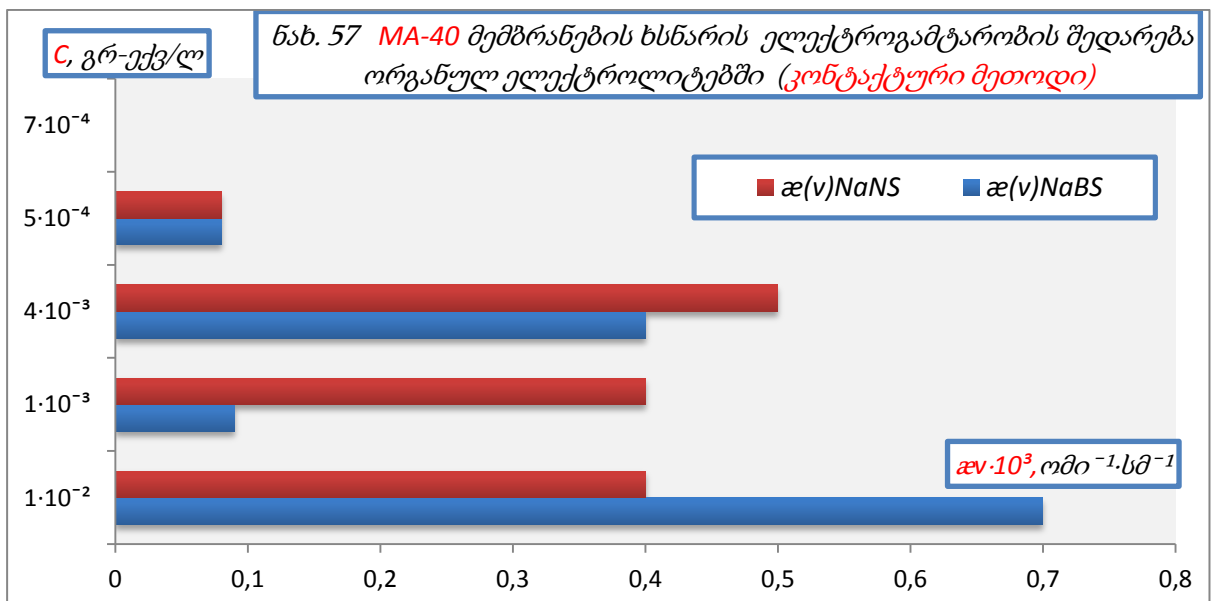
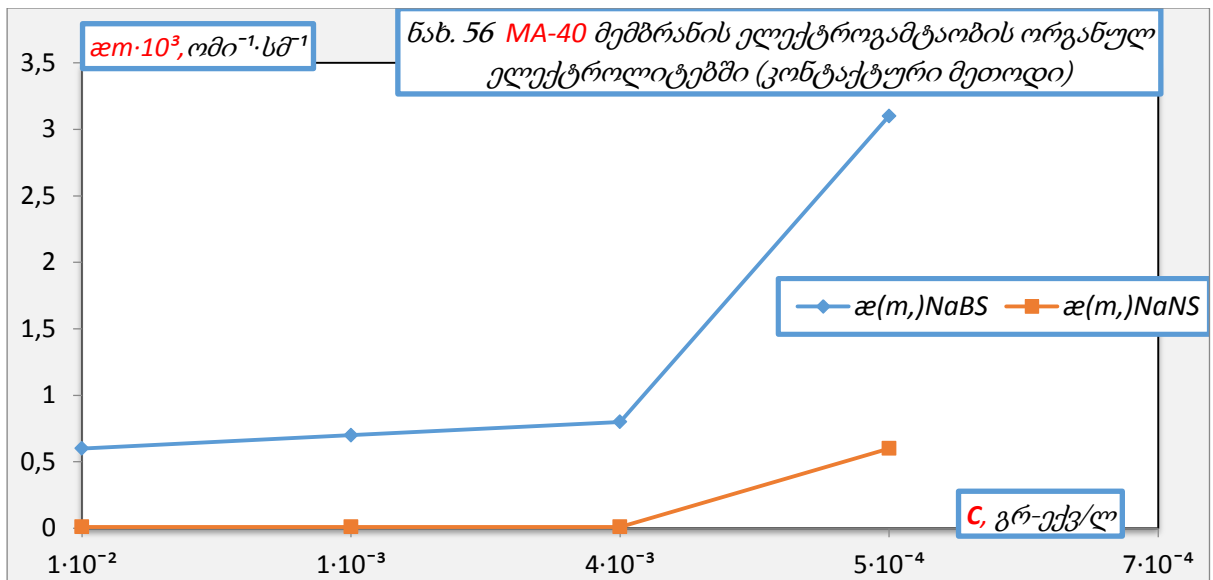
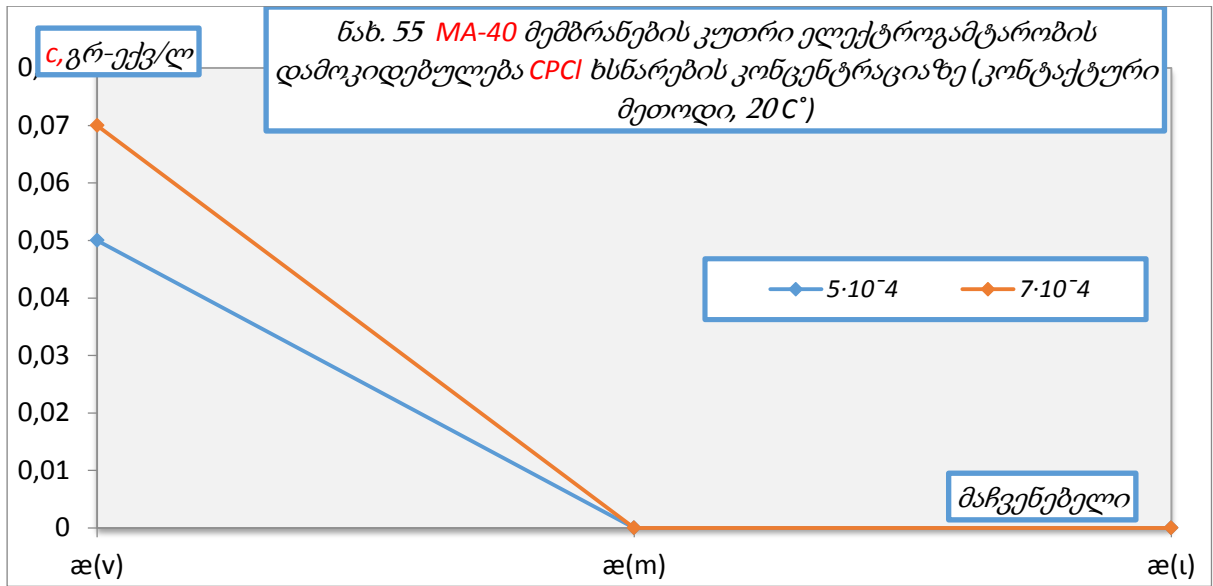
მიღებულია: $\bar{\kappa}_m$ ყველა ელექტროლიტისათვის მკვეთრად (1,2 რიგით) მცირდება ხსნარების კონცენტრაციის შემცირებით (10^{-1} - $10^{-4}N$), რაც ეწინააღმდეგება ჰომოგენური იონიტებისათვის მიღებულ წარმოდგენებს, რომლის თანახმად იონმიმოცვლითი მემბრანების ელექტროგამტარობა $\bar{\kappa}_m$ განისაზღვრება მემბრანაში უკუიონების მაღალი



კონცენტრაციით, რომელიც, დონანის წონასწორობის თანახმად, პრაქტიკულად არ უნდა იცვლებოდეს განზავებით, მაგრამ ჩვენს მიერ გამოყენებული მემბრანები - რთული სტრუქტურის ჰეტეროგენული სისტემებია. მემბრანების არაორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში ელექტროგამტარობის შედარება მოყვანილია ნახ.50-ზე. შემდეგ ისაზღვრებოდა მემბრანების ელექტროგამტარობა ორგანული ელექტროლიტების ხსნარში (ნახ. 51-58).



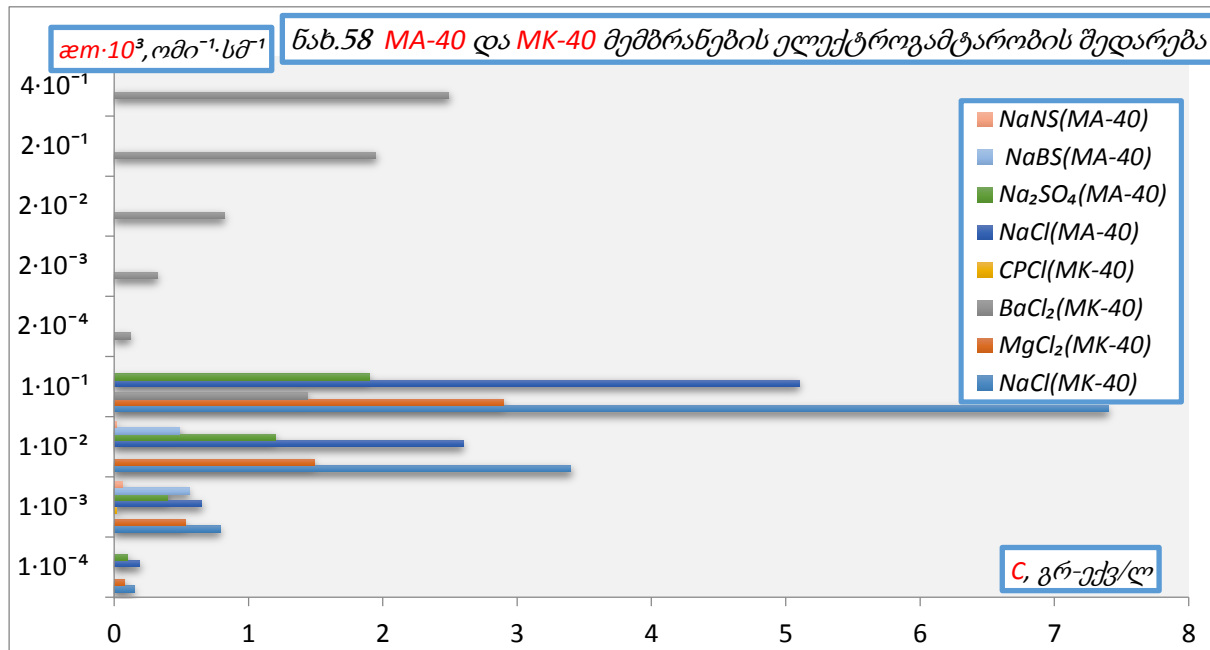




დადგენილია : ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში მემბრანების ელექტროგამტარობა მკვეთრად მცირდება ორგანული რადიკალის ზომის და წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით; ელექტროგამტარობის შემცირება გამოწვეულია მატრიცის შეკუმშვით, რაც უქმნის იონების მოძრაობას დიდ სტერიულ დაბრკოლებებს. აგრეთვე ადგილი აქვს იონების ძლიერ ადსორბციულ ურთიერთქმედებას ფიქსირებულ ჯგუფებთან, რაც აფერხებს მემბრანაში იონების მოძრაობას.

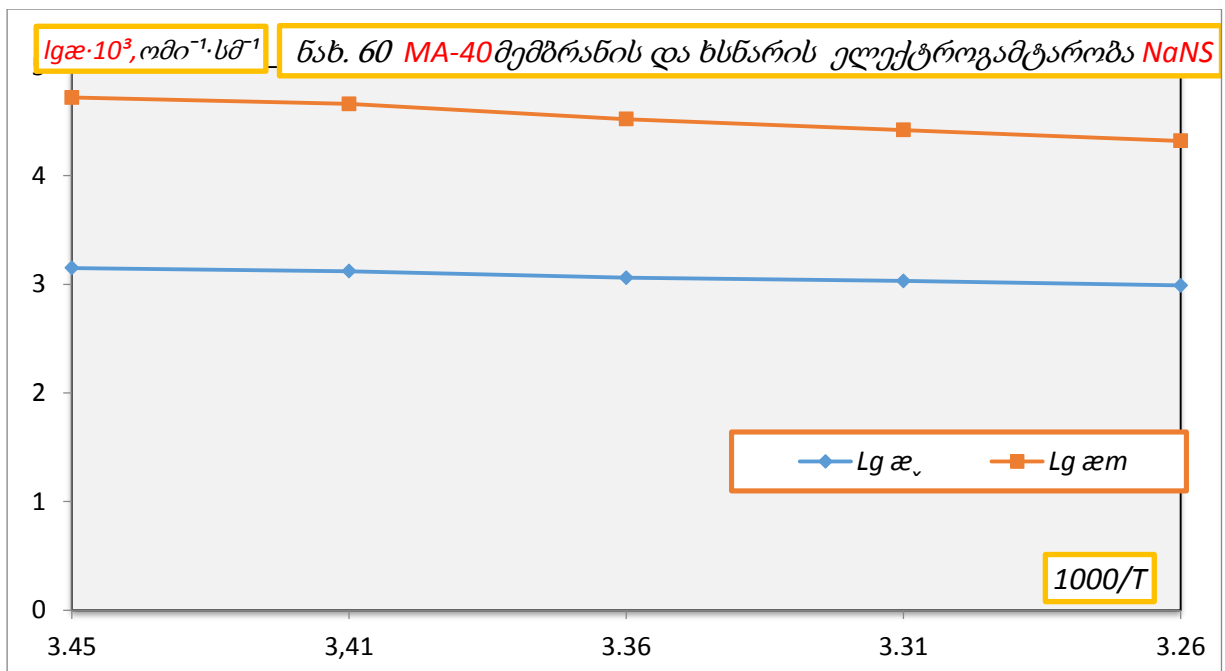
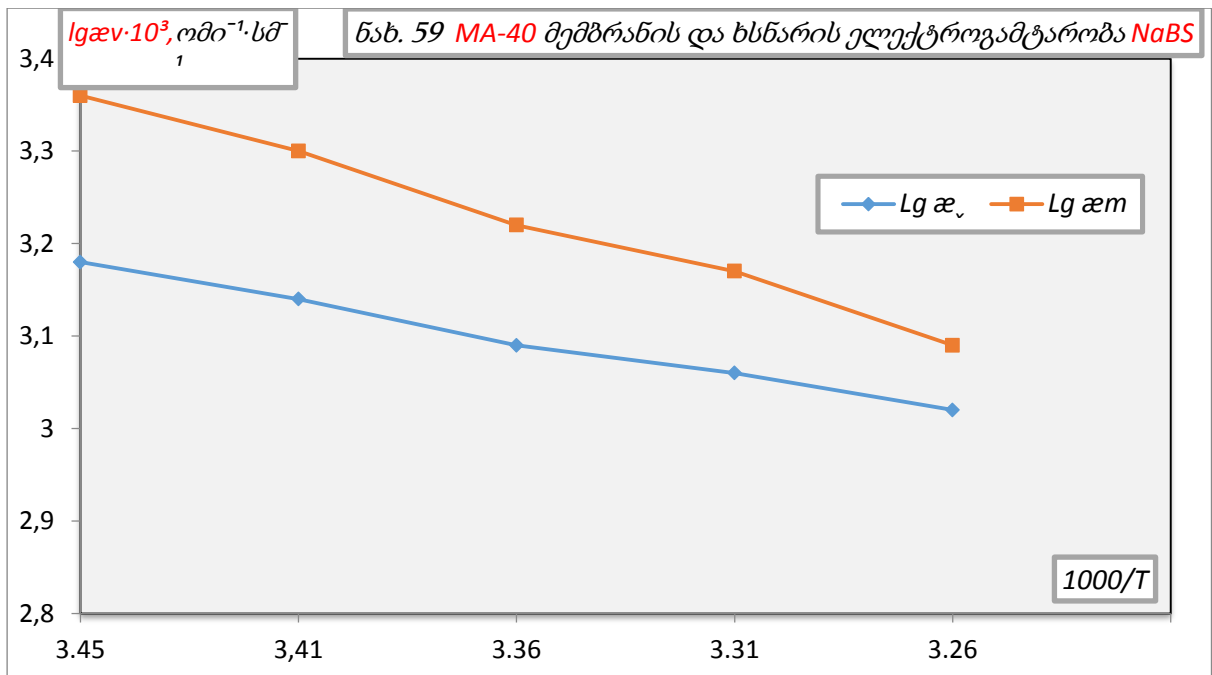
მარტივი და ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში მემბრანის ელექტროგამტარობის შედარებით, მიღებულია, რომ მემბრანების ელექტროგამტარობა $\bar{\kappa}_m$ NaBS -ის ერთი წყობით და NaNS-ის ორი წყობით უფრო ნაკლებია, ვიდრე NaCl-ის ხსნარში.

ნახ.58-ზე შედარებულია მემბრანების ელექტროგამტარობა არაორგანული და ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში.



დადგენილია : CP⁺ იონებით გაჯერებული მემბრანის ელექტროგამტარობა უმნიშვნელო სიდიდეს, ოთხი წყობით ნაკლებია ვიდრე NaCl-ის ხსნარში და შეადგენს $9.2 \cdot 10^{-7}$, რაც მოწმობს ძლიერ სპეციფიკურ ურთიერთქმედებაზე CP⁺-მემბრანა.

შემდეგ ისაზღვრებოდა მემბრანების ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ასეთი დამოკიდებულების დადგენით შეიძლება შეფასდეს უკუიონი - ფიქსირებული იონის ურთიერთქმედების ინტენსივობა, აქტივაციის ენერჯის განსაზღვრით. მიღებული მონაცემები წარმოდგენილია ნახ.59-62ზე.



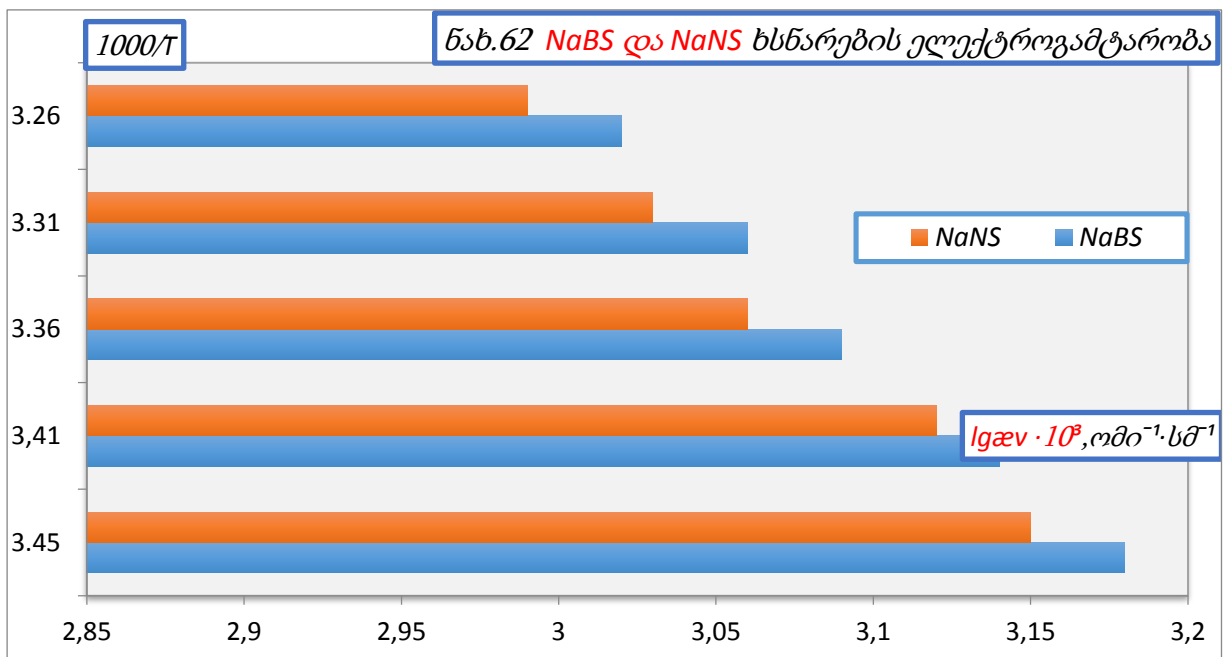
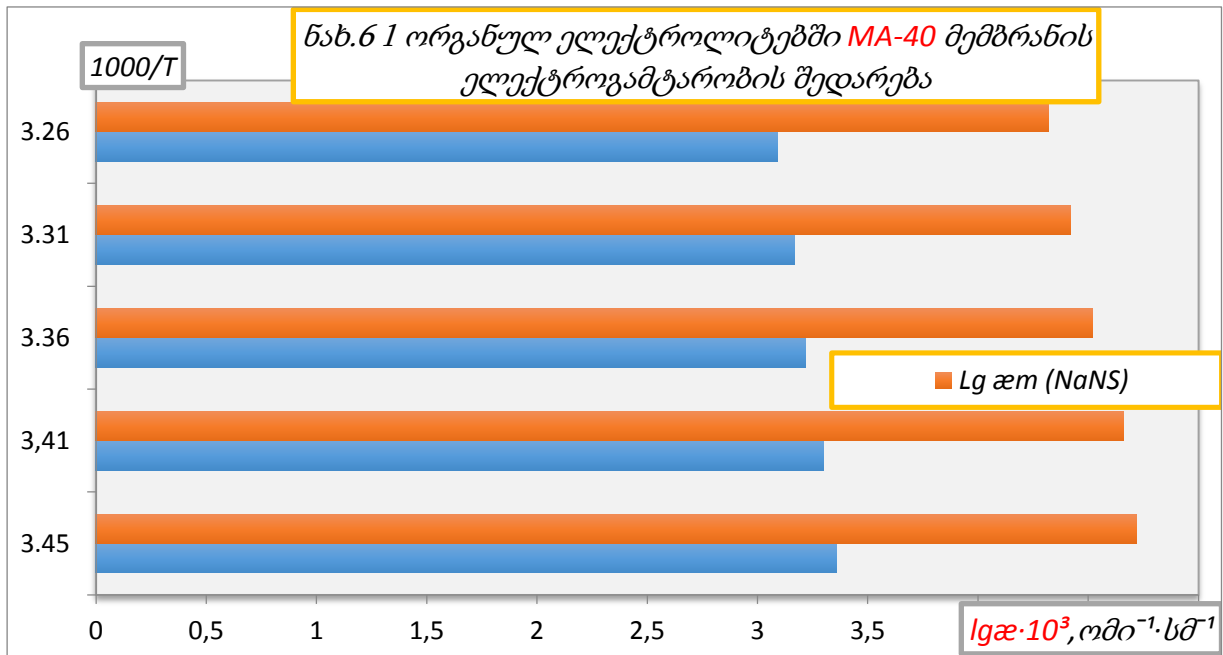
აქტივაციის ენერგია გამოითვლებოდა 15-35°C ტემპერატურის ინტერვალში არენიუსის განტოლებით .

ელექტროგამტარობის აქტივაციის ენერგიის სიდიდეები გამოითვლებოდა პირდაპირი დამოკიდებულების $Ig a - 1/T$ დახრის კუთხიდან თავისუფალი ხსნარებისათვის.

დადგენილია : მემბრანაში ელექტროგამტარობის აქტივაციის ენერგიის სიდიდეები უფრო მაღალია, ვიდრე თავისუფალ ხსნარში, უახლოვდება ერთმანეთს მარტივი

ელექტროლიტებისათვის და მნიშვნელოვნად იზრდება ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში ორგანული იონის ზომის გაზრდით: NaBS და NaNS-თვის შესაბამისად შეადგენენ 6.02 და 9.4 კვ.კალ/მოლ, CPCI-ის ხსნარში კი 12კვ კალ/მოლ. ეს მონაცემები მოწმობს მემბრანასთან ორგანული იონების ურთიერთქმედების გაძლიერებაზე ანუ

სპეციფიკური ურთიერთქმედება იზრდება რიგში: $NaBS \rightarrow NaNS \rightarrow CPCI$.



მემბრანების ელექტროგამტარობის და ფიქსირებული იონების კონცენტრაციის სიდიდეებიდან გამოითვლებოდა მემბრანაში უკუიონების ძვრადობა :

$$\lambda_i^m = x = \frac{\bar{x}}{x} \quad (32)$$

$$\bar{x}_i^e = \frac{\bar{x}_e}{m_R} \quad (33)$$

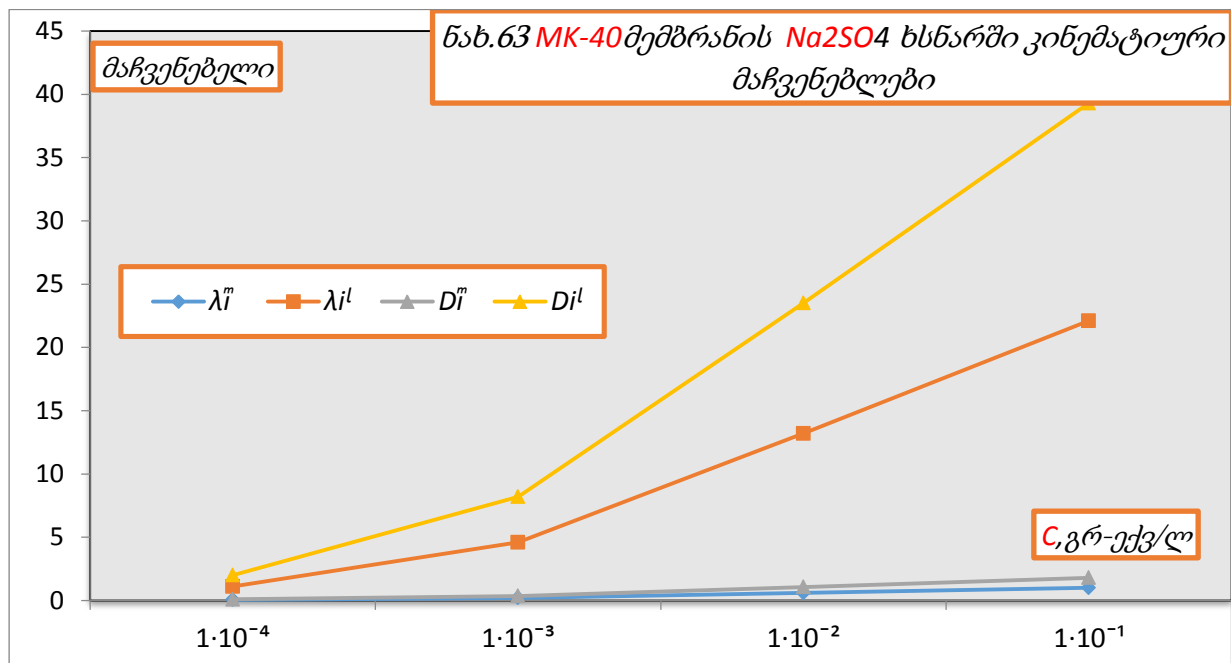
$$\bar{x}_e = \bar{x}_m \cdot \beta \quad (34)$$

სადაც:

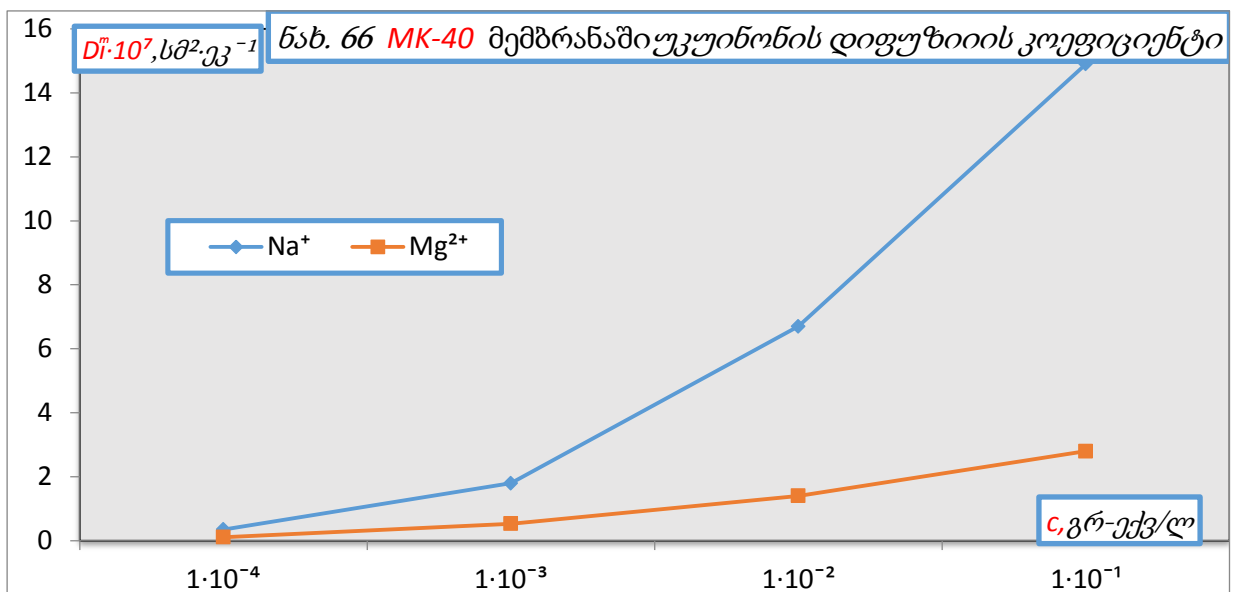
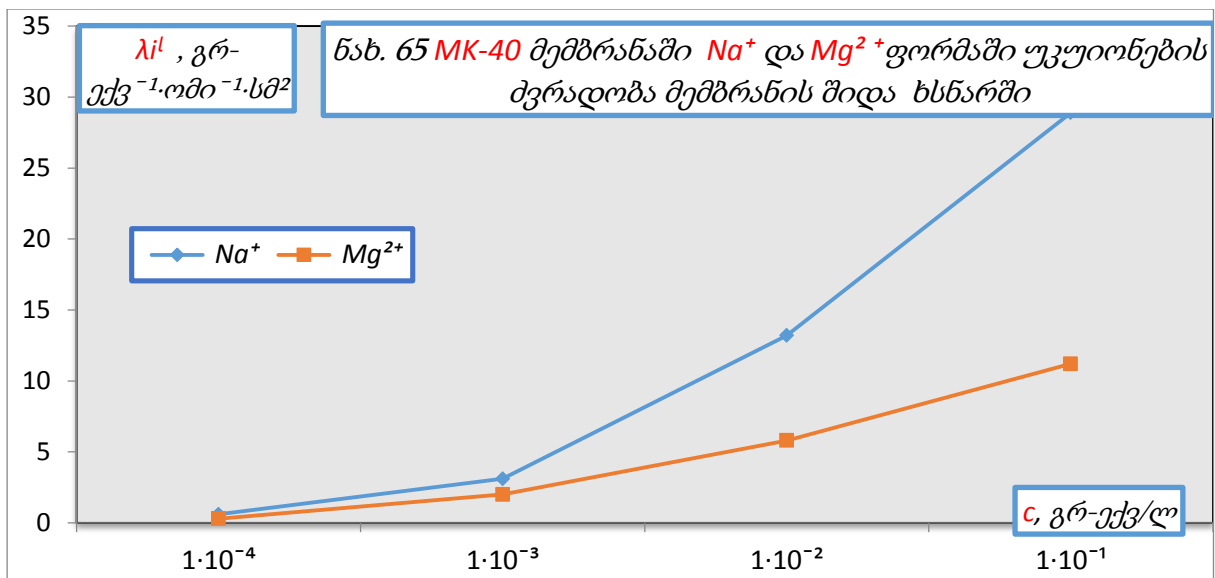
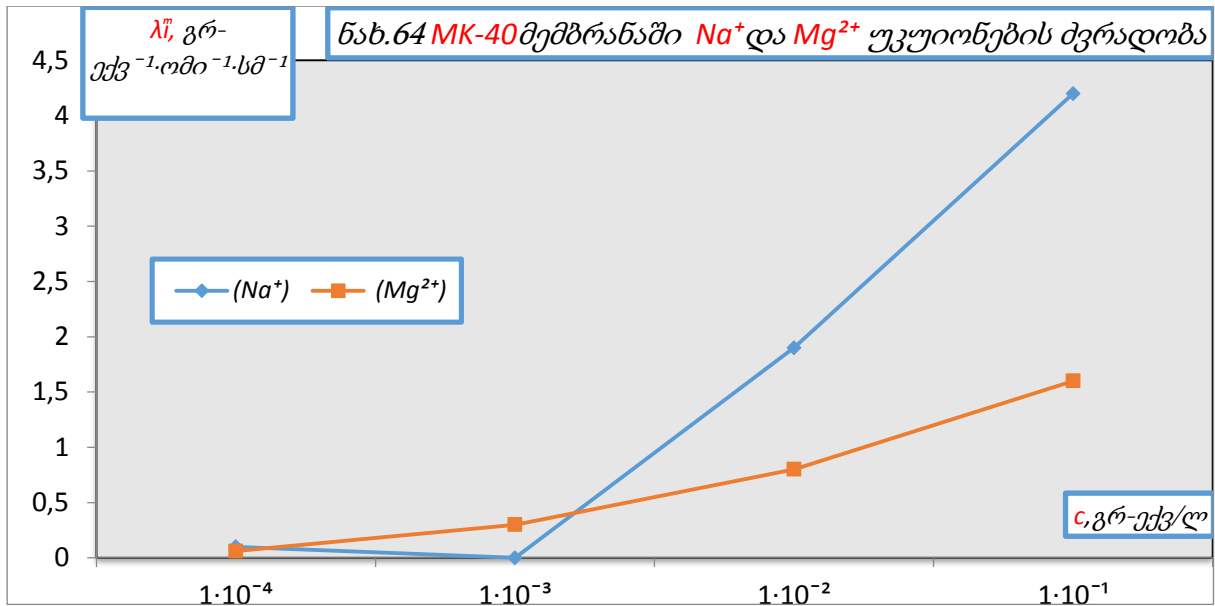
- ✓ λ_i^m უკუიონების ძვრადობა მემბრანაში;
- ✓ \bar{x}_i^e - უკუიონების ძვრადობა მემბრანის შიდა ხსნარში

უკუიონების დიფუზიის კოეფიციენტები მემბრანაში D_i^m და D_i^l გამოითვლებოდა ფორმულით (11). მიღებული მონაცემები მოყვანილია ნახ. 63-69-ზე.

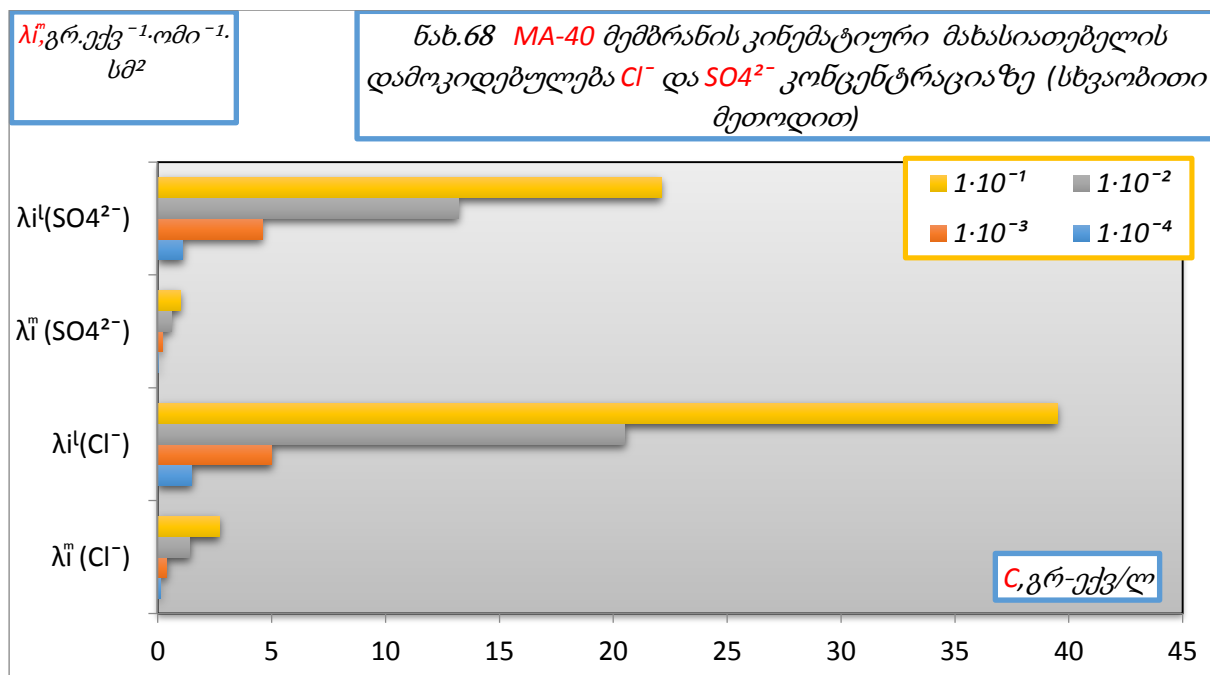
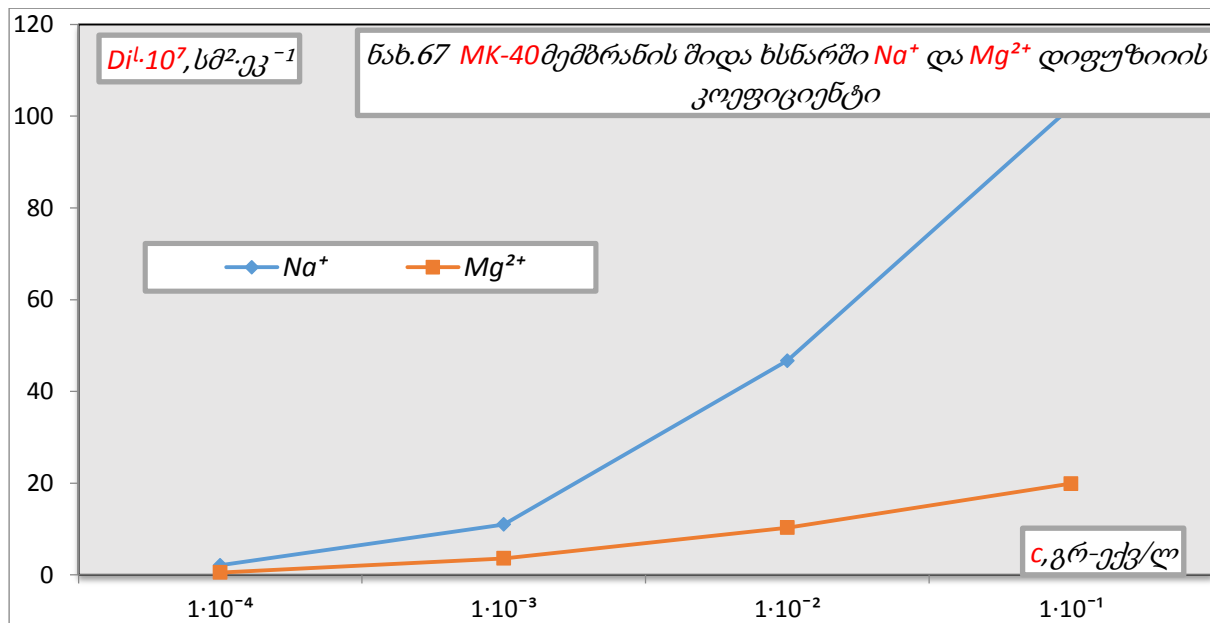
დადგენილია : λ_i და D_i მემბრანისა და ხსნარის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების ხასიათი სხვადასხვაა. თავისუფალ ხსნარში კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება იონების ურთიერთქმედება და λ_i და D_i მცირდება.

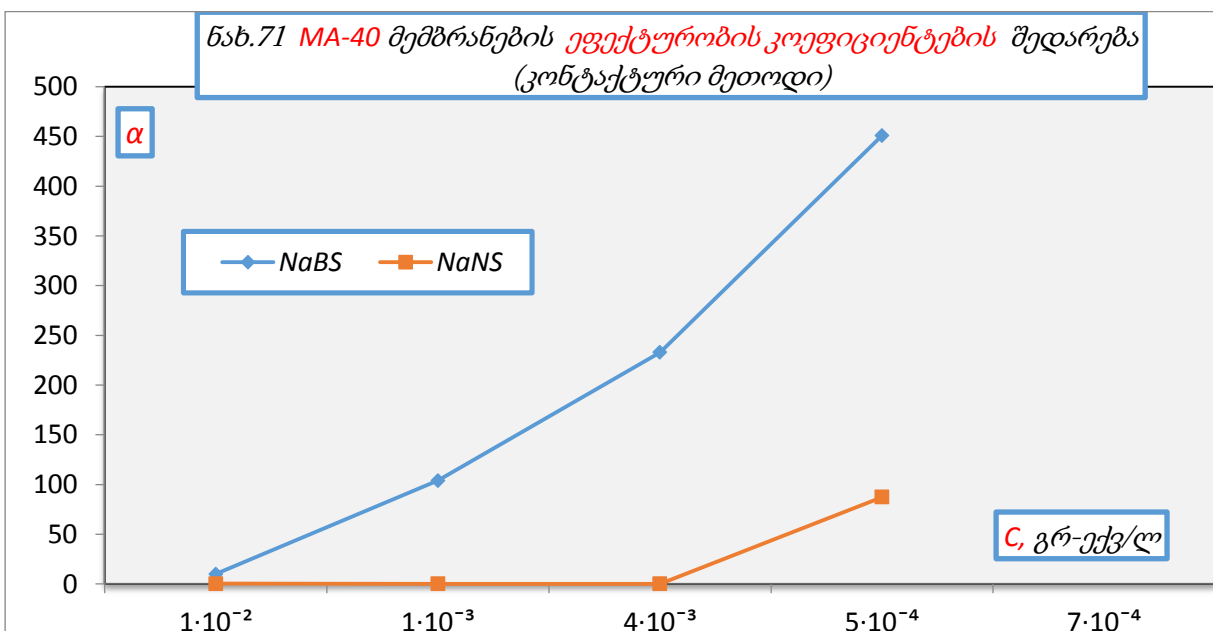
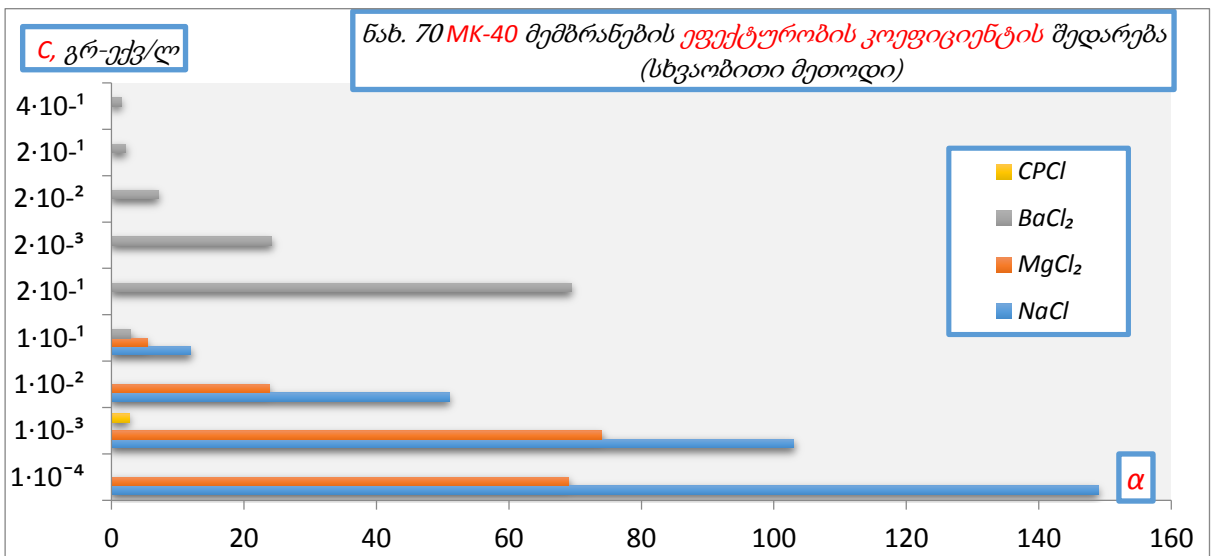
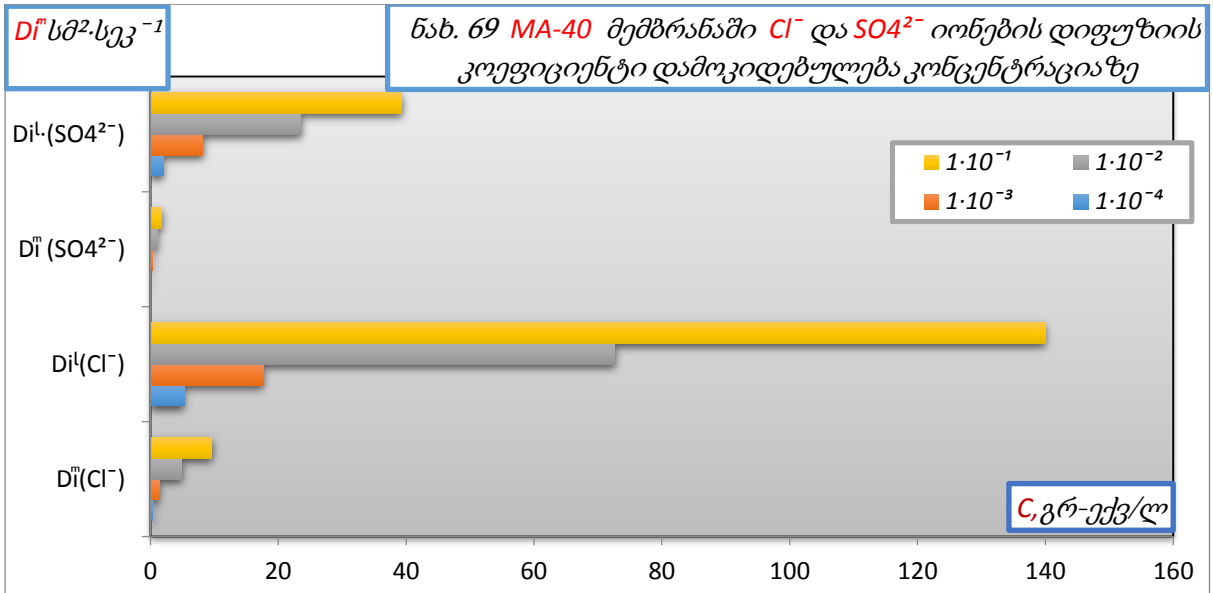


მემბრანაში λ_i იზრდება რადგან კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება უკუიონი - ფიქსირებული იონი ურთიერთქმედების ეკრანირება .



დადგენილია : მაღალი კონცენტრაციის ხსნარებში ძვრადობის მნიშვნელობები შედარებით მაღალია, განსაკუთრებით ერთმუხტიანი იონების ხსნარებში: ასე მაგალითად, ნატრიუმის იონების ძვრადობა ($\lambda_{Na^+}^I$) MK - 40 მემბრანაში, რომელიც მოთავსებულია 1N NaCl ხსნარში, მხოლოდ 1,5 ჯერ ნაკლებია ვიდრე ხსნარში. მიღებულია : მემბრანაში ერთმუხტიანი იონების ძვრადობა ყველა განხილულ შემთხვევაში მეტია ვიდრე ორმუხტიანის. ეს აიხსნება მემბრანებში ორმუხტიანი იონების დიდი სპეციფიკური ურთიერთქმედებით, მიუხედავად იმისა, რომ მემბრანის მიმოცვლის ტევადობა პრაქტიკულად ერთნაირია.





მიღებული მონაცემებიდან განისზღვრა მემბრანის ეფექტურობის კოეფიციენტი $\alpha = \bar{x}_1 / \bar{x}_2$, მისი დამოკიდებულება მემბრანის და ელექტროლიტის სახეობაზე და ხსნარის კონცენტრაციაზე მოყვანილია ნაზ 70, 71-ზე.

მიღებული მონაცემებიდან დადგენილია, რომ ეფექტურობის კოეფიციენტი დამოკიდებულია: მემბრანის სახეობაზე - MK-40 მემბრანაში ის უფრო მაღალია, ვიდრე MA-40 - ში; ელექტროლიტის სახეობაზე: MK-40 მემბრანაში ლითონის მუხტის, MA-40 მემბრანაში ორგანული რადიკალის გაზრდით ეფექტურობის კოეფიციენტი მცირდება;

ხსნარის განზავებით ორივე მემბრანის ეფექტურობის კოეფიციენტი იზრდება მემბრანის ეფექტურობის კოეფიციენტის ზრდის მიხედვით მიიღება რიგი:

- MK-40 : CPCI ->BaCl₂ ->MgCl₂ ->NaCl
- MA-40 : NaNS -> NaBS

დასკვნა

- ✓ კვლევა წარმოებდა საწარმოო კათიონ- და ანიონმიმოცვლით მემბრანებზე, რომლებიც გამოიყენება ელექტროდიალიზურ დანადგარებში.
- ✓ მემბრანების ელექტროგამტარობა ისაღვრებოდა ორგანული ელექტროლიტების : ნატრიუმბენზოლსულფონატის - C₆H₅SO₃Na (NABS), ნატრიუმის ნაფტალინ - 2 - სულფონატის C₁₀H₇SO₃Na (NaNS) და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების - ქლორიდ ცეტილ პირიდინიუმის C₁₆H₃₃NC₅H₅Cl·H₂O (CPCI) ხსნარებში. შედარებისათვის მემბრანის ელექტროგამტარობა იზომებოდა არაორგანული: NaCl, Na₂SO₄ და MgCl₂ ელექტროლიტების ხსნარებში.
- ✓ ელექტროლიტების მუშა ხსნარების კონცენტრაცია შეესაბამებოდა მათ შემცველობას შავი ზღვის წყალში.

დადგენილია:

- ✓ მემბრანების ელექტროგამტარობა \bar{x}_m ერთმუხტიანი ელექტროლიტებისათვის უფრო მაღალია ვიდრე ორმუხტიანის, რაც მოწმობს ორმუხტიანი იონების სპეციფიკურ ურთიერთქმედებაზე მემბრანასთან.
- ✓ \bar{x}_m ყველა ელექტროლიტისათვის მკვეთრად (1,2რიგით) მცირდება ხსნარების კონცენტრაციის შემცირებით (10⁻¹-10⁻⁴ N), რაც ეწინააღმდეგება ჰომოგენური

მემბრანებისათვის მიღებულ წარმოდგენებს და სრულიად მართებულია ჰეტეროგენული მემბრანებისათვის.

- ✓ ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში მემბრანების ელექტროგამტარობა მკვეთრად მცირდება ორგანული რადიკალის ზომის და წონასწორული ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით; ელექტროგამტარობის შემცირება გამოწვეულია მატრიცის შეკუმშვით, რაც უქმნის იონების მოძრაობას დიდ სტერიულ დაბრკოლებებს.
- ✓ მემბრანების ელექტროგამტარობა \bar{x}_m NaBS -ის ერთი წყობით და NaNS-ის ორი წყობით უფრო ნაკლებია, ვიდრე NaCl-ის ხსნარში;
- ✓ CP^+ იონებით გაჯერებული მემბრანის ელექტროგამტარობა უმნიშვნელო სიდიდეა, ოთხი წყობით ნაკლებია ვიდრე NaCl-ის ხსნარში და შეადგენს $9.2 \cdot 10^{-7}$, რაც მოწმობს ძლიერ სპეციფიკურ ურთიერთქმედებაზე CP^+ -მემბრანა.
- ✓ მემბრანაში ელექტროგამტარობის აქტივაციის ენერჯის სიდიდეები უფრო მაღალია, ვიდრე თავისუფალ ხსნარში, უახლოვდება ერთმანეთს მარტივი ელექტროლიტებისათვის და მნიშვნელოვნად იზრდება ორგანული ელექტროლიტების ხსნარებში ორგანული იონის ზომის გაზრდით: NaBS და NaNS-თვის შესაბამისად შეადგენენ 6.02 და 9.4 კვ.კალ/მოლ, CPCI-ის ხსნარში კი 12 კვ.კალ/მოლ. ეს მონაცემები მოწმობს მემბრანასთან ორგანული იონების ურთიერთქმედების გაძლიერებაზე ანუ სპეციფიკური ურთიერთქმედება იზრდება რიგში: $NaBS \rightarrow NaNS \rightarrow CPCI$.
- ✓ λ_i და D_i მემბრანისა და ხსნარის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების ხასიათი სხვადასხვაა. თავისუფალ ხსნარში კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება იონების ურთიერთქმედება და λ_i და D_i მცირდება. მემბრანაში λ_i იზრდება რადგან კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება უკუიონი - ფიქსირებული იონი ურთიერთქმედების ეკრანირება .
- ✓ მაღალი კონცენტრაციის ხსნარებში ძვრადობის მნიშვნელობები შედარებით მაღალია, განსაკუთრებით ერთმუხტიანი იონების ხსნარებში: ასე მაგალითად, ნატრიუმის იონების ძვრადობა (λ_{Na}^+) MK-40 მემბრანაში, რომელიც მოთავსებულია 1N NaCl ხსნარში, მხოლოდ 1,5 ჯერ ნაკლებია ვიდრე ხსნარში.
- ✓ მემბრანაში ერთმუხტიანი იონების ძვრადობა მეტია ვიდრე ორმუხტიანის. ეს აიხსნება მემბრანებში ორმუხტიანი იონების დიდი სპეციფიკური

ურთიერთქმედებით, მიუხედავად იმისა, რომ მემბრანის მიმოცვლის ტევადობა პრაქტიკულად ერთნაირია.

✓ ეფექტურობის კოეფიციენტი დამოკიდებულია : მემბრანის სახეობაზე - MK-40 მემბრანაში ის უფრო მაღალია, ვიდრე MA-40 -ში; ელექტროლიტის სახეობაზე: MK-40 მემბრანაში ლითონის მუხტის, MA-40 მემბრანაში ორგანული რადიკალის გაზრდით ეფექტურობის კოეფიციენტი მცირდება; ხსნარის განზავებით ორივე მემბრანის ეფექტურობის კოეფიციენტი იზრდება.

✓ მემბრანის ეფექტურობის კოეფიციენტის ზრდის მიხედვით მიიღება რიგი:

MK-40 : $CpCl \rightarrow BaCl_2 \rightarrow MgCl_2 \rightarrow NaCl$

MA-40 : $NaNS \rightarrow NaBS$

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Chloralkali_Electrolysis, MSN Encarta premium subscriber, Microsoft. 2007.
2. Хлорная отрасль стран Евросоюза (2005-2006 гг.), Базовая химия и нефтехимия. Newchemistry.ru, 2006.
3. Н.П. Березина Синтетические ионообменные мембраны. Соросовский образовательный журнал, том 6 , № 9 , 2000, с. 37-42
4. Holding B.V. Lenntech Water treatment & air purification. Материалы фирмы «Lenntech». Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004.- 301 с.
5. С.-Т. Хванг, К. Каммермейер Мембранные процессы разделения. М., Химия, 1981. – 464 с.
6. J.J. Krol Monopolar and bipolar ion exchange membranes. Mass Transport Limitations. Enschede, The Netherlands, 1997.
7. F. G. Wilhelm Bipolar Membrane Electrodialysis Ph.D. thesis University of Twente, Twente University Press. 2001.
8. Заболоцкий В.И., Березина Н.П, Никоненко В.В. и др. Развитие электродиализа в России // РЖ Мембраны. – М., 1999, с.4-27.
9. Пилат Б.В. Основы электродиализа. – М.: Аваллон, 2004. – 456с.
10. Рекламный проспект Amrutech Engineering Company, 2005 г.
11. Рекламный проспект с сайта компании ООО «Фирма ЭЙКОСЪ».

12. Деионизация воды. Электродиализ IONPURE. Рекламный проспект компании «НПЦ ПромВодОчистка».
13. OMEXELL spiral wound electrodeionization, Published in U.S.A., January 2007.
14. Рекламный проспект. EDCORE.
15. Рекламный проспект компании ASTOM Corporation, 2004.
16. Лодыгин А.Д., Золоторева М.С., Пономарев В.А., Барсуков В.А., Поверин А.П. Актуальность применения электромембранной обработки молочной сыворотки в производстве бифидогенных концентратов. Материалы X региональной научнотехнической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». СевКавГТУ, 2006.
17. Максин В.И., Стандартчук О.З. Некоторые аспекты очистки воды от радиоактивных элементов. – Химия и технология воды, 1993, т. 15, № 2, с. 129-145.
18. Исследование электродиализного концентрирования углекислого газа из воздуха с использованием полимерного электролита и мембранной технологии переработки урины // Отчет о НИР/ Кубанский госуниверситет; Рук. В.И. Заболоцкий. – 24/302; №ГР 02860042612. Краснодар, 1985, с. 171.
19. Разработка и исследование электродиализаторов для концентрирования электролитов и углекислого газа. Концентрирование урины // Отчет о НИР/ Кубанский госуниверситет; Рук. В.И. Заболоцкий. – 24/247; № ГР 80033041; Инв. № 0284005330. – Краснодар, 1983, с. 129.
20. Березина Н.П., Кононенко Н.А., Ивина О.П., Витульская Н.В., Шамолина И.А. Исследование ферментативного разложения карбамида с помощью иммобилизованной уреазы // ЖПХ. – 1990, т. 63, № 2, с. 395-399.
21. Заболоцкий В.И., Шурденко А.А., Гнусин Н.П. Транспортные характеристики ионообменных мембран при электродиализном концентрировании электролитов // Электрохимия. – 1988. т.24,№ 6, с. 744-750.
22. Козина А.А. Исследование процессов переноса в ионообменных мембранах. Автореф. канд. дисс.,Новосибирск,2005.
23. Mackey D, Meazes P. The electrical conductivity and electroosmosis permeability of a cation exchange membranes –Trans.Faraday Soc.,1999,v.55 ,#439 ,p.1221-1238
24. Spiegler K.S ,Transport processes in ionic membranes.-Trans. Faraday Soc.,2008 ,v.54, p.1408-1428.

25. Гребень В.П., Тулупов П.Е., Касперович А.И., Зайцев В.Н. Электропроводность ионообменных мембран.-Электрохимия.2012 ,7. с.939-945.
26. Гнусин Н.П., Гребенюк В.Д., Певницкая М.В. Электрохимия ионитов.- Новосибирск: Наука, 2002.-200 с.
27. Wallace R/A/ and Ompraya I.P. Transport within ionexchange membranes.- Desalination ,2004,14. p.121-134.
28. Стефанова О.К. Исследование электрохимических свойств ионообменных сульфокатионитовых мембран.- Автореф. канд. дисс. Л.,ЛГУ,2014.
29. Sauer M.C., Southwick P.F., Spiegler M.R. Electrical conductance of Porous plugs. Ion-exchange resin-solution systems.-Ind.End.Chem., 2005.v.47. #10 p.2187-2193.
30. Первов И.И., Ушаков Л.Д., Кирдун В.А. Влияние состава и концентрации солей в опресняемой воде на электропроводность ионообменных мембран.-Труды института ВОДГЕО, 2013, 49, с. 48-53.
31. Гнусин Н.П., Гребенюк В.Д., Лаврова Т.А. М.В. Электропроводность различных солевых форм катионита КУ-2.-Ж. прикладной химии, 2016. т. 39, с. 119-123.
32. Урусов К.Х., Федотов Н.А., Астафьева В.К . Исследование зависимости электропроводности ионитовых мембран МК-40 и МА-40 от температуры.-в кн : ионообменные мембраны в электродиализе. Л. : Химия ,2010, с. 80-83.
33. КудратоваЛ.Х. Исследование электрохимических и сорбционных характеристик ионитовых мембран в растворах ионогенных поверхностно-активных веществ. - Автореф. канд. дисс. Л. : ЛГУ,1997.
34. Китченер Д. Физико-химия ионообменных смол.-В кн. : Новые проблемы современной электрохимия.М., Наука.2002. с.95-172.
35. Шпиглер К.С. .-Электрохимические процессы.-В кн: ионообменная технология - М, , 2009, с.116-181.
36. Шаманов Ш.Ш.. Пушкарев В.В. Пуставалов Н.Н. Извлечение алкилсульфатов натрия анионитом из водных растворов.-Ж. прикл.химии,2016, 49 , №7 ,с.1644-1646.
37. Дмитриенко Л.В., Островский Д.И. , Самсонов Р.В. Равновесие и кинетика сорбции белков макропористыми ионитами. -В кн.:2-й Всесоюзн. симпоз. по термодинамике ионного обмена / Минск, 1975/: Тез.докл., Минск,2015,с.42-44.
38. Prasad R., Gupta A.K., Bajpai R.K Adsorption of streptomycin on ion exchange resins : equilibrium and kinetic studies. Chem. Techn. And Biotechnic, 2013 , 30, p.111-121.

39. Самсонов Г.В., Тростянская Е.В., Елькин Р.Э. Ионный обмен. Сорбция органических веществ.-Л.: Наука, 2009, с.336
40. Либинсон Р.С. Сорбция органических соединений ионитами.-М,Медицина. 2012, 184 с.
41. Николаев Н.Н. Храмцов О.И , Филимонова А.М Анализ электропроводности регулярной гетерогенной системы на примере зернистого слоя ионитов.- Электрохимия, 2016. т. 2,4. с. 465-472.
42. Дробышева И.В., Котов В.В., Шапошник В.А. , Шедрина Л.П. Свойства ионитовых мембран в растворах алкилсульфатов.- Ж. прикл.химии. 2009,42, с.822-824.
43. Березина Н.Н, Кононенко Н.А. Поляризационные явления в мембранных системах, содержащих ионы додецилсульфоната.-Электрохимия, 2012,18,№10.
44. Брояловский Б.С., Шаманаев Ш.Ш. Пушкарев В.В. Очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ сорбционным методом.- Охрана окружающей среды от загрязнения 35.(113) пром.выбросами. 2007,вып.3.,с.42-46.
45. Котов В.В. Чиркова Н.Б Отравление ионитовых мембран поверхностно-активными веществами и возможность их электрохимической регенерации.- В кн.: Теория и практика сорбционных процессов. Воронеж. 2010,13, с.81-84.
46. Джуда В. – Патент США, 2660558 (2003).
47. Бодомер Г.В. - Патент США, 2681319, 2681320 (2004).
48. Титов В.С., Пашков А.Б.- Авторское свидетельство, 102133 (2005).
49. Титов В.С., Петров Г.С., Акутин М.С., Салдадзе К.М., Пашков А.Б. Авторское свидетельство, 106583 (2006).
50. Титов В.С. – Пластические массы , 3, 45, 2009.
51. Ганулевич Н.Е.- Авторское свидетельство. 146940, (2011).
52. Пашков А.Б. и др. – Сб. «Химически активные полимеры и их применение. Под ред. Салдадзе К.М. – М.: «Химия», 1989, с. 81-86.
53. Пашков А.Б. и др. – Сб. Ионообменные мембраны в электродиализе. Л.:Химия. 1990, с. 5-11.
54. Moier K.H., Strauss W. Helv. Chim. acta, 23, 765, 2014.
55. Сенявин М. М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. М.: Химия, 2010. - 270 с.
56. Гуль В. Е., Федюкин В. Л., Догаткин Б. А . Коллоид .Ж, 2013. т. 15, N 1, с.11-19.

57. Хванг С. Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения . / Пер с англ. Е. П. Моргуновой и Ю. Н. Жилина. Под ред. Ю. И. Дытнерского.– М.: Химия, 2011. - 464 с.
58. Салдадзе К.М. и др. Ионообменные мембраны в электродиализе. Л.Химия, 1990
59. Нефедова Г.З., Климова З.В., Пашков А.Б., Брауде К.П., Базикова Г.Д., Фрейдлин Н.Г., Жуков М.А. Технология получения и стандартные характеристики ионитовых мембран.// В сб.: Электрохимия ионитов. Краснодар., 2007., с. 3-15.
60. Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена .- М.: 2001 - 490 с.
61. Доложел Д. Коррозия пластических материалов и резин. М.: Химия. 2013 г.
62. З. Вилсон И.Р. Деминерализация методом электродиализа. – М.: 2013 г.- 350 с.
63. Пашков А.Б. и др. – Сб. Ионообменные мембраны в электродиализе. Под ред. Салдадзе К.М. - Л.:Химия. 2000, с. 5-11.
64. В.И. Заболоцкий, Н.П. Березина, В.В. Никоненко, В.А. Шапошник, А.А. Цхай. Развитие электродиализа в России. <http://www.chem.msu.ru/journals>
65. Технологические процессы с применением мембран. – Под ред. Р. Лейси и С. Леба. Перевод с англ. к.х.н. Л.А. Мазитова и Т.М. Мнацаканян./ Под ред. к.х.н. Л.А. Мазитова. – М.: «Мир», 2006. – 370 с.
66. Доложел Д. Коррозия пластических материалов и резин. М.: Химия. 2013 г.
67. Резников А.А. Муликовская Е.Р. Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод . М. Недра. 2007 , - 488 с.
68. Гнусин Н.П., Гребенюк В.Д., Певницкая М. В. Электрохимия ионитов. Новосибирск.: Наука, 2002 , -200 с.
69. Грановская Г.Л., Семенов А.Д., Мазо А.А. Спирина А.К. О количественных изменениях состава органических веществ природных вод в процессе их очистки.- В кн . : Теория и практика сорбционных процессов., 2018, 2. с. 83-86.
70. Кульский Л.А., Даль В.В., Иткина М.И и др. Водоподготовка и очистка промышленных стоков.- 2015, 11, с. 43-48.
71. Ray K.C Pochhalil , Adhikary S.K. Molecular adsorption and ion exchange of carboxylic acids by cation – exchange resin.-Indian Chem., A, 2015,15, №10 , p.927-928.
72. Мелешко В.П.,Грановская Р.А.,Мазо А.А .,Ионова Н.Ф.-Там же с.111-115
73. Зеленина Е. Н. , Еусев А.И. Шемякин Ф.М. Современное состояние и перспективы развития методов исследования отравляемости анионитов по модельным

- органическим соединениям .- В кн. :Новые методы контроля материалов на остаточные элементы и микропримеси.-М.,2015, с.167-173.
74. Павлович М.Л. Скороход О.Р. Сорбция жирных кислот на сульфокатионите КУ-2-8 из водно-пропанольных и водно-изопропанольных растворителей.-Там же, 2009. №1 ,с. 31-34.
75. Павлович М.Л. Скороход О.Р. Влияние природы и состава смешанного водно-органического растворителя на молекулярную сорбцию жирных кислот
76. сульфокатионитов КУ-2-8. -Вестн. Белорус.ун-та , сер. 2, 2005, №2, с.16-19.
77. Doze M.,Riffand M.,Lumbroso R. Distillation Koefficient of phenols and Benzoic acids in a sulfonated polystyrene resin.-Ion exchange and membranes ,2014,2.№1 p. 51-58.
78. Коренман Я.И. и др. Извлечение малых количеств нитрофенолов из воды макропористыми ионитами.-Ж.аналит.химии.2009,34 , 12,с.2425-2427.
79. Знаменский Ю.П. Влияние силы и основности кислот на кинетику сорбции их из водных растворов слабоосновным анионитом амберлит – РА-93.- К. физ.химии, 2014, 49, №9, с.103-106.
80. Шаманов Ш.Ш.. Пушкарев В.В. Пуставалов Н.Н. Сорбция поверхностно – активных веществ ионитом.- Ж.физ.химии. 2013.47, 9 , с.2340-2344.
81. Шаманов Ш.Ш.. Пушкарев В.В. Пуставалов Н.Н. Сорбция алкилсульфатов натрия макросетчатым анионитом.-Ж. физ.химии, 2013, 51.№1. с.198-200.
82. Шаманов Ш.Ш.. Пушкарев В.В. Пуставалов Н.Н. Извлечение алкилсульфатов натрия анионитом из водных растворов.-Ж. прикл.химии,2016, 49 , №7 ,с.1644-
83. Шаманов Ш.Ш.. Пушкарев В.В. Пуставалов Н.Н. Влияние неорганических электролитов на распределение додецилсульфата натрия между анионитом и раствором.- Ж. физ. химии ,1981,55,№5, с.1317-1319.
84. Дмитриенко Л.В., Островский Д.И. , Самсонов Р.В. Равновесие и кинетика сорбции белков макропористыми ионитами. -В кн.:2-й Всесоюзн. симпоз. по термодинамике ионного обмена ,/ Минск, 1975/: Тез.докл., Минск,2015,с.42-44.
85. Prasad R., Gupta A.K., Vajpai R.K Adsorption of streptomycin on ion exchange resins : equilibrium and kinetic studies. Chem. Techn. And Biotechnic, 2013 , 30, p.111-121.
86. Клих С.Ф. , Елькин Р.Э ., Самсонов Р.В. Сорбция эритромицина и олеандомицина сульфостирольным катионитом.- Ж. колоидн. химии ,2015, 37, №6, с.1167-1171.

87. Шатаева Л.К., Широхова Т.О., Самсонов Р.В. Кинетика сорбции инсулина на пористых карбоксильных катионитах.- Там же. 2006, 38. №3. с. 530-534.
88. Елькин Р.Э., Клик С.Ф., Меленевский А.Т., Самсонов Р.В. Смешано-диффузионная кинетика сорбции эритромицина сульфосолами при конечном неоднородном распределении антибиотика в зерне ионита.- Ж. прикл. Химии, 2007, 50, №4 . с. 812-816.
89. Терешенко А.П., Чеботарева Н.И., Морозова Н.М., Релицкая Н.Б. Сорбция триптофана анионитом АН-25.- Иваново. 2012. Рукопись деп. В ВИНТИ 19.05.77 г., №1941-77 Деп.
90. Forster David H., Engelbrecht Richard S., Shoeyink Versonl. Application of weak base ion-exchange resins for removal of proteins. Sci and Technic., 2015 ,11, №1 / p.55-61
91. Каппаров Б. Ергожин Е.Е., Продиус Л.Н. Исследования кинетики сорбции стрептомица карбоксильными катионитами макросетчатой структуры.- Изв. АН Каз. ССР . сер . хим., 2013, №5, с. 79-82.
92. Юркова Л.С. и др. Влияние кислотности среды на сорбцию триптофана слабоосновными анионитами.- Иваново, 2013. Рукопись деп. В ОНИИТЭХИМ г. Черкассы 05.07.13 г., № 1871/78 Деп.
93. Иониты.Каталог,Черкассы.2005.
94. Цитович И.К., Ткаченко А.В. О молекулярной сорбции ионитами 3,4 дихлорпропион амида и 3,4-дихлоранилина. Ж. прикл.химии, 2016. 49. №8. с.1743-1746.
95. Самсонов Г.В., Тростянская Е.В., Елькин Р.Э. Ионный обмен. Сорбция органических веществ.-Л.: Наука, 2009, с.336.
96. Варенцов В.К. Физико-химические свойства ионообменных мембран и особенности их строения.- Автореф. Канд.дисс. Новосибирск, 2011
97. Шапошник В.А. Кинетика электроионитных процессов. –Автореф. Докт.дисс. Воронеж, 2001.
98. Шаманов Ш.Ш., Пушкарев В.В. Пуставалов Н.Н. Сорбция алкилсульфатов натрия макросетчатым анионитом.-Ж. физ.химии, 2013, 51.№1. с.198-200.
99. Шаманов Ш.Ш., Пушкарев В.В. Пуставалов Н.Н. Извлечение алкилсульфатов натрия анионитом из водных растворов.-Ж. прикл.химии,2016, 49 , №7 ,с.1644-1646.

ბუნებრივი სამკურნალო წყლების შედგენილობის და ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შესწავლა

მინერალური წყლები - ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით მდიდარი, მინერალიზებული მიწისქვეშა ან ზედაპირული წყლებია, რომლებსაც გააჩნია განსაკუთრებული ფიზიკურ - ქიმიური თვისებები (ტემპერატურა, რადიოაქტიურობა და სხვა.). მინერალური წყლები თავისი თვისებებით სამკურნალო გავლენას ახდენენ ადამიანის ორგანიზმზე, რის გამოც მათ სამკურნალო საშუალებად იყენებენ.

სამკურნალო ეწოდება ისეთ წყალს, რომელიც 1ლ. მოცულობაში შეიცავს არა ნაკლებ 1გრ. მინერალურ ნაერთებს და ამ წყლებით მკურნალობას ბალნეოთერაპია ეწოდება. მინერალური წყალი უნდა იყოს ძლიერ მოქმედი ან მაღალი ტემპერატურით ხასიათდებოდეს[1,22,25].

სამკურნალო წყლები დედამიწის სიღრმეში მიედინებიან ნიადაგის სხვადასხვა ფენებში. დედამიწასთან შეხებისას, მათში იხსნება ნიადაგის სხვადასხვა სახის მარილები და ისინი ითვისებენ მათ, განსაკუთრებით მაშინ, თუ ნიადაგში გავლის დროს წყალს უწევს გაჩერება [23].

მინერალური წყალი შეიცავს აირებს გახსნილ ან თავისუფალ მდგომარეობაში. თუ წყალი შეიცავს ნახშირორჟანგს და გოგირდწყალბადის აირებს, ის მიეკუთვნება სპეციფიკური თვისებების მქონე სამკურნალო წყალს. მინერალური წყლები აგრეთვე შეიცავენ აზოტს, წყალბადს, მეთანს და სხვა სახის აირებს ,მაგრამ ამჟამად ასეთი შემცველობის წყლები არ არის შესწავლილი ბოლომდე. მინერალურ წყლებში ასევე აღმოჩენილია საკმაოდ დიდი რაოდენობით რადიოაქტიურ ნივთიერებათა დაშლის შედეგად წარმოქმნილი როდონი და ჰელიუმი და რადიოაქტიური ლითონები : ურანი, თორიუმი და აქტინიუმი[2, 24].

ბოლო წლებში, საქართველოს სხვადასხვა რაიონში აღმოჩენილია წყლის წყაროები, რომლის შედგენილობა და სამკურნალო თვისებები უცნობია, მოსახლეობა კი აქტიურად იყენებს ამ წყალს სხვადასხვა დაავადებების სამკურნალოდ. *აქედან გამომდინარე პრაქტიკულ და სამეცნიერო ინტერესს წარმოადგენდა ბუნებრივი სამკურნალო წყლების შედგენილობის და ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შესწავლა.*

1. ბუნებრივი წყლების ზოგადი დახასიათება.

დიდი რაოდენობით შეიცავს ბიოლოგიურად აქტიურ მინერალურ (იშვიათად ორგანულ) კომპონენტებს და აქვს განსაკუთრებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები (ტემპერატურა, რადიოაქტიურობა და სხვა.). მინერალური წყლების თვისებები ადამიანის ორგანიზმზე სამკურნალო გავლენას ახდენს, რის გამოც მათ სამკურნალო საშუალებად იყენებენ. მინერალური წყლების გამოყენებას სხვადასხვა დაავადების სამკურნალოდ ბალნეოთერაპია ეწოდება[3].

სამკურნალო ეწოდება ისეთ წყალს, რომელიც 1ლ. მოცულობაში შეიცავს არა ნაკლებ 1გრ. მინერალს. ეს მინერალური წყალი ძლიერ მოქმედი უნდა იყოს ან მაღალი ტემპერატურით ხასიათდებოდეს.

ფიზიკო - ქიმიური თვისებები : სამკურნალო წყლები დედამიწის სიღრმეში მიედინებიან ნიადაგის სხვადასხვა ფენებში. დედამიწასთან შეხების შედეგად ისინი ხსნიან სხვადასხვა სახის მარილს და ითვისებენ მათ (განსაკუთრებით მაშინ, თუ ასეთი გავლის დროს ნიადაგში წყალს გაჩერება მოუხდება) [18-20].

ფიზიკო - ქიმიურ თვისებებს მიეკუთვნება:

- ტემპერატურა;
- მინერალიზაცია;
- იონური შედგენილობა;
- წყალში გახსნილი აირები;
- რადიოაქტიურობა;
- ბიოლოგიურად აქტიური ორგანული ნაერთები;
- მიკროელემენტები და ა.შ.

აირების წარმოქმნა მინერალურ წყლებში: მინერალურ წყლებში აირების ნაწილი გახსნილ მდგომარეობაშია, ნაწილი კი - თავისუფალ მდგომარეობაში. ყველაზე მეტი მნიშვნელობა ეძლევა ნახშირორჟანგს და გოგირდწყალბადის აირებს, რომლებიც წარმოადგენენ სამკურნალო წყლების სპეციფიკურ სამკურნალო თვისებებს. დანარჩენი გაზები, როგორცაა აზოტი, წყალბადი, მეთანი და სხვა, ასრულებენ გარკვეულ როლს, თუმცა ჯერჯერობით მათი მნიშვნელობა საკმაოდ არ არის შესწავლილი[4,5].

მინერალურ წყლებში ასევე აღმოჩენილია [21] მთელი რიგი რადიოაქტიურ ნივთიერებათა დაშლის შედეგად წარმოქმნილი გაზები: როდონი და ჰელიუმი, რომელთა რაოდენობა ზოგიერთ წყალში საკმაოდ დიდია. თუ ასეთი გაზის რაოდენობა 1/10-ზე მეტს აღწევს, მათ ეძლევათ პრაქტიკული მნიშვნელობა. გარდა ამისა, წყლებში აგრეთვე აღმოჩენილია რადიოაქტიური ლითონები : ურანი, თორიუმი და აქტინიუმი.

წყლის ტემპერატურა : ტემპერატურის მიხედვით გამოიყოფა მინერალური წყლების შემდეგი ჯგუფები (ცხრ.1):

სამკურნალო წყლების კლასიფიკაცია ტემპერატურის მიხედვით

ცხრილი 1

N/N	ტემპერატურის მიხედვით წყლის ჯგუფები	ტემპერატურული ინტერვალი
1	ძლიერ ცივი	4°C–მდე,
2	ცივი	4-20°C
3	თბილი	20-37°C
4	ცხელი (თერმული)	37-42°C
5	ძლიერ ცხელი (ჰიპერთერმული)	42°C
6	მეტი	> 42°C

მინერალიზაცია: წყლის მინერალიზაცია განისაზღვრება მასში გახსნილი მინერალური ნივთიერებების საერთო რაოდენობით, რომლებიც საზღვრავს წყლის ჯგუფებს (ცხრ.2) სუსტი მინერალიზაციისა და კალციუმის იონების შემცველ მინერალურ წყლებს აქვთ შარდმდენი თვისებები, რაც ხელს უწყობს ორგანიზმიდან შარდთან ერთად ბაქტერიების, ლორწოს, ქვიშისა და წვრილი კონკრემენტების გამოყოფას. მინერალური წყლების მიღება არ შეიძლება საყლაპავი მილისა და კუჭის შესავლის შევიწროვების, კუჭის დაწვეის, გულსისხლძარღვთა ზოგიერთი დაავადების, თირკმლის გამომყოფი ფუნქციის დარღვევისა და ზოგიერთი სხვა დაავადების დროს [6,22].

1.1 სამკურნალო წყლების კლასიფიკაცია .

სამკურნალო მინერალური წყლები იყოფა 6 კლასად მათი მინერალიზაციით, კერძოდ ჭარბი რაოდენობის მარილების მიხედვით:

- ჰიდროკარბონატული ;
- ქლორიდული;
- სულფატური;
- სამივე წყლების კომბინაცია;
- სამკურნალო წყლები, რომლებიც შეიცავენ ბიოლოგიურად აქტიურ იონებს: რკინას, დარიშხანს და სხვ.;
- აირიანი წყლები.

წყლის მინერალიზაცია

ცხრილი 2

N/N	წყლის ჯგუფები მინერალიზაციის მიხედვით	გახსნილი ნივთიერებების შემცველობა, გ/ლ
1	სუსტი	2
2	მცირე	2–5
3	საშუალო	5–15
4	მაღალი	15–30
5	ნაჯერ	30–150
6	ზენაჯერ	>150

საქართველოში არსებული მინერალური წყლები : "ვაჟას წყარო", "ლუგელა", "სქური", "უწერა", "ყაზბეგი", ასევე ტყვარჩელისა და სხვა საბადოთა თერმული წყლები, წყალტუბოს სამკურნალო წყლები, ჯავის მინერალური წყლის საბადო, "ბორჯომი", "ნაბეღლავი", "საირმე", "ზვარე", თბილისის სამკურნალო წყალი, ნუნისისა და მახინჯაურის სამკურნალო წყლები და სხვ., "ცაიში", "ჯავამაუ", "ლაშიჭალა", "ლებარდე", "მახინჯაური", "ვარძია", "სულორი", "შოვი", "ლიკანი", "ავადჰარა"ვარძია- ნაქალაქევისა და ბოლნისის წყლები და სხვა [7].

1.2 სამკურნალო წყლების სახეობანი

1.2.1 აბასთუმნის სამკურნალო წყლები :

აბასთუმანში არსებობს სამი სახის წყარო :

- ✓ "გოლიათის";
- ✓ "გველის";
- ✓ "საყმაწვილო".

აბასთუმნის სამკურნალო წყლების იონური შემცველობა

ცხრილი 3

N/N	წყლის სახეობა	კათიონები		ანიონები	
		სახეობა	რაოდენობა, გ/ლ	სახეობა	რაოდენობა, გ/ლ
1	გოლიათის წყარო	K ⁺	0,0004	Cl ⁻	0,1377
		Na ⁺	0,1377	SO ₄ ²⁻	0,1639
		Ca ²⁺	0,0306	HSO ₄ ¹⁻	0,0037
		Mg ²⁺	0,0006	CO ₃ ²⁻	0,0048
		Fe ²⁺ , Fe ³⁺	0,0003		
2	გველის წყარო	K ⁺	0,0062	Cl ⁻	0,1047
		Na ⁺	0,1217	SO ₄ ²⁻	0,1211
		Ca ²⁺	0,0106	HSO ₄ ¹⁻	0,0037
		Mg ²⁺	0,0007	CO ₃ ²⁻	0,0141
		Fe ²⁺ , Fe ³⁺	0,0006		
3	საყმაწვილო წყარო	K ⁺	0,0063	Cl ⁻	0,1313
		Na ⁺	1371	SO ₄ ²⁻	0,1302
		Ca ²⁺	0,0243	HSO ₄ ¹⁻	0,0044
		Mg ²⁺	0,0002	CO ₃ ²⁻	0,0252
		Fe ²⁺ , Fe ³⁺	0,0010		

ჩატარებული ანალიზების შედეგად, ამ წყაროების ჯგუფი გაურკვეველია: მარილ-გოგირდ - ტუტოვანი, გოგირდოვანი თუ მინერალურ ხასიათის წყალი. ამჟამად, ინდიფერენტულ ანუ ქიმიურად განურჩეველ წყლებად (თერმი) აღიარებულია. წყაროების ქიმიური შედგენილობა მოყვანილია ცხრ.4 -ში [11].

აბასთუმნის სამკურნალო წყლების ქიმიური თვისებები

ცხრილი 4

N/N	წყაროები	მყარი ნივთიერების გახურება 120°C -დე	გახურებით დაკარგვის რაოდენობა	წყლის ტემპერატურა, °C	რადიექტივობა, მკ.	pH
1	გოლიათის წყარო	0,5440	0,0124	48,5	1,43	7,6
2	გველის წყარო	0,4300	0,0168	42°C	1,43	7,6
3	საყმაწვილო წყარო	0,520	0,026	39°C	0,48	7,6

აბსტუმანის წყლებით იმკურნება .:

- რევმატული დაავადებები;
- ღვიძლისა და ელენთის ქრონიკული დაავადებები ;
- ქრონიკული წყლულები ;
- სხვადასხვა ხასიათის კანის გამონაყარი;
- ლორწოვანი დაავადებები;
- ქრონიკული ჰიპერემიები.

1.2.2 გოგირდიანი თბილი წყლები მდებარეობენ ქ.თბილისის ძველ უბანში, სადაც ისტორიული ცნობების მიხედვით დაიწყო თვით ქ. თბილისის შენება [8,9]. გოგირდიანი წყლის მთავარი საბუდარი ადგილის „სეიდაბადის მაღლობის“ ნიადაგი უმეტესწილად ტუფოსილასა და ტუფოკონგლომერატისაგან შედგება. აღნიშნული ნივთიერებანი წარმოადგენენ მაღლობების ზედაპირზე ამოხეთქილ ძველი დროის ვულკანურ მასებს.

არსებობს გოგირდიანი წყლები: თბილი და ცივი. წყლის მინერალობა, სრულიად დამოუკიდებელია იმ ნიადაგიდან, რომელშიც გოგირდის წყლებს უხდება გავლა, ვიდრე ის დედამიწის ზედაპირზე ამოვიდოდეს.

თბილისის გოგირდიანი წყლების განსაკუთრებული თვისება მდგომარეობს იმაში, რომ ეს წყლები შეიცავენ დიდი რაოდენობით მეტანს - CH_4 . მიუხედავად იმისა, რომ ქ.თბილისის ნიადაგში ცივი გოგირდიანი წყლების ცირკულაცია ისინი მაინც შეიცავენ მეტ გახსნილ მარილებს, ვიდრე ცხელი გოგირდიანი წყლები. ყველაზე მეტად გოგირდიანი ცივი წყაროები შეიცავენ გოგირდმჟავა კირი, K და Mg..

გოგირდიანი წყლების ქიმიური შემადგენლობა: თბილისის გოგირდიანი წყლები თავისი მუდმივი ქიმიური შემადგენლობით (ცხრ.5.6) და ტემპერატურით ეკუთვნის გოგირდ-ტუტოვან თერმებს და წარმატებით გამოიყენება სხვადასხვა ქრონიკულ დაავადებათა სამკურნალოდ [10].

ამ წყლით იმკურნება :

- ✓ მოძრაობის ორგანოთა დაავადებები;
- ✓ გულ-სისხლძარღვთა სისტემის დაავადებები ;
- ✓ ნერვული სისტემის დაავადებები .

გოგირდიანი წყლის ქიმიური შემადგენლობა

ცხრილი 5

N/N	ქიმიური ელემენტები	რაოდენობა (გ/ლ)
1	Na	0,04903
2	Na ₂ O	0,0293
3	K ₂ O	0,0296
4	CaO	0,0120
5	MgO	0,029
6	Al ₂ O ₃	0,0002
7	FeO	0,0002
8	Cl	0,562
9	J	0,00019
10	Br	კვალი
11	S	0,087
12	SO ₃	0,0137
13	CO ₂	0,0398
14	SiO ₂	0,0430
ჯამი		0,28482

გოგირდიანი წყლის თვისებები

ცხრილი 6

H ₂ CO ₃	H ₂ S	ნარჩენი მკვრივი ნივთიერებები,	გახურების დროს დახარჯულ ნივთიერებათა რაოდენობა	ორგანული ნივთიერება	წყლის ტემპერატურა, °C	რადიოაქტივობა
-	0,0022	0,299	0,032	0,024	41°C	0,26

1.2.3 „ვეძა“

ფასანაურის რაიონ სოფელ ნადიბანში მიწიდან ამოდის მინერალებითა და რკინით (Fe) გაჯერებული წყალი „ვეძა“. ქვეები და ქვიშა დაჟანგულია და ყვითელი ნადებითაა დაფარული, იგი სასარგებლოა ორგანიზმისთვის განსაკუთრებით კუჭისთვის [11].



1.2.4 „ფლატე“

ფლატე - სოფელი ადიგენის მუნიციპალიტეტში, მლაშეს თემში, მდინარე ქვაბლიანის მარცხენა ნაპირზე, მესხეთის ქედის სამხრეთ-დასავლეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 1420 მ. სოფელში მოიპოვება მინერალური, ნატურალური სუფრის გაზირებული წყალი.

ქიმიური შედგენილობა [12]:

- ✓ ჰიდროკარბონატები (HCO_3)
- ✓ ნატრიუმი (Na);
- ✓ კალციუმი (Ca);
- ✓ მაგნიუმი (Mg)



გამოიყენება, სუფრისათვის და ქრონიკული დაავადებების პროფილაქტიკის მიზნით.

1.2.5 „ლიკანი“

მიწიდან ამოხეთქილი მინერალებით გაჯერებული, კამკამა წყალი „ლიკანი“, შეიცავს ბუნებრივ ნახშირორჟანგს (CO_2), რომელიც ხელს უწყობს მინერალური წყლის 1500მ. სიღრმიდან ამოსვლას და ანიჭებს მას განუმეორებელ, რბილ გემოს. ლიკანი ბუნებრივი გაზირების საშუალებით საუკეთესოდ კლავს წყურვილს და აგრილებს. „ლიკანის“ მინერალურ წყლის საბადოს მთავარი განმასხვავებელი ნიშანია - Ca და Mg ჰიდროკარბონატების შემადგენლობის განსაკუთრებული კომბინაციაა. [11,14] .

1.2.6 „საირმე“ - „საირმე“ - ნახშირორჟანგიანი (CO_2), ჰიდროკარბონატული (NaHCO_3 და $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) სამკურნალო და სუფრის მინერალური წყალი. საბადო მდებარეობს ბაღდათის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე. წყლის მინერალიზაცია იცვლება 1,6 - 9,5 გ/ლ-ფარგლებში. საბადოს წლიური დებიტი დაახლოებით 700 ლ. შეადგენს. სამკურნალოდ იყენებენ როგორც ადგილზე, ისე ბოთლებში ჩამოსხმულს. საბადოს ბაზაზე მუშაობს კურორტი „საირმე“ და წყლის ჩამოსასხმელი ქარხანა [11,12].

სამედიცინო ჩვენება: საშარდე გზებისა და საჭმლის მომნელებელი ორგანოების ქრონიკული დაავადებანი.

1.2.7 „ზვარე“ - მინერალური სამკურნალო სასმელი წყალია. წყლის საბადო მდებარეობს სოფლების ზვარისა და ჩრდილის საზღვარზე. ზვარის მინარალური წყალი ქიმიური შემადგენლობით მიეკუთვნება ნახშირმჟავა- ქლორიდულ -ჰიდროკარბონატულ [11,15]. , კალციუმ - ნატრიუმთან წყლებს.

სამედიცინო ჩვენება: მას იყენებენ საჭმლის მომნელებელი ორგანოთა დაავადების სამკურნალოდ.

1.2.8 „ლოგელა“



ლუგელა მდებარეობს სოფელ მუხურის ჩრდილო დასავლეთით. მისგან მზადდება და აფთიაქებში იყიდება კბილის პასტა, გამოიყენება Ca^{2+} იონის დეფიციტისას, მისი ხსნარი გამოიყენება ჭრილობების დასამუშავებლად. ლუგელა შეიცავს 54,9 გრ./ლ CaCl_2 და ინიშნება ასევე, როგორც 10% CaCl_2 . იხმარება სასმელად [16].

მედიცინაში გამოიყენება : ტუბერკულოზის, სხვადასხვა წარმოშობის პლევრიტის, ჰემორაგიული დიათეზის სამკურნალოდ.

1.2.9, „ნაბელავი“

ნაბელავი ნახშირორჟანგის (CO_2), ჰიდროკარბონატული (NaHCO_3) სამკურნალო და სუფრის მინერალური წყალი, „ბორჯომის“ უახლოესი ანალოგი. საბადო მდებარეობს ჩოხატაურის მუნიციპალიტეტის სოფელ ნაბელავის მიდამოებში, მდინარე გუბაზეულის ორივე ნაპირზე. წყარო გამოდის შუაეოცნური ვულკანოგენური წყლებიდან. მოქმედებს ერთი ჭაბურღილი, რომლის დებიტია 600-700 ათ.ლ/დღე-ღამეში, ასხამენ ბოთლებში [11].



იყენებენ : საჭმლის მომწელებელ ორგანოთა, ღვიძლის, ნაღვლისა და შარდის სადინარების დაავადებათა, აგრეთვე ნივთიერებათა ცვლის მოშლის დროს.

1.2.10, „ლაშიჭალა“

ლაშიჭალა ადგილობრივი მნიშვნელობის ბალნეოლოგიური კურორტი ცაგერის რაიონში, მდინარე ლაჯანურის ხეობაში, ზღვის დონიდან 800 მ. ჰავა რბილია, თითქმის უთოვლო ზამთარი და თბილი, ზომიერად ნოტიო ზაფხული.



მიეკუთვნება ნახშირმჟავა-ჰიდროკარბონატული მაგნიუმ კალციუმის მინერალურ წყალს, მინერალიზაციით - 0,8-1,2 გ/ლ, ტემპერატურა 13-15°C, საერთო დებიტი - 12000 ლ დღე-ღამეში. იყენებენ სასმელად და აბაზანებისათვის [11,17].

სამედიცინო ჩვენება : საჭმლის მომნელებელი ორგანოთა ქრონიკული დაავადებანი.

1.2.11. „ბუშა“



ნახშირმჟავა-ჰიდროკარბონატული კალციუმ-ნატრიუმის მინერალური წყალია, მინერალიზაციით - 2,1 გ/ლ; ტემპერატურა 9°C; დებიტი 13 ლ/დღეღამეში. იყენებენ სასმელად და აბაზანებისათვის. *სამედიცინო ჩვენება*: საჭმლის მომნელებელი ორგანოების, სახსრებისა და პერიფერიული ნერვული სისტემის დაავადებისთვის.

2.ექსპერიმენტალური მონაცემები

2.1 კვლევის ობიექტები

კვლევა წარმოებდა :

- ✓ გორთუბნის;
- ✓ ნამინაურის(ადიგენი);
- ✓ დანისპარაულის;
- ✓ დანდალოს;
- ✓ მახინჯაურის (აჭარა)

სამკურნალო წყლებზე, რომლებსაც გააჩნია შემდეგი სამკურნალო თვისებები:

- ✓ გოგირდოვანი წყლები : დანდალო, მახინჯაური - სოკოვანი დაავადებების სამკურნალო;
- ✓ ნამინაურის, გორთუბნის და დანისპარაულის სამკურნალო წყლები-სახსრების და კუჭის სამკურნალო წყლები;

ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლების: ტიტრული მჟავიანობა, მშრალი ნივთიერებების, გოგირდის, ქლორიდების, ჰიდროკარბონატების, ნიტრატების, ამონიუმის, მძიმე ლითონების შემცველობა, pH და ელექტროგამტარობა. ეს პარამეტრები ისაზღვრებოდა ნედლ წყალში და ულტრაფილტრაციის შედეგად მიღებულ ფილტრატსა და კონცენტრატში.

ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლების ულტრაფილტრაციული პროცესის მწარმოებლურობა, მისი დამოკიდებულება დროზე, წყლის სახეობაზე. ფილტრატსა და კონცენტრატში ისაზღვრებოდა ტიტრული მჟავიანობა, მშრალი ნივთიერებების, გოგირდის , ქლორიდების, მძიმე ლითონების შემცველობა და ელექტროგამტარობა. ყველა ჩამოთვლილი პარამეტრები ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლის სახეობაზე, წარმოშობის რაიონზე და ულტრაფილტრაციის პროცესზე დამოკიდებულებით.



გორთუბნის წყალი



ნამინაურის წყალი



დანისპარაულის წყალი

2.2. კვლევის მეთოდოლოგია

2.2.1 მშრალი ნივთიერებების რაოდენობების განსაზღვრა

ტარდებოდა რეფრაქტომეტრიული მეთოდით : ისაზრვებოდა გარდატეხვის კოეფიციენტი სამკურნალო წყლებში. რეფრაქტომეტრი: ATAGO

2.2.2 ტიტრული მჟავიანობის განსაზღვრა.

ტიტრული მჟავიანობა C_H , მმოლ. H^+ /დმ³, გამოითვლებოდა ფორმულით :

$$C_{H^+} = 1000V_1 \cdot C / V_0$$

სადაც:

- ✓ V_1 - გატიტვრაზე დახარჯული NaOH- ის მოცულობა, სმ³;
- ✓ C - NaOH - ის ხსნარის კონცენტრაცია, მოლ./ლ.;
- ✓ V_0 - სინჯის მოცულობა, აღებული ანალიზისათვის, სმ³ (1 მლ.).

2.2.3 გოგირდის განსაზღვრა

ანალიზისთვის აღებული იყო 20 მლ საკვლევი წყალი, მას ემატებოდა 0,2 გ KI- ის ფხვნილი, ენერგიული ანჟღრევის პირობებში ინდიკატორი - სახამებლის ხსნარის თანდასწრებით იტიტრებოდა 0,01N I₂ ხსნარით ცისფერი შეფერილობის მიღებამდე , რომელიც არ უფერულდებოდა 20 წამის განმავლობაში. შემდეგ მზადდებოდა საკონტროლო სინჯი , როგორც საკვლევი ხსნარი იმ განსხვავებით ,რომ მას ემატებოდა იმდენივე რაოდენობის 0,01N I₂ ხსნარი, ემატებოდა ზედმეტად 1 მლ და იტიტრებოდა 0,1N N₂ S₂O₃ ხსნარით გაუფერულდებამდე.

გოგირდის შემცველობა გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$C = \frac{(V_1 \cdot H_1 \cdot V_2 \cdot H_2) \cdot 17 \cdot 1000}{V}$$

სადაც:

- ✓ H_1 - იოდის ხსნარის ნორმალობა ;
- ✓ V_1 - იოდის ხსნარს დამატებული საერთო მოცულობა (მლ);
- ✓ $H_2 - Na_2S_2O_3$ ხსნარის ნორმალობა (0,1N);
- ✓ $V_1 - Na_2S_2O_3$ ხსნარის მოცულობა, დახარჯული იოდის სიჭარბის გატიტვრაზე;
- ✓ 17 - H_2S -ის ექვივალენტური წონა (გრამი/მოლი);
- ✓ 1000 - მლ-ის გადაყვანა ლიტრებში;
- ✓ V - სინჯის მოცულობა (მლ);

2.2.4 ქლორიდების განსაზღვრა:

ანალიზისთვის აღებული იყო 100 მლ საკვლევი წყალი და 5% K_2CrO_4 ინდიკატორის დასწრებით იტიტრებოდა 0,01N $AgNO_3$ - ის ხსნარით ნარინჯისფერ -წითელ შეფერილობამდე, რომელიც არ ქრებოდა 20 წამის განმავლობაში.

ქლორიდების შემცველობა გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$K = V_0 \cdot K \cdot 0,355 \cdot 1000 / V$$

სადაც:

- ✓ 1000 - მლ-ის გადაყვანა ლიტრებში;
- ✓ V - სინჯის მოცულობა, მლ.;
- ✓ V_0 - გატიტვრაზე დახარჯული 0,01N $AgNO_3$ - ის მოცულობა, მლ;
- ✓ K - პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც გამოითვლებოდა შემდეგნაირად:

აღებული იყო 10 მლ 0,01 N $NaCl$, ემატებოდა 90 მლ საკვლევი წყალი და ინდიკატორის - 5% K_2CrO_4 დასწრებით იტიტრებოდა 0,01N $AgNO_3$ - ის ხსნარით ნარინჯისფერ-წითელ შეფერილობამდე, რომელიც არ ქრებოდა 20 წამის განმავლობაში, კეთდებოდა სამი პარალელური ნიმუში .

K - ს ნმიშენელობა გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$K = 30 / V_1 + V_2 + V_3$$

სადაც : V_1, V_2, V_3 - გატიტვრაზე დახარჯული 0,01N $AgNO_3$ - ის მოცულობა.

2.2.5 წყლის ელექტროგამტარობის განსაზღვრა

ისაზღვრებოდა კონდუქტომეტრიული მეთოდით, „Lasany“-ის კონდუქტომეტრზე.

2.2.6. წყლის საერთო სიხისტის განსაზღვრა

საერთო სიხისტე განპირობებულია წყალში Ca^{2+} და Mg^{2+} საერთო შემცველობით. მეთოდი დაფუძნებულია ტრილონ- B-ს კომპლექსური ნაერთის წარმოქმნით Ca^{2+} და Mg^{2+} იონებიდან. არსებული ნორმატივებით სასმელი წყლის საერთო სიხისტე არ უნდა აღემატებოდეს 7 მგ-ეკვ/ლ.

საერთო სიხისტის განსაზღვრისათვის საკვლევ წყალს ემატებოდა 5 მლ. 0,05N ბუფერული ხსნარი (pH= 10) და ინდიკატორი- ქრომოგენშავის დასწრებით იტიტრებოდა 0,05N ტრილონ- B-თი ლურჯი შეფერილობის მიღებამდე .

საერთო სიხისტე გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$X = V \cdot N \cdot K \cdot 1000 / V_0$$

სადაც :

- ✓ N - ტრილონ- B -ს ნორმალობა;
- ✓ V - ტრილონ- B -ს მოცულობა, მლ;
- ✓ V_0 - საანალიზოდ აღებული წყლის მოცულობა, მლ.;
- ✓ K - შესწორების კოეფიციენტი რომლის განსაზღვრისთვის აღებული იყო MgSO_4 - ის 10მლ, რომელიც ივსებოდა 100 მლ-მდე საკვლევ წყლით, ემატებოდა 5- მლ ბუფერული ხსნარი (pH= 10) და ინდიკატორი- ქრომოგენშავის დასწრებით იტიტრებოდა 0,05N ტრილონ- B-თი ლურჯი შეფერილობის მიღებამდე. შესწორების კოეფიციენტი გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$K = V/V_0$$

სადაც:

- ✓ V - ტრილონ- B -ს მოცულობა, ლ;
- ✓ V_0 - საანალიზოდ აღებული წყლის მოცულობა, მლ.

2.2.7 ჰიდროკარბონატების განსაზღვრა ტარდებოდა გოსტი 31957-2012 მიხედვით.

50 მლ საანალიზო წყალი შევავსოთ 100მლ-მდე დისტილირებული წყლით. ვამატებთ 2-3 წვეთ ინდიკატორ 0,1% მეთილნარინჯს და ვტიტრავთ 0,15 მარილმჟავას ხსნარით ყვითელი შეფერილობის ღია ვარდისფერ შეფერილობაში გადასვლამდე.

$$X = V(\text{HCl}) \cdot N \cdot 61 \cdot 1000 / V = V(\text{HCl}) \cdot 122$$

სადაც :

- ✓ V (HCl)-საკვლევი სინჯის გატიტვრაზე დახარჯული მარილმჟავას მოცულობა, მლ;
- ✓ N- მარილმჟავას ხსნარის ნორმალობა;
- ✓ V - აღებული საკვლევი წყლის მოცულობა, მლ-ში;
- ✓ 61 - ჰიდროკარბონატ-იონების გრამ-ექვივალენტი

ჰიდროკარბონატ-იონების კონცენტრაციის მგ/ლ-დან მგ-ექვ/ლ-ში გადასაყვანად
ვამრავლებთ 0,01639 კოეფიციენტზე

2.2.8 ამონიუმის იონის განსაზღვრა

ისაზღვრებოდა HACH - LCK 304 მეთოდით. ვიღებთ კიტს DosiCap Zip, ვხსნით დამცავ ფოლგას და ხრახნიან თავს, ვამატებთ საკვლევ ნიმუშს 5,0მლ, ვახურავთ სწრაფად ხრახნიან თავს. ვიჭერთ კიტს ვერტიკალურად და ვანჯღრევთ, ვაყოვნებთ 15 წთ. დროის გასვლის შემდეგ ვწმენდთ კიტს გარედან გულმოდგინედ და ვათავსებთ სპექტოფოტომეტრში. შთანთქმის უნარი იზომება სპექტოფოტომეტრით 694ნმ ტალღის სიგრძეზე. შედეგი გამოისახება ავტომატურად ეკრანზე

2.2.9 ნიტრატების განსაზღვრა

ისაზღვრებოდა HACH - LCK 339 მეთოდით.

ვიღებთ კიტს, ვხსნით ხრახნიან თავს, ვამატებთ საკვლევ ნიმუშს 1,0მლ და 0,2 მლ ხსნარი A ჭურჭლიდან. ვახურავთ სწრაფად ხრახნიან თავს. შევანჯღრევთ 2-3ჯერ ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში და ვაყოვნებთ 15 წთ. დროის გასვლის შემდეგ ვწმენდთ კიტს გარედან საფუძვლიანად და ვდებთ სპექტოფოტომეტრში. შედეგი გამოისახება ავტომატურად ეკრანზე.

2.2.10 სულფატების შემცველობის განსაზღვრა

ისაზღვრებოდა HACH-Method 8051.

ანალიზის ჩასატარებლად იღებენ ორ 10 მლ–იან ამზომს, მინის ერთ კიუვეტში ასხამენ 10 მლ. საკვლევ წყალს, ხოლო მეორეში (blank-ი ანუ კონტროლი) 10 მლ გამოხდილ წყალს. ორივე კიუვეტში ემატება Sulfa Ver® 4 Sulfate Reagent თითო პაკეტი, ყოვნდება 5 წთ., როდესაც ტაიმერი გაჩერდება, ბლანკის კიუვეტი იწმინდება და თავსდება კიუვეტის დამჭერში. ჯერ ვაჭერთ ლილაკს Zero და ეკრანზე გამოისახება 0,0 მგ.ლ SO₄. შემდეგ ნიმუშით კიუვეტი თავსდება კიუვეტის დამჭერში, Read ლილაკის დაჭერით ეკრანზე მიიღება შედეგი. შთანთქმის უნარს იზომება 450 ნმ. ტალღის სიგრძეზე.

2.2.11 მძიმე ლითონების შემცველობის განსაზღვრა.

მძიმე ლითონები ისაზღვრებოდა პლაზმურ ატომურ ემისიურ სპექტომეტრზე ICPE- 9820.

2.2.12 ულტრაფილტრაციული პროცესის მწარმოებლურობის განსაზღვრა

ტანგენციალური ფილტრაცია ტარდებოდა VIII-06 დანადგარზე დინამიურ რეჟიმში, ულტრაფილტრაციული გამყოფი აპარატის AP-2.0 გამოყენებით. პროცესის მწარმოებლურობა ისაზღვრებოდა ერთ საათში მიღებული წყლის პერმეატის მოცულობით მემბრანის 1 მ² ფართობიდან და გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$W = V / S \cdot \tau \quad (1)$$

სადაც: V - შრატის პერმეატის მოცულობა, მლ;

S - მემბრანის ფართობი, მ² ;

τ - ფილტრაციის ხანგრძლიობა, სთ.

2.2.13 pH განსაზღვრა

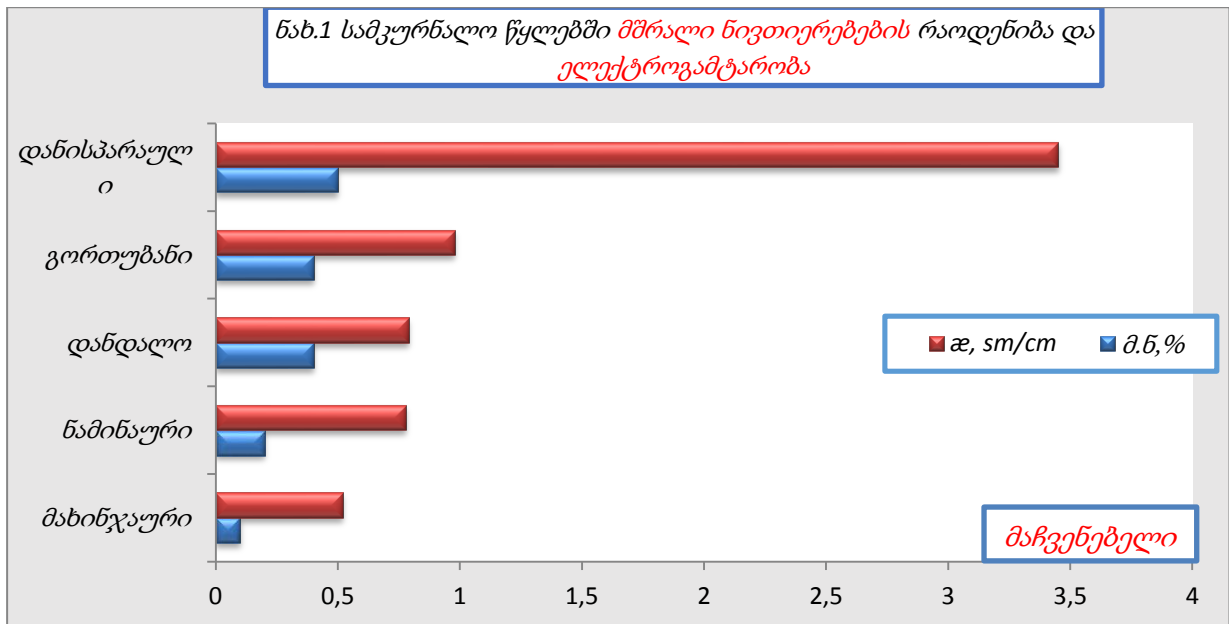
pH ისაზღვრებოდა სტაციონალურ pH-მეტრზე S20-KS SevenEasy (Mettler Toledo, შვეიცარია). წყალბადური მაჩვენებლის pH-ის განსაზღვრა დაფუძნებულია სამკურნალო წყალში ჩაშვებული 2 ელექტროდებს შორის (გამზომის და შედარების) პოტენციალთა სხვაობის გაზომვაზე.

2.3 ექსპერიმენტალური მონაცემები და მათი განხილვა

კვლევა წარმოებდა : გორთუბნის, ნამინაურის(ადიგენი), დანისპარაულის,დანდალოს მახინჯაურის (აჭარა). ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლების: ტიტრული მჟავიანობა, მშრალი ნივთიერებების, გოგირდის, ქლორიდების, ჰიდროკარბონატების, ნიტრატების, ამონიუმის, მძიმე ლითონების შემცველობა, pH და ელექტროგამტარობა. ეს პარამეტრები ისაზღვრებოდა ნედლ წყალში და ულტრაფილტრაციის შედეგად მიღებულ ფილტრატსა და კონცენტრატში.

სამკურნალო წყლებში განისაზღვრა მშრალი ნივთიერებების რაოდენობა და ელექტროგამტარობა. მიღებული მონაცემები მოყვანილია ნახ.1-4.

დადგენილია: ელექტროგამტარობის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი აქვს დანისპარაულის წყალს და ყველაზე დაბალი - მახინჯაურის (ნახ.1) , რაც მოწმობს მარილების ამაღლებულ რაოდენობაზე დანისპარაულის წყალში : 7-ჯერ მეტია ვიდრე მახინჯაურის წყალში, 3.5-ჯერ - გორთუბნის, წყალზე და 3- ჯერ დანდალოს და ნამინაურის წყალში.



ელექტროგამტარობის (sm/cm) ზრდის მიხედვით სამკურნალო წყლები განლაგდება რიგში (ნახ.1):

მახინჯაური(0.52)-> ნამინაური(0,78)-> დანდალო(0,79), გორთუბანი(0.98)-> დანისპარაული(3.45).

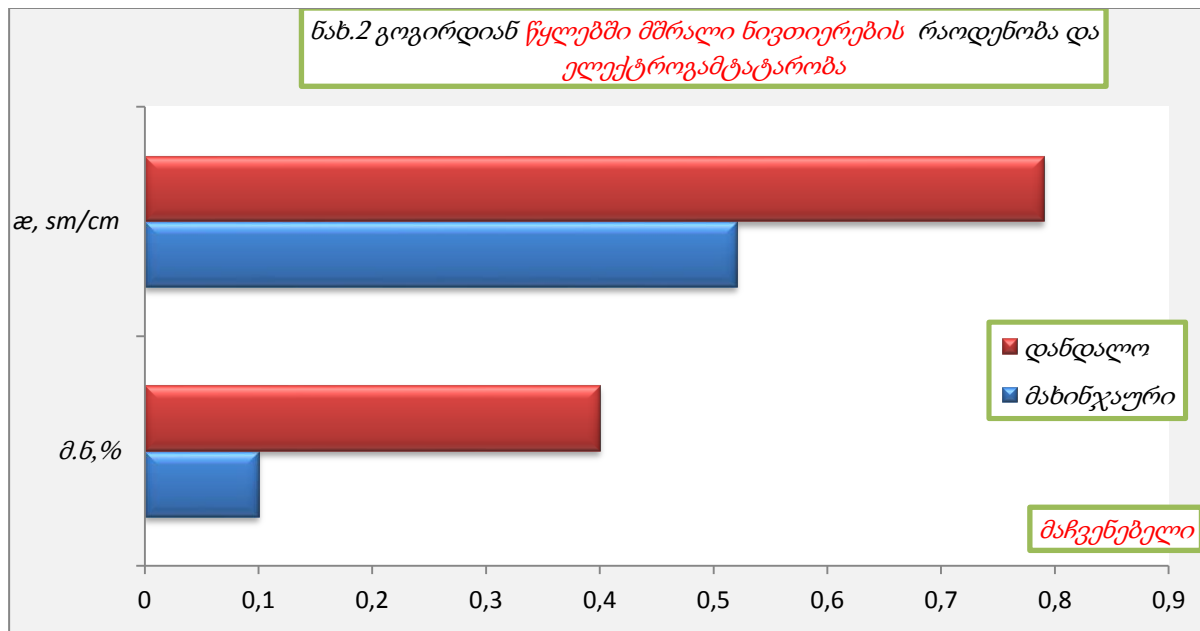
მშრალი ნივთიერებების რაოდენობა, როგორც ელექტროგამტარობა, ყველაზე მეტია დანისპარაულის და ნაკლები - მახინჯაურის წყალში (ნახ. 1).

მშრალი ნივთიერებების რაოდენობის(%) ზრდის მიხედვით მიიღება შემდეგი რიგი:

მახინჯაური(0.1)-> ნამინაური(0.2)-> დანდალო(0,4)=გორთუბანი(0.4)-> დანისპარაული (0,5).

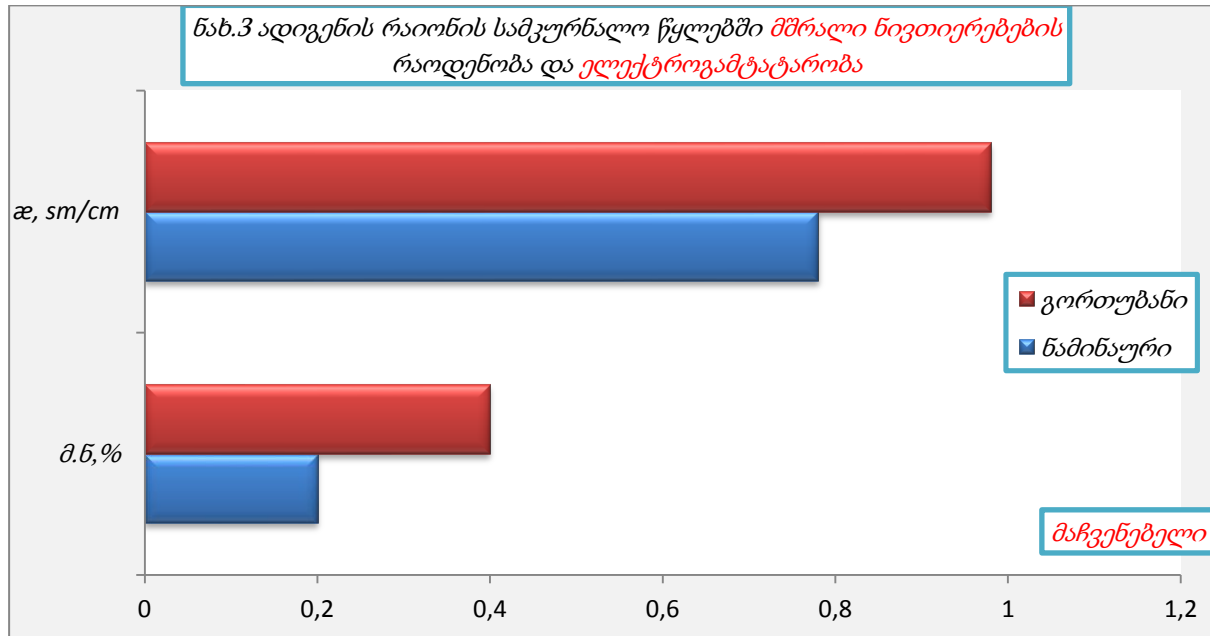
თუ შევადარებთ ერთნაირი სამკურნალო დანიშნულების სხვადასხვა რაიონების წყლებს :

- ✓ გოგირდშემცველ წყლებში (დანდალო, მახინჯაური), რომელსაც მოსახლეობა იყენებს სოკოვანი დაავადების სამკურნალოდ, დანდალოს წყალი (ნახ. 2), მახინჯაურის წყალთან შედარებით, გამოირჩევა მაღალი ელექტროგამტარობით ანუ მაღალი - 2-ჯერ მეტი მარილიანობით და 5-ჯერ მეტი მშრალი ნივთიერებების რაოდენობით;
- ✓ ადიგენის რაიონის ორივე სამკურნალო წყალი (გორთუბანი, ნამინაური) გამოიყენება მოსახლეობის მიერ კუჭ-ნაწლავის და სახსრების სამკურნალოდ, გორთუბნის წყალს დამატებით იყენებენ ოფტალმოლოგიური პრობლემების მოსაწესრიგებლად.



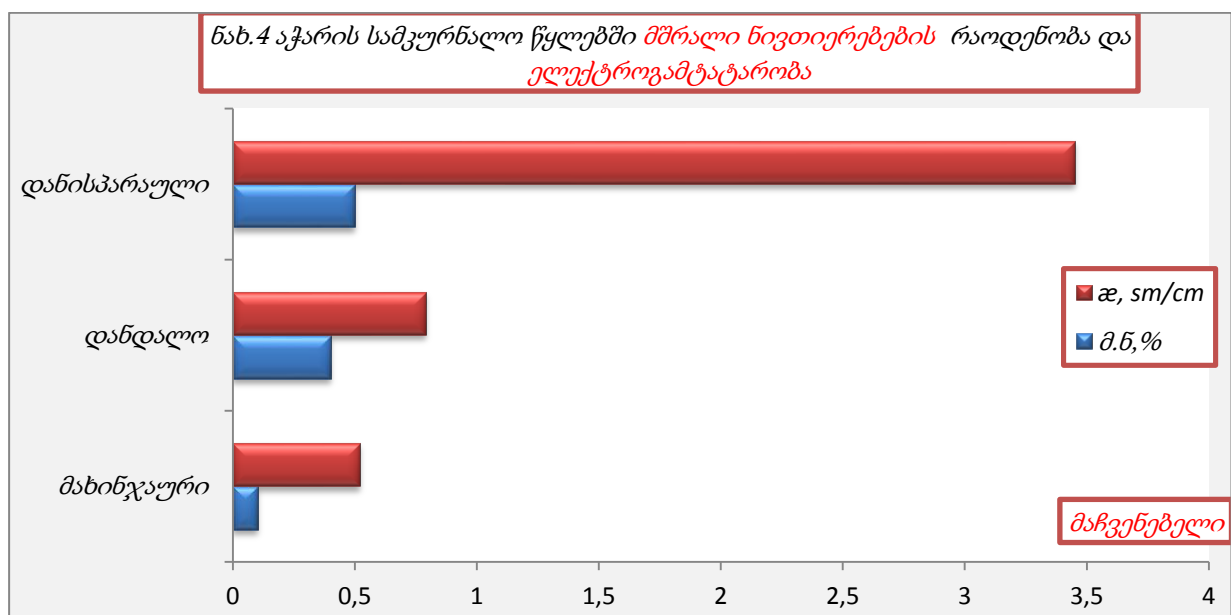
დადგენილია : ელექტროგამტარობა და მშრალი ნივთიერებების რაოდენობა მეტია გორთუბნის წყალში (ნახ.3), კერძოდ ელექტროგამტარობა 2.5-ჯერ და მშრალი ნივთიერება 4-ჯერ. აქედან გამომდინარე, შეიძლება გამოიტანოს დასკვნა: გორთუბნის წყალი ძალიან მარილიანია და შეუძლებელია მისი გამოყენება სახსრების სამკურნალოდ. როგორც

მარილიანი წყალი, ის შეიძლება გამოიყენოს, ანტისეფტიკური საშუალების სახით თვალების ანთების სამკურნალოდ, მაგრამ საეჭვოა - რამდენად გამართლებულია მარილიანი წყლის გამოყენება ამ მიზნით.

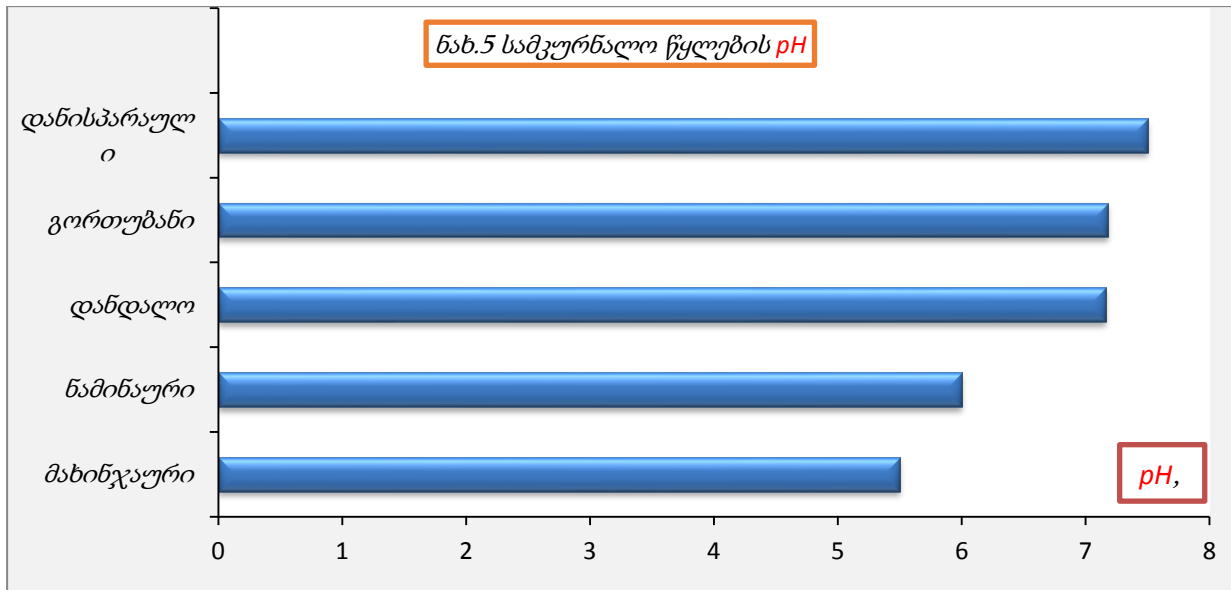


ნახ.4-ზე შედარებულია აჭარის სამკურნალო წყლები.

დადგენილია: ელექტროგამტარობით და მშრალი ნივთიერებების რაოდენობით გამოირჩევა დანისპარაულის წყალი.



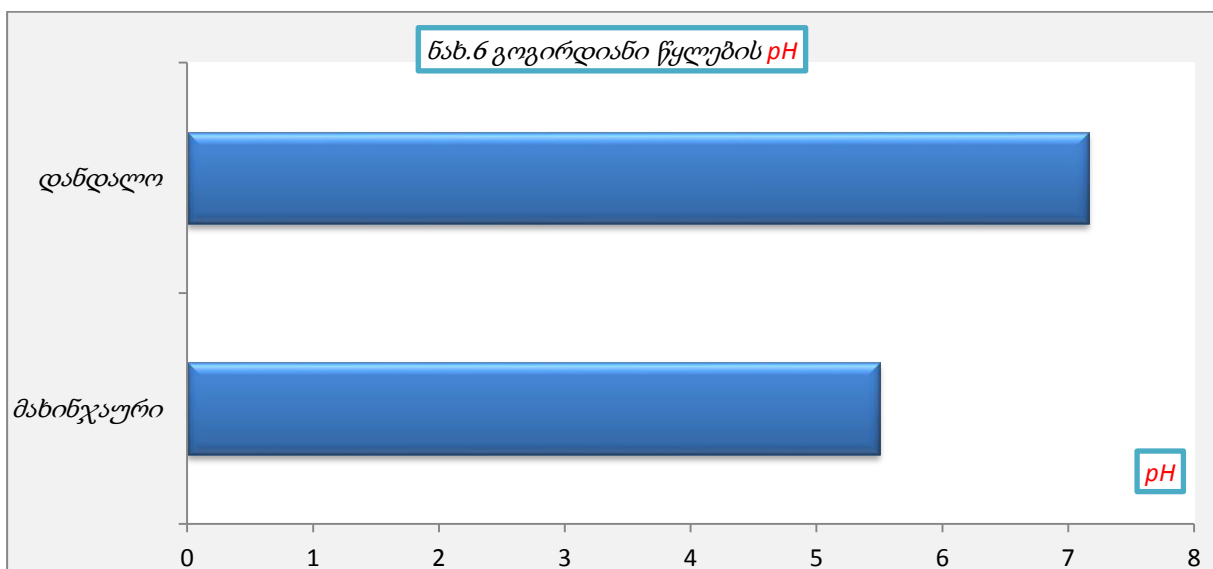
ძალიან მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია, სამკურნალო წყლების გამოყენებისას, წყლის pH. მიღებული მონაცემები მოყვანილია ნახ. 5-8-ზე.



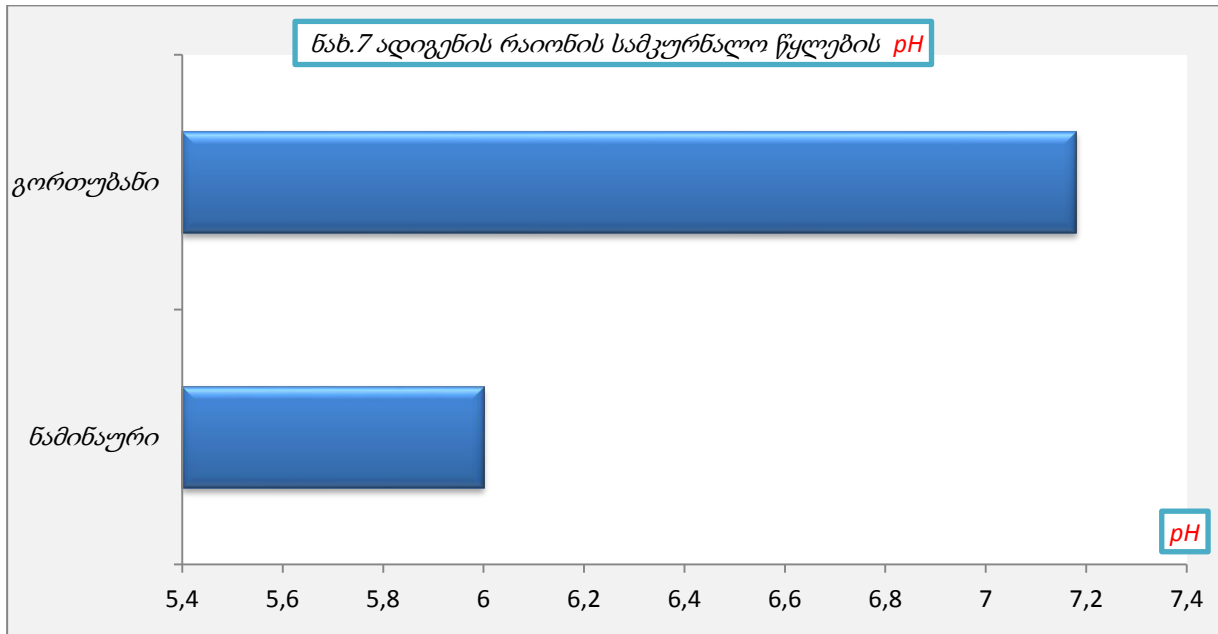
დადგენილია: ყველაზე მაღალი pH გააჩნია დანისპარაულის წყალს, მისი $pH > 7$, ანუ წყალს აქვს სუსტი ფუძე გარემო. რაც ეხება დანარჩენ სამკურნალო წყლებს, მათ აქვთ ნეიტრალური გარემო და pH-ის ზრდის მიხედვით ისინი განლაგდებიან რიგში (ნახ.5):

მახინჯაური(5.5) -> ნამინაური(6) -> დანდალო (7.16) -> გორთუბანი(7.18) -> დანისპარაული (7.5)

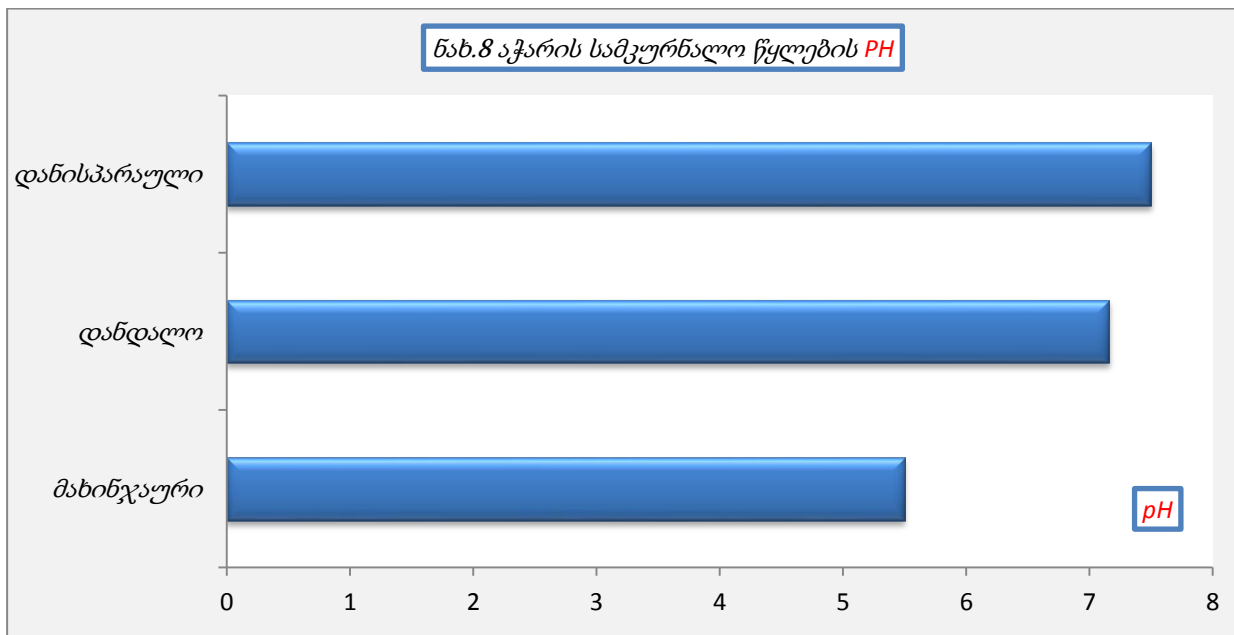
თუ შევადარებთ დანდალოს და მახინჯაურის წყალს (ნახ.6), რომლებიც გამოიყენება სოკოვანი დაავადების სამკურნალოდ, მახინჯაურის წყლის pH ნაკლებია, ვიდრე დანდალოს. ცნობილია, რომ სოკოს დაავადების სამკურნალოდ გამოიყენება დაბალი pH - ის ანუ მჟავე გარემოს მქონე საშუალებები. მიღებული მონაცემებით, მახინჯაურის წყალი უნდა იყოს უფრო ეფექტური მოქმედების, ვიდრე დანდალოს.



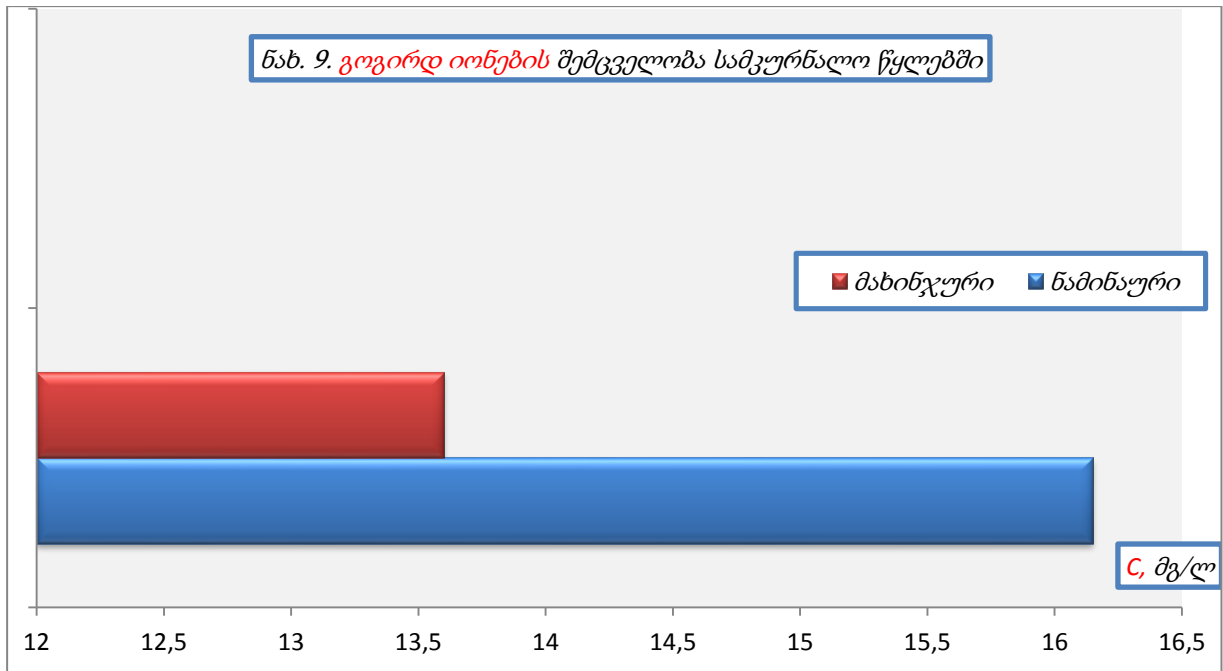
თუ შევადარებთ ადიგენის, გორთუბნის და ნამინაურის წყალს (ნახ.7) , მაღალი pH-ის მქონე გორთუბნის წყალი უფრო ეფექტური იქნება კუჭნაწლავის დაავადებების სამკურნალოდ, რადგან ტუტე გარემოს მქონე წყალი გაანეიტრალებს კუჭის მჟავიანობას.



აგრეთვე შევადარეთ აჭარის სამკურნალო წყლების pH (ნახ.8). დადგენილია: დანისპარაულის და დანდალოს წყლები შეიძლება გამოიყენოს, როგორც გორთუბნის წყალი, კუჭის მჟავიანობის შესამცირებლად.

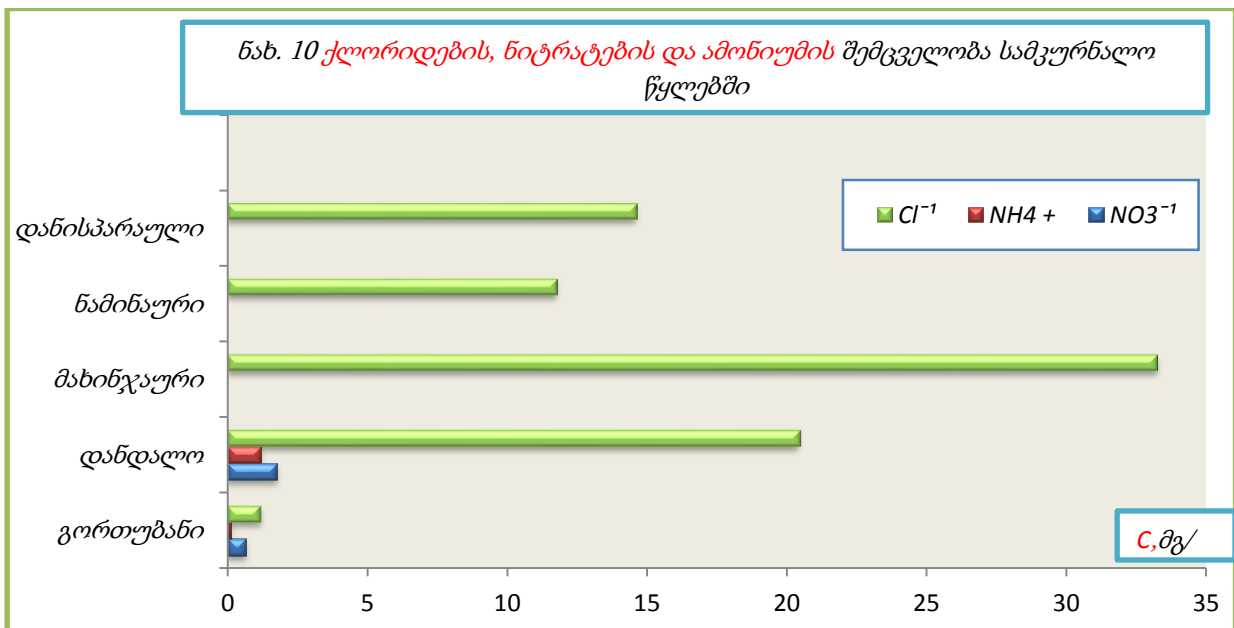


შემდეგ ისაზღვრებოდა S^2 შემცველობა გოგირდიან წყლებში (ნახ.9). დადგენილია: S^2 იონების შემცველობა ნამინაურის წყალში 20%-ით მეტია ვიდრე მახინჯაურის. ანუ სოკოვანი დაავადებების სამკურნალოდ უკეთესია ნამინაურის წყლის გამოყენება.



ნახ. 10-ზე მოყვანილია Cl^- , NO_3^- და NH_4^+ იონების შემცველობა სამკურნალო წყლებში. დადგენილია: NO_3^- და NH_4^+ იონები აღმოჩენილია მხოლოდ დანდალოს და გორთუბნის წყალში: NH_4^+ დანდალოს წყალში (1.17 მგ/ლ) 11.4 -ჯერ აღემატება მის რაოდენობას გორთუბნის წყალში (0.102 მგ/ლ).

ნორმით NH_4^+ იონის შემცველობა წყალში უნდა შეადგენდეს 0.5 მგ/ლ-ში. დადგენილია : დანდალოს წყალი შეიცავს ნორმაზე 2.5-ჯერ მეტ, გორთუბნის წყალი კი პირიქით ნორმაზე 5-ჯერ ნაკლებ NH_4^+ რაოდენობას .



NO_3^- იონების რაოდენობა კი დანდალოს წყალში (1.76) 3-ჯერ აღემატება მის რაოდენობას გორთუბნის წყალში (0.637 მგ/ლ). ნიტრატებს ნორმას შეადგენს 50 მგ/ლ. დადგენილია: დანდალოს წყალში NO_3^- რაოდენობა 25-ჯერ და გორთუბნის წყალში 75-ჯერ ნაკლებია ნორმაზე.

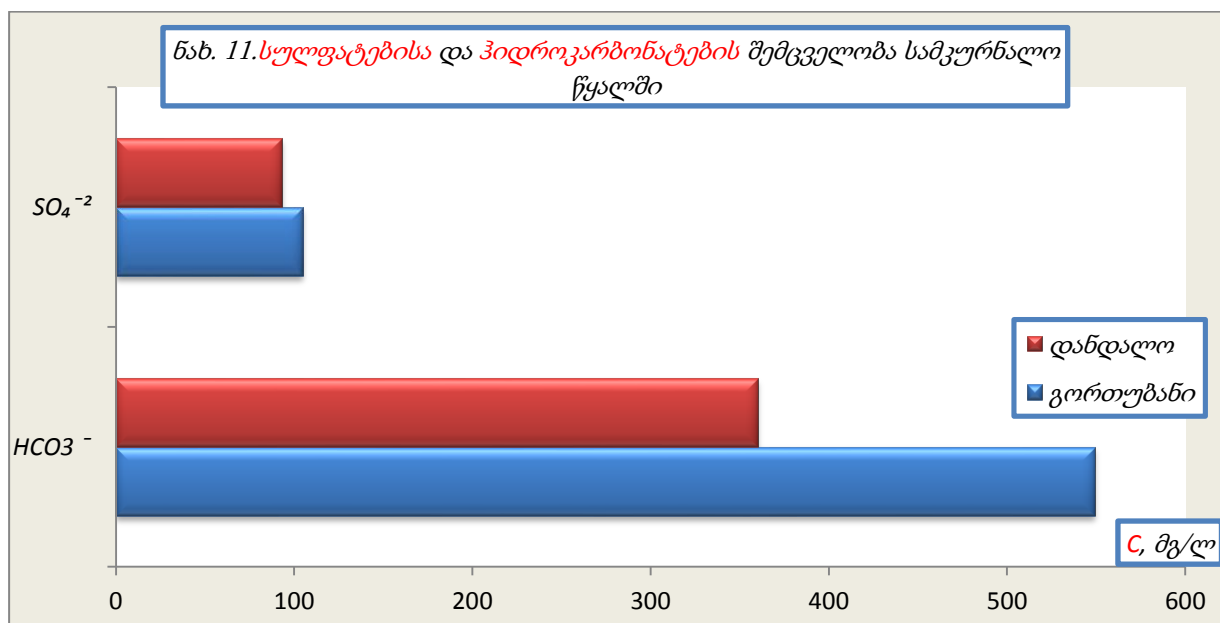
Cl⁻ იონები აღმოჩენილია ყველა სამკურნალო წყლებში და ზრდის მიხედვით განლაგდება რიგში:

გორთუბანი (1.2)-> ნამინაური(11.8)-> დანისპარაული (14.6)-> მახინჯაური (33.2).

Cl⁻ იონების ყველაზე მეტი რაოდენობით გამოირჩევა მახინჯაურის წყალი, რაც შეესაბამება მიღებულ pH-ის მონაცემებს და ამ ერთობლივი მონაცემების მიხედვით მახინჯაურის წყალი უნდა იყოს ეფექტური საშუალება სოკოვანი დაავადებების სამკურნალოდ. ნორმით ქლორიდების რაოდენობა შეადგენს 250 მგ/ლ, მიღებული მონაცემებიდან გამომდინარე, ყველა სამკურნალო წყალში ქლორიდების რაოდენობა 1-6-ჯერ ნაკლებია ნორმაზე,

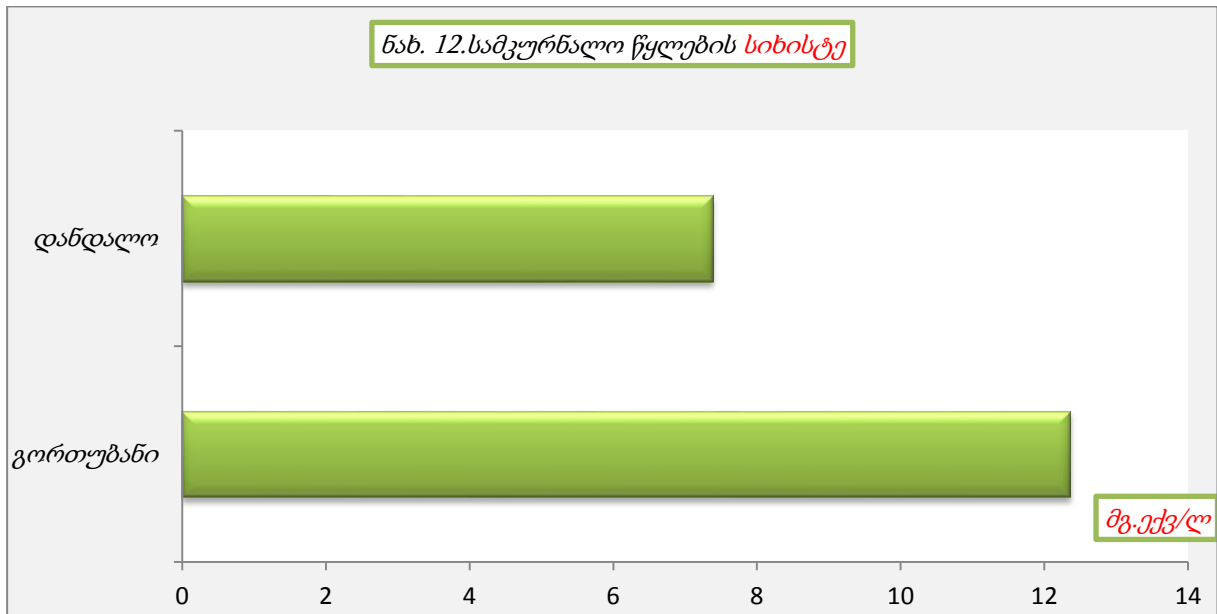
აგრეთვე ისაზღვრებოდა SO_4^{-2} და HCO_3^- შემცველობა სამკურნალო წყლებში (ნახ.11).

დადგენილია: გორთუბნის წყალში SO_4^{-2} და HCO_3^- -ის შემცველობა მეტია ვიდრე დანდალოს წყალში, სულფატების ნორმა შეადგენს 500 მგ/ლ-ში, ჰიდროკარბონატების 30-400 მგ/ლ-ში.



დადგენილია: SO_4^{-2} და HCO_3^- შემცველობა დანდალოს და გორთუბნის წყალში იმყოფება დადგენილი ნორმების ფარგლებში.

წყლის ერთ-ერთი მთავარი მაჩვენებელია - სიხისტე (ნახ.12). ნორმით წყლის სიხისტე უნდა შეადგენდეს 7-10 მგ-ექვ/ლ.



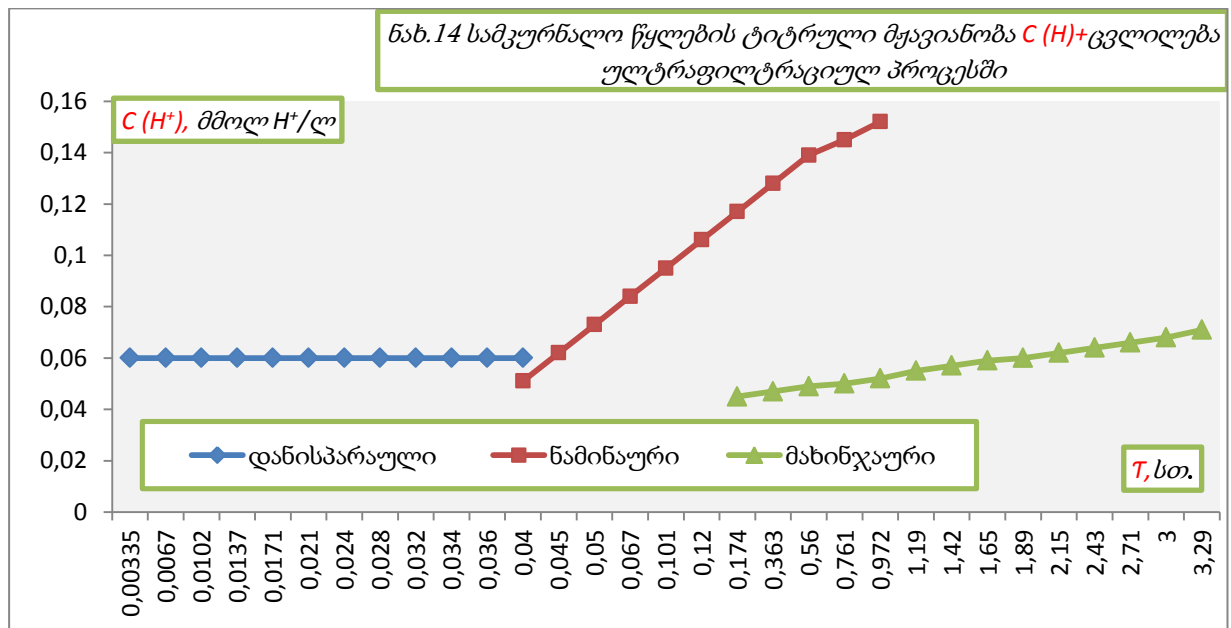
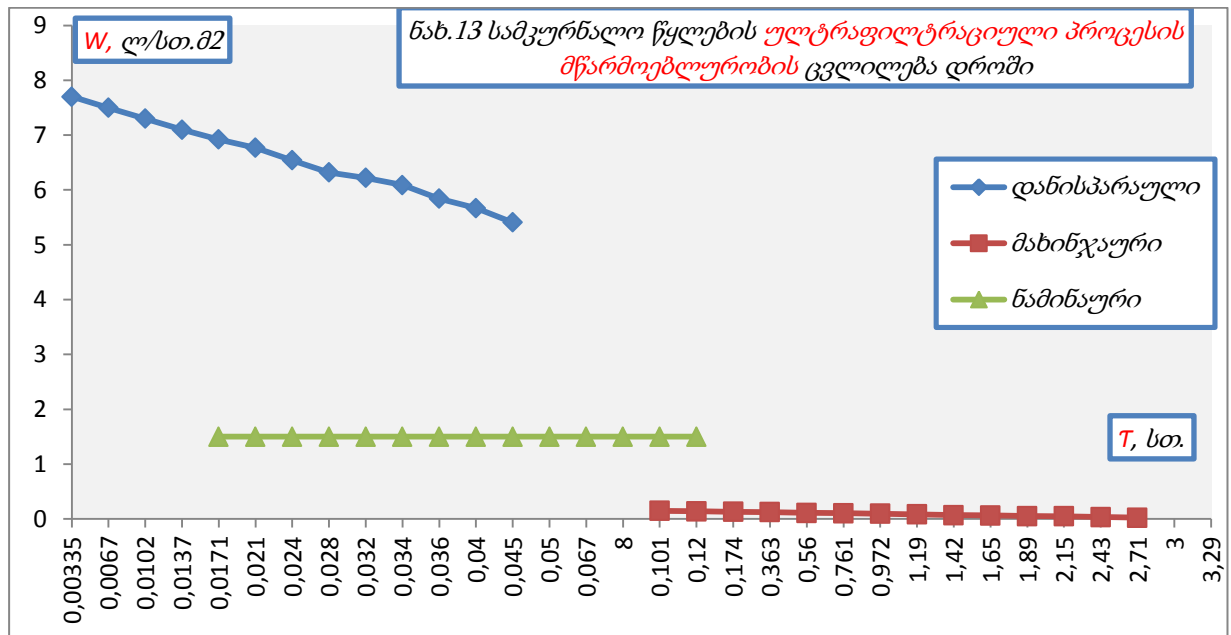
დადგენილია: დანდალოს წყლის სიხისტე -7.39 მგ-ექვ/ლ და პრაქტიკულად იმყოფება ნორმების ფარგლებში, გორთუბნის წყალი მიღებული მონაცემებით საშუალო სიხისტის წყალია, მისი სიხისტე 50 %-ით აღემატება ნორმას.ამ მაჩვენებლით გორთუბნის წყალი ეფექტურად იმოქმედებს კუჭ-ნაწლავზე, კერძოდ, სიხისტის მარილები $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ გაანეტრალეზენ მჟავიანობას.

ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლების ულტრაფილტრაციული პროცესის მწარმოებლურობა, მისი დამოკიდებულება დროზე, წყლის სახეობაზე. ფილტრატსა და კონცენტრატში ისაზღვრებოდა ტიტრული მჟავიანობა, გოგირდის , ქლორიდების, მძიმე ლითონების შემცველობა და ელექტროგამტარობა. ყველა ჩამოთვლილი პარამეტრები ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლის სახეობაზე, წარმოშობის რაიონზე და ულტრაფილტრაციის პროცესის პარამეტრებზე დამოკიდებულებით.

შემდეგ ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლების (დანისპარაული, მახინჯაური, ნამინაური) მაჩვენებლების ცვლილება ულტრაფილტრაციის პროცესში (ნახ.13).

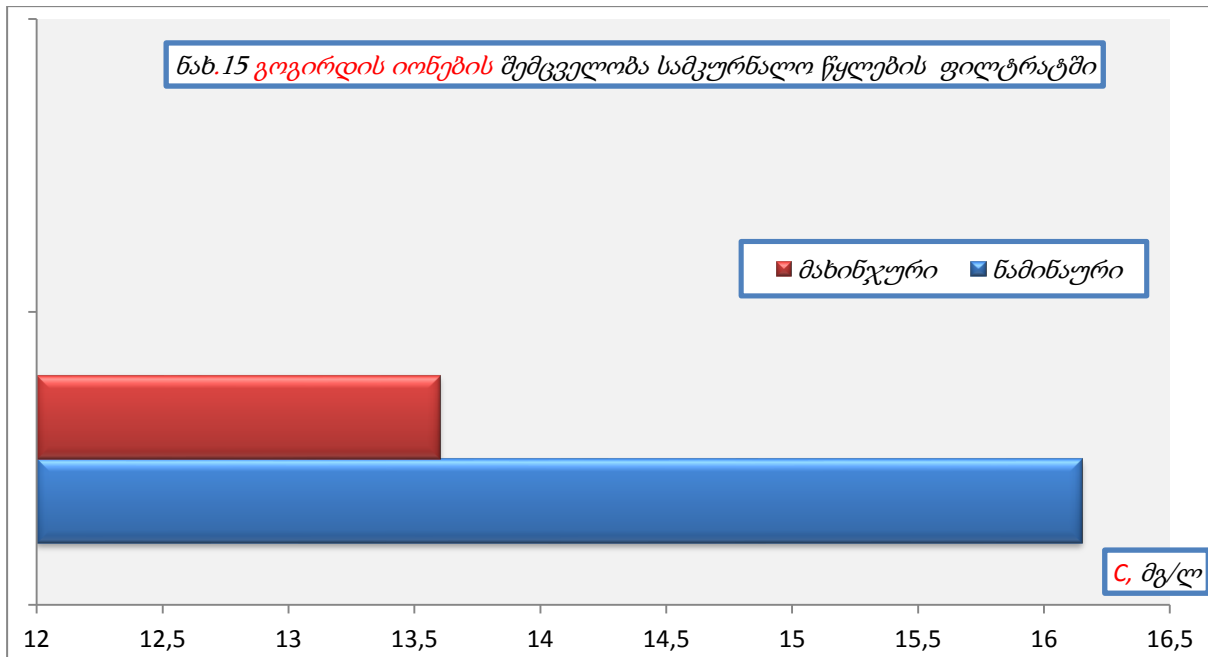
დადგენილია: ულტრაფილტრაციული პროცესის მწარმოებლურობა დროში მცირდება დანისპარაულის წყლისათვის, პრაქტიკულად უცვლელია მახინჯაურის და ნამინაურის წყლების გაფილტვრისას. მიღებულ ფილტრატში და კონცენტრატში ტარდებოდა

ფიზიკო-ქიმიური ანალიზი. ფილტრატში და კონცენტრატში განისაზღვრა ტიტრული მჟავიანობა (ნახ.14).



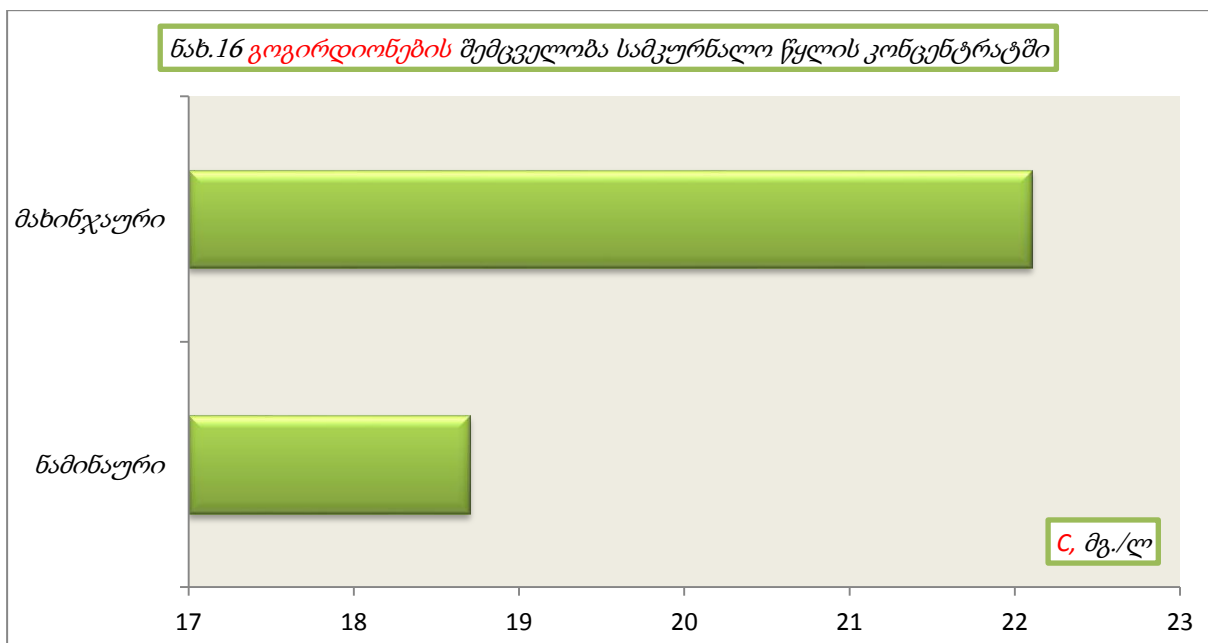
დადგენილია: ულტრაფილტრაციული პროცესის მსვლელობისას ნამინაურის წყლისმჟავიანობა(C_{H⁺}) იზრდება მნიშვნელოვნად 3-ჯერ (0.051 - 0.152 მმოლიH⁺/ლ), მახინჯაურის წყლის 36,6%-ით (0,045-0,071) და ნამინაურის წყლის მჟავიანობა უცვლელი დარჩა.

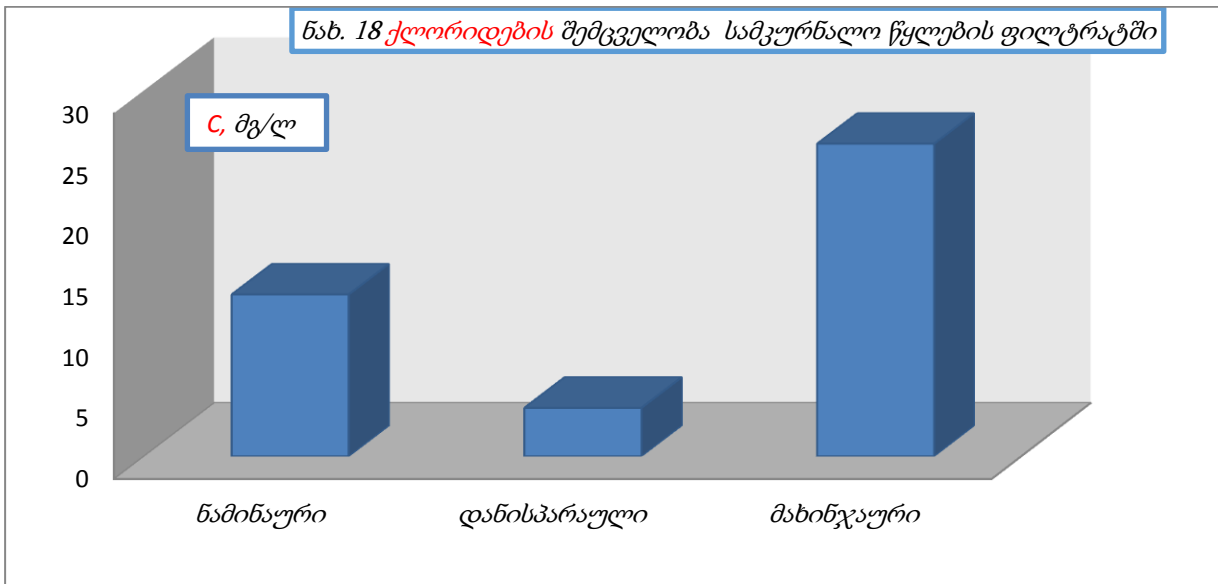
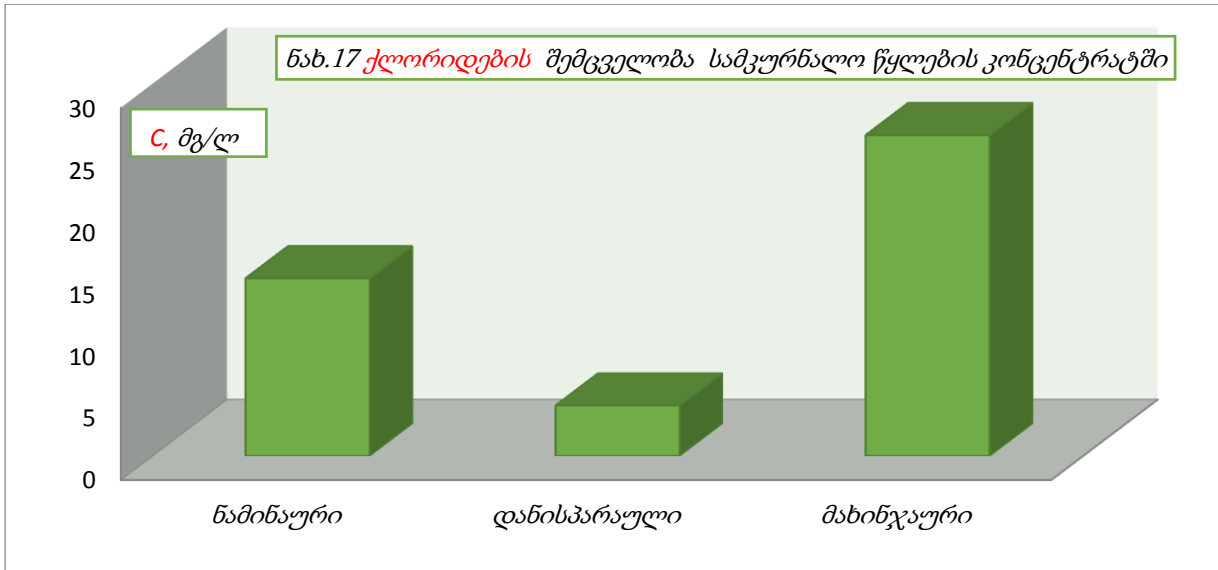
გოგირდიან წყლებში ისაზღვრებოდა S²⁻ შემცველობა ფილტრატსა და კონცენტრატში(ნახ.15-16).



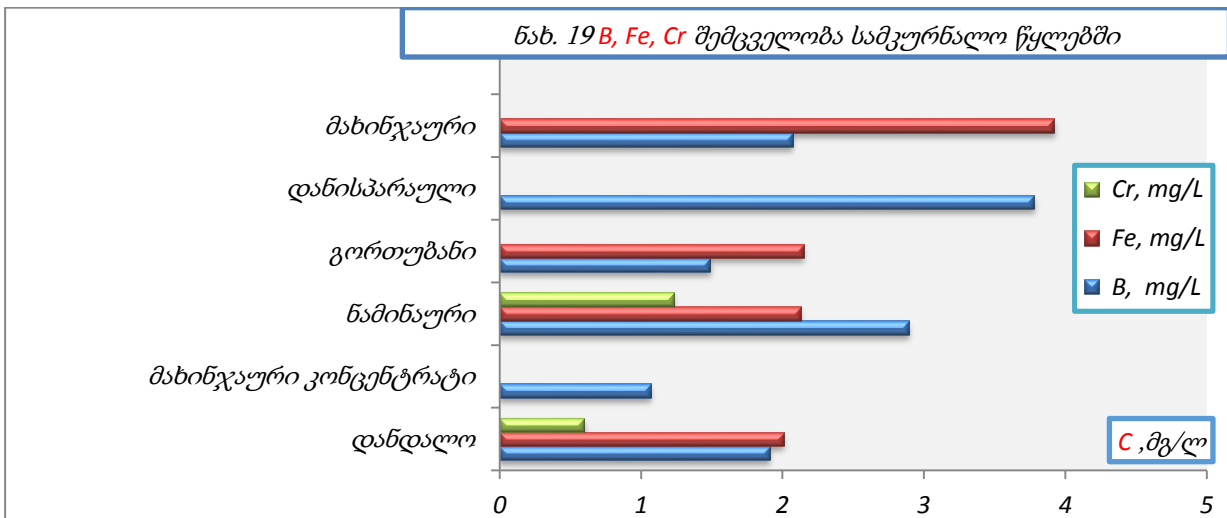
დადგენილია: დაკონცენტრირებისას გოგირდ იონების შემცველობა იზრდება 12%-ით ნამინაურის და 35,5%-ით მახინჯაურის წყალში. ისაზღვრებოდა ქლორიდების შემცველობა ფილტრატსა და კონცენტრატში (ნახ. 17, 18).

დადგენილია: ქლორიდების იონების შემცველობა დაკონცენტრირების პროცესში პრაქტიკულად უცვლელი რჩება(ნახ17-18).





ეკოლოგიური სისუფტვის დასადგენად სამკურნალო წყლებში განისაზღვრა 23 ელემენტი : Cr, Fe, B, K,Ca, Mg,Na, Ba, Ti, Cd, Mo, Mn, Ni, Co, As, Sb, Pb, Si, Hg, V, Cu, Al, Zn (ნახ19-27).

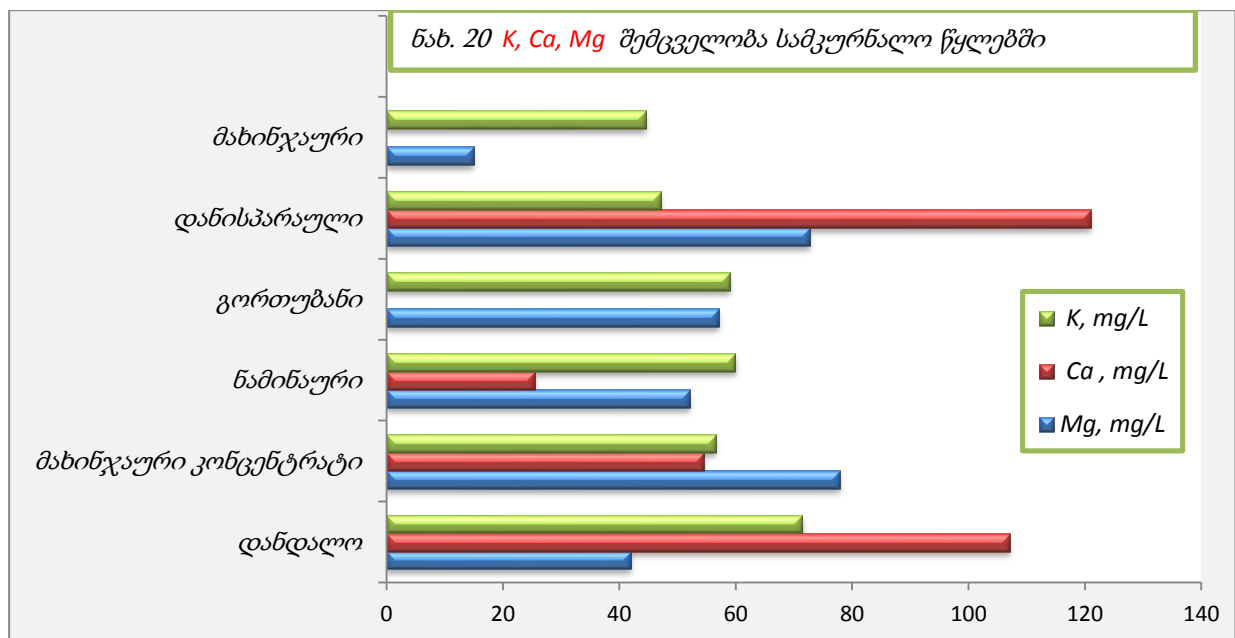


დადგენილია: ელემენტების შემცველობის ზრდის მიხედვით მიღებულია შემდეგი რიგები:

B (მგ/ლ) (ნახ.19) : მახინჯაური კონცენტრატი (1,07) ->გორთუბანი (1,49) -> დანდალო (1,91) -> მახინჯაური (2,07) -> ნამინაური (2,89) -> დანისპარაული (3,78);

Fe (მგ/ლ) (ნახ.19) : დანდალო (2,01) -> ნამინაური (2,13) ->გორთუბანი (2,15) -> მახინჯაური (3,92), მახინჯაურის კონცენტრატსა და დანისპარაულის წყალში საერთოდ არ იყო აღმოჩენილი.;

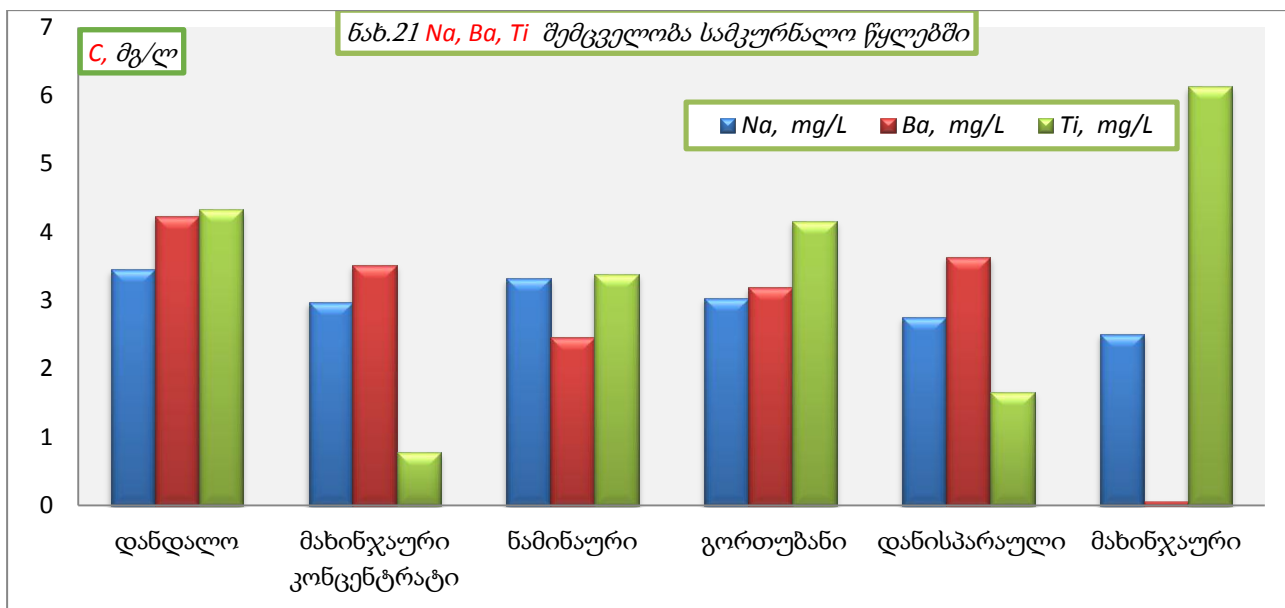
Cr(მგ/ლ) (ნახ. 19) : დანდალო(0,598) ->ნამინაური (1,23), მახინჯაურის , დანისპარაულის, გორთუბნისა წყლებში და მახინჯაურის კონცენტრატში არ იყო აღმოჩენილი.



K (მგ/ლ) (ნახ.20) : მახინჯაური (44,5) ->დანისპარაული (47,1) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (56,6) -> გორთუბანი (59) ->ნამინაური (59,9) ->დანდალო (71,4).

Ca (მგ/ლ) (ნახ.20) : ნამინაური(25,5) ->მახინჯაურის კონცენტრატი(54,5)-> დანდალო(107) -> დანისპარაული(121), მახინჯაურის კონცენტრატსა და გორთუბნის წყალში არ არის აღმოჩენილი.

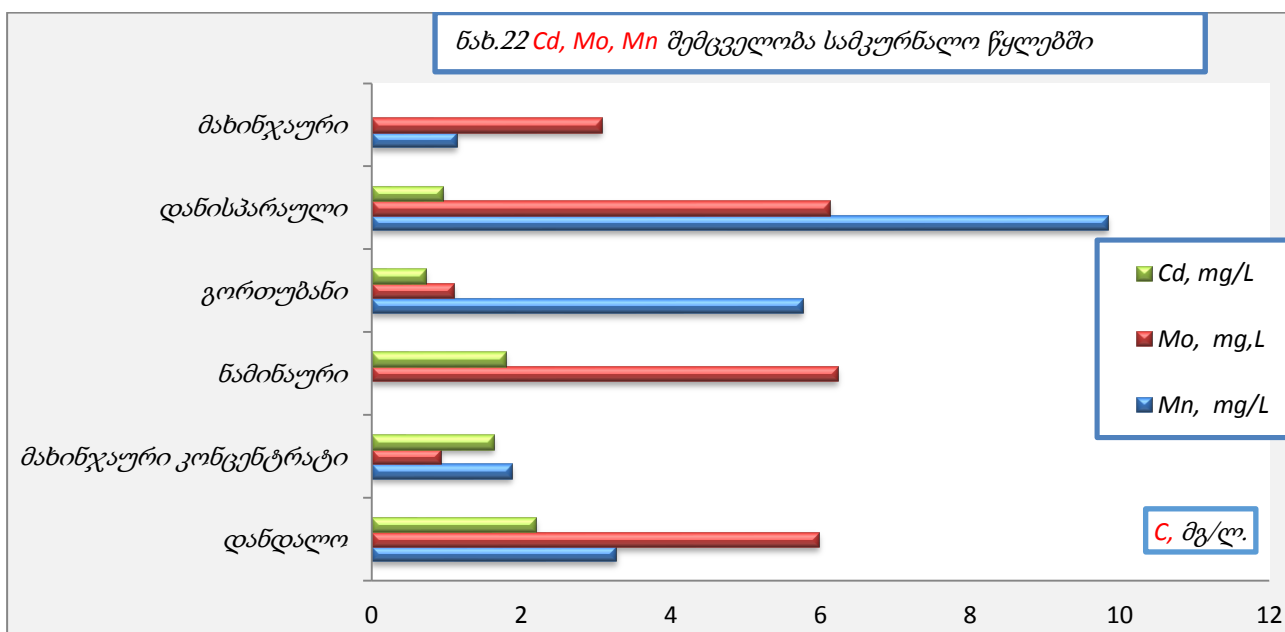
Mg (მგ/ლ) (ნახ.20) : მახინჯაური (42) -> ნამინაური (52,1) -> გორთუბანი(57,1) -> დანისპარაული (72,7) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (77,8).



Na (მგ/ლ) (ნახ.21) : მახინჯაური(2,51)-> დანისპარაული(2,76)-> მახინჯაური კონცენტრატი (2,98)-> გორთუბანი(3,04) -> ნამინაური(3,32) ->დანდალო(3,45)

Ba (მგ/ლ) (ნახ.21) : მახინჯაური (0,0567) -> ნამინაური (2,46) ->გორთუბანი (3,19) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (3,52) ->დანისპარაული (3,64) ->დანდალო (4,24);

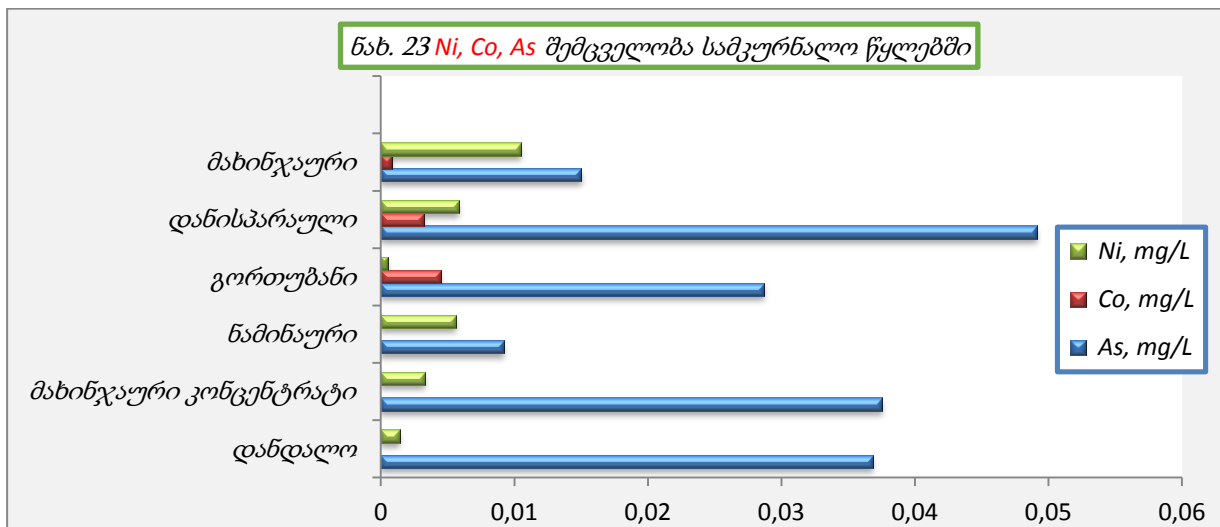
Ti (მგ/ლ) (ნახ.21) : მახინჯაურის კონცენტრატი (0,786) ->დანისპარაული (1,66) -> ნამინაური (3,39) ->გორთუბანი (4,16) ->დანდალო (4,33)->მახინჯაური (6,13).



Mn (მგ/ლ) (ნახ.22): მახინჯაური (1,14) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (1,87) ->დანდალო (3,27) -> გორთუბანი (5,76) -> დანისპარაული (9,84), ნამინაურის წყალში არის აღმოჩენილი.

Cd(მგ/ლ) (ნახ.22) : გორთუბანი(0,72) ->დანისპარაული (0,944) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (1,63) -> ნამინაური(1,79) -> დანდალო (2,19), მახინჯაურის კონცენტრატში არ არის აღმოჩენილი.

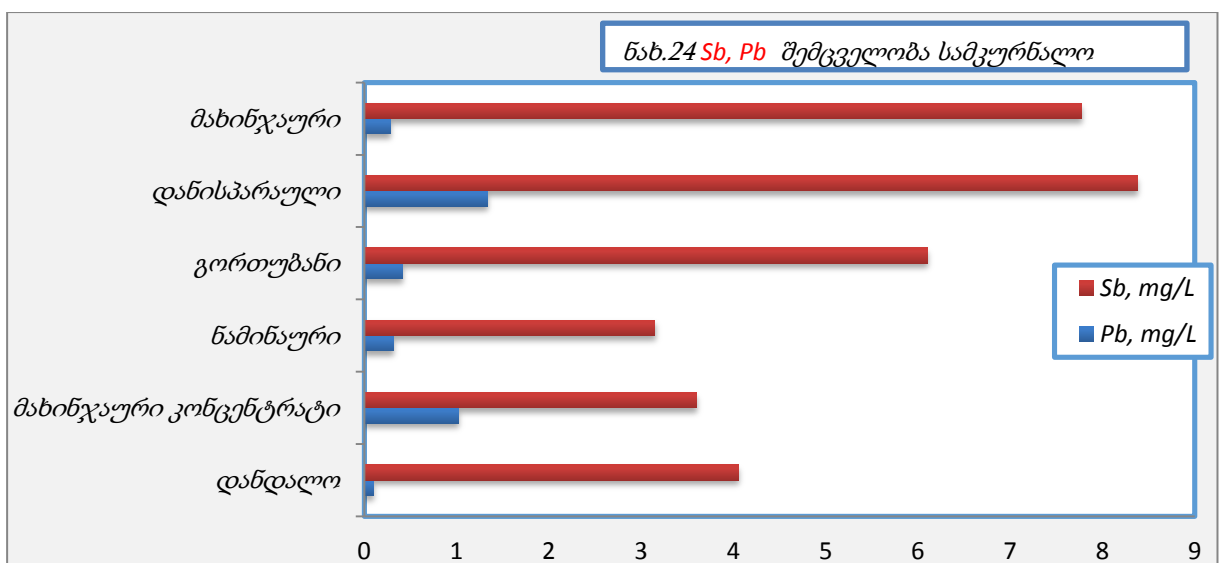
Mo (მგ/ლ) (ნახ.22) :მახინჯაურის კონცენტრატი (0,918) -> გორთუბანი (1,09) -> მახინჯაური (3,07) ->დანდალო (5,98) ->დანისპარაული (6,12) ->ნამინაური (6,23).



Ni (მგ/ლ) (ნახ.23): გორთუბანი(0,0005)->დანდალო(0,0014)->მახინჯაურის კონცენტრატი (0,0033)->ნამინაური(0,0056)->დანისპარაული(0,0058)->მახინჯაური(0,0105);

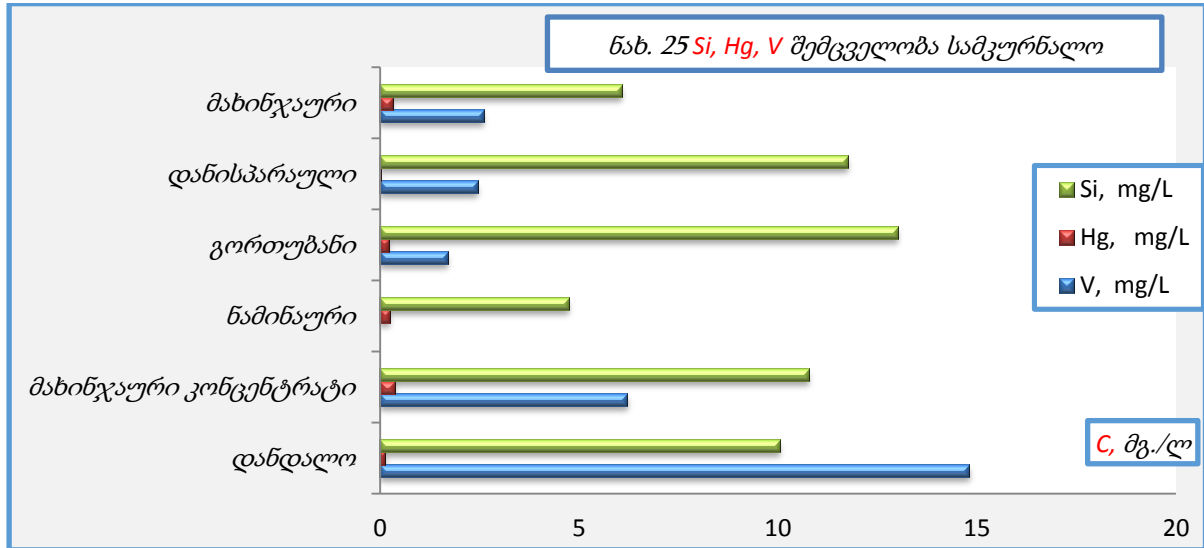
Co (მგ/ლ) (ნახ.23):მახინჯაური(0,0008)->დანისპარაული(0,0032)->გორთუბანი(0,0045), დანდალოს, ნამინაურის და მახინჯაურის კონცენტრატში არ არის აღმოჩენილი.

As (მგ/ლ) (ნახ.23) ნამინაური(0,0092)->მახინჯაური(0,015)->გორთუბანი(0,0287)-> დანდალო(0,0368)->მახინჯაურის კონცენტრატი(0,0375)-დანისპარაული(0,0491);



Sb (მგ/ლ) (ნახ24): ნამინაური(3,15)->მახინჯაურის კონცენტრატი(3,6)->დანდალო(4,06)-> გორთუბანი(6,1)->მახინჯაური(7,77)->დანისპარაული(8,38).

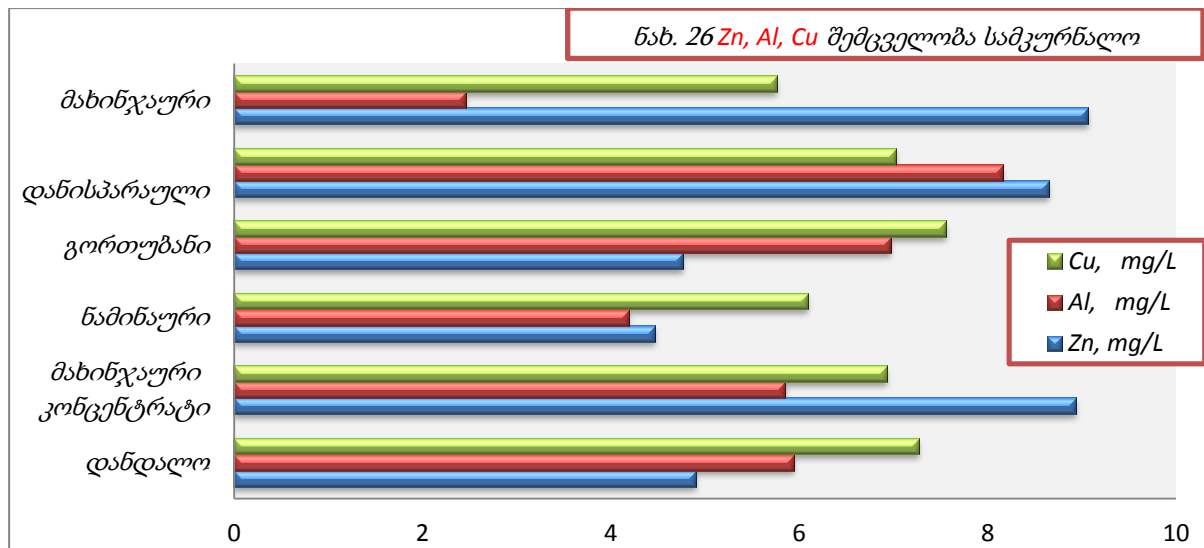
Pb (მგ/ლ) (ნახ24): დანდალო(0,096)->ნამინაური(0,317)->გორთუბანი(0,412)-> მახინჯაური (0,298)->მახინჯაურის კონცენტრატი (1,02)->დანისპარაული(1,34).



Si (მგ/ლ) (ნახ25): ნამინაური (4,73) ->მახინჯაური (6,07) ->დანდალო (10,05) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (10,77) ->დანისპარაული (11,75) -> გორთუბანი (13).

Hg(მგ/ლ) (ნახ25) : დანისპარაული (0,0267) -> დანდალო (0,132) -> გორთუბანი(0,208) -> ნამინაური (0,243) -> მახინჯაური (0,315) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (0,376) .

V(მგ/ლ)(ნახ25): გორთუბანი (1,7) -> დანისპარაული (2,45) -> მახინჯაური (2,6)-> მახინჯაურის კონცენტრატი (6,21) -> დანდალო (14,8). ნამინაურის წყალში არ არის აღმოჩენილი.



Zn (მგ/ლ) (ნახ26) : ნამინაური (4,46) -> გორთუბანი (4,76) -> დანდალო (4,9) -> დანისპარაული (8,65) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (8,93) -> მახინჯაური (9,06).

Al (მგ/ლ) (ნახ26) : მახინჯაური (2,46) -> ნამინაური (4,19) -> დანდალო (5,65)-> მახინჯაურის კონცენტრატი (5,85) -> გორთუბანი (6,97) -> დანისპარაული (8,16).

Cu (მგ/ლ) (ნახ26) : მახინჯაური (5,76) -> ნამინაური (6,09) -> მახინჯაურის კონცენტრატი (9,93) -> დანისპარაული (7,02) -> დანდალო (7,27) -> გორთუბანი (7,55).

დასკვნა:

- ✓ კვლევა წარმოებდა : გორთუბნის, ნამინაურის(ადიგენი), დანისპარაულის, დანდალოს მახინჯაურის (აჭარა).
- ✓ ისაზღვრებოდა სამკურნალო წყლების: ტიტრული მჟავიანობა, მშრალი ნივთიერებების, გოგირდის, ქლორიდების, ჰიდროკარბონატების, ნიტრატების, ამონიუმის, მძიმე ლითონების შემცველობა, pH და ელექტროგამტარობა. ეს პარამეტრები ისაზღვრებოდა ნედლ წყალში და ულტრაფილტრაციის შედეგად მიღებულ ფილტრატსა და კონცენტრატში.

დადგენილია:

- ✓ ელექტროგამტარობის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი აქვს დანისპარაულის წყალს და ყველაზე დაბალი - მახინჯაურის, რაც მოწმობს მარილების ამაღლებულ რაოდენობაზე დანისპარაულის წყალში : 7-ჯერ მეტია ვიდრე მახინჯაურის წყალში, 3.5-ჯერ - გორთუბნის, წყალზე და 3- ჯერ დანდალოს და ნამინაურის წყალში.
- ✓ ელექტროგამტარობის (mS/cm) ზრდის მიხედვით სამკურნალო წყლები განლაგდება რიგში: მახინჯაური(0.52)-> ნამინაური(0,78)-> დანდალო(0,79)-> გორთუბანი(0.98)-> დანისპარაული(3.45).
- ✓ მშრალი ნივთიერებების რაოდენობის(%) ზრდის მიხედვით მიიღება შემდეგი რიგი: მახინჯაური(0.1)-> ნამინაური(0.2)-> დანდალო(0,4)=გორთუბანი(0.4)-> დანისპარაული(0,5).
- ✓ ელექტროგამტარობა და მშრალი ნივთიერებების რაოდენობა მეტია გორთუბნის წყალში: ელექტროგამტარობა 2.5-ჯერ და მშრალი ნივთიერება 4-ჯერ.

- ✓ გორთუბნის წყალი ძალიან მარილიანია და შეუძლებელია მისი გამოყენება სახსრების სამკურნალოდ და როგორც მარილიანი წყალი, ანტისეფტიკური საშუალების სახით თვალების ანთების სამკურნალოდ, მაგრამ საეჭვოა - რამდენად გამართლებულია მარილიანი წყლის გამოყენება ამ მიზნით.
- ✓ ელექტროგამტარობით და მშრალი ნივთიერებების რაოდენობით გამოირჩევა დანისპარაულის წყალი.
- ✓ ყველაზე მაღალი pH გააჩნია დანისპარაულის წყალს ($\text{pH} > 7$), წყალს აქვს სუსტი ფუძე გარემო; დანარჩენ სამკურნალო წყლებს აქვთ ნეიტრალური გარემო და pH-ის ზრდის მიხედვით ისინი განლაგდებიან რიგში :*მახინჯაური(5.5) -> ნამინაური(6) -> დანდალო (7.16) -> გორთუბანი(7.18) -> დანისპარაული (7.5)*
- ✓ ცნობილია, რომ სოკოს დაავადების სამკურნალოდ გამოიყენება დაბალი pH - ის ანუ მჟავე გარემოს მქონე საშუალებები. მიღებული მონაცემებით, მახინჯაურის წყალი უნდა იყოს უფრო ეფექტური მოქმედების, ვიდრე დანდალოს.
- ✓ თუ შევადარებთ ადიგენის, გორთუბნის და ნამინაურის წყალს , მაღალი pH-ის მქონე გორთუბნის წყალი უფრო ეფექტური იქნება კუჭნაწლავის დაავადებების სამკურნალოდ, რადგან ტუტე გარემოს მქონე წყალი გაანეიტრალებს კუჭის მჟავიანობას.
- ✓ აჭარის წყლები: დანისპარაულის და დანდალოს წყლები შეიძლება გამოიყენოს, როგორც გორთუბნის წყალი, კუჭის მჟავიანობის შესამცირებლად.
- ✓ S^{2-} იონების შემცველობა ნამინაურის წყალში 20%-ით მეტია, ვიდრე მახინჯაურის, ანუ სოკოვანი დაავადებების სამკურნალოდ უკეთესია ნამინაურის წყლის გამოყენება.
- ✓ NO_3^- და NH_4^+ იონები აღმოჩენილია მხოლოდ დანდალოს და გორთუბნის წყალში: NH_4^+ დანდალოს წყალში (1.17 მგ/ლ) 11.4 -ჯერ აღემატება მის რაოდენობას გორთუბნის წყალში (0.102 მგ/ლ).
- ✓ დანდალოს წყალი შეიცავს ნორმაზე 2.5-ჯერ მეტ, გორთუბნის წყალი კი პირიქით ნორმაზე 5-ჯერ ნაკლებ NH_4^+ რაოდენობას .
- ✓ დანდალოს წყალში NO_3^- რაოდენობა 25-ჯერ და გორთუბნის წყალში 75-ჯერ ნაკლებია ნორმაზე.
- ✓ Cl^- იონები აღმოჩენილია ყველა სამკურნალო წყლებში და ზრდის მიხედვით განლაგდება რიგში: *გორთუბანი (1.2)-> ნამინაური(11.8)-> დანისპარაული (14.6)-> მახინჯაური (33.2).*

- ✓ *Cl* იონების ყველაზე მეტი რაოდენობით გამოირჩევა მახინჯაურის წყალი, რაც შეესაბამება მიღებულ pH-ის მონაცემებს და ამ ერთობლივი მონაცემების მიხედვით მახინჯაურის წყალი უნდა იყოს ეფექტური საშუალება სოკოვანი დაავადებების სამკურნალოდ. ნორმით ქლორიდების რაოდენობა შეადგენს 250 მგ/ლ, მიღებული მონაცემებიდან გამომდინარე, ყველა სამკურნალო წყალში ქლორიდების რაოდენობა 1-6-ჯერ ნაკლებია ნორმაზე,
- ✓ გორთუბნის წყალში SO_4^{-2} და HCO_3^{-} -ის შემცველობა მეტია ვიდრე დანდალოს წყალში, სულფატების ნორმა შეადგენს 500 მგ/ლ-ში, ჰიდროკარბონატების 30-400 მგ/ლ-ში.
- ✓ SO_4^{-2} და HCO_3^{-} შემცველობა დანდალოს და გორთუბნის წყალში იმყოფება დადგენილი ნორმების ფარგლებში.
- ✓ დანდალოს წყლის სიხისტე -7.39 მგ-ექვ/ლ და პრაქტიკულად იმყოფება ნორმების ფარგლებში, გორთუბნის წყალი მიღებული მონაცემებით საშუალო სიხისტის წყალია, მისი სიხისტე 50 %-ით აღემატება ნორმას. ამ მაჩვენებლით გორთუბნის წყალი ეფექტურად იმოქმედებს კუჭ-ნაწლავზე, კერძოდ, სიხისტის მარილები $Ca(HCO_3)_2$ $Mg(HCO_3)_2$ გაანეტრალდებენ მჟავიანობას.
- ✓ ულტრაფილტარციული პროცესის მწარმოებლურობა დროში მცირდება დანისპარაულის წყლისათვის, პრაქტიკულად უცვლელია მახინჯაურის და ნამინაურის წყლების გაფილტვრისას
- ✓ ულტრაფილტარციული პროცესის მსვლელობისას ნამინაურის წყლის მჟავიანობა (C_{H^+}) იზრდება მნიშვნელოვნად 3-ჯერ (0.051 - 0.152 მმოლი H^+ /ლ), მახინჯაურის წყლის 36,6%-ით (0,045-0,071) და ნამინაურის წყლის მჟავიანობა უცვლელი დარჩა.
- ✓ დაკონცენტრირებისას გოგირდიონების შემცველობა იზრდება 12%-ით ნამინაურის და 35,5%-ით მახინჯაურის წყალში.
- ✓ ქლორიდების იონების შემცველობა დაკონცენტრირების პროცესში პრაქტიკულად უცვლელი რჩება.

დადგენილია სამკურნალო წყლების შემცველობა:

- *მახინჯაური*: Zn(9.06, ნორმა 0,01მგ/ლ), Ti (6.13, ნორმა 0,1მგ/ლ), Ni (0.0105, ნორმა 0,1 მგ/ლ), Fe (3,92, ნორმა 0,3მგ/ლ-ში);

- დანისპარაული: Ca(121, ნორმა30-140მგ/ლ), Mn(9.94, ნორმა 0,1მგ/ლ), As(0.0491 ნორმა 0,05მგ/ლ), Sb(8.38, ნორმა0,05მგ/ლ), B(3.78, ნორმა 0,5 მგ/ლ), Pb(1.34, ნორმა 0,03მგ/ლ), Al(8.16, ნორმა 0,5მგ/ლ);
- გორთუბანი: Si(13, ნორმა 10მგ/ლ), Co(0.0045, ნორმა 0,1მგ/ლ), Cu(7.55, ნორმა 1მგ/ლ);
- ნამინაური: Mo(6.23, ნორმა 0,25მგ/ლ), Cr(1.23, ნორმა 0,05მგ/ლ);
- დანდალო: Cd(2.19, ნორმა 0,01მგ/ლ), V(14.8, ნორმა0,1მგ/ლ), K(71.4, ნორმა არაუმეტეს 50 მგ/ლ), Ba(4.24, ნორმა 0,1მგ/ლ), Na(4.45, ნორმა 200 მგ/ლ)
- მახინჯაურის კონცენტრატი : Mg(77.8, ნორმა 50მგ/ლ), Hg(0.376, ნორმა 0,0005მგ/ლ),

დადგენილია: ყველა განხილული წყალი დაბინძურებულია მძიმე ლითონებით და არ უნდა გამოიყენოს მოსახლეობის მიერ სამკურნალოდ.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ნ. ფოფორაძე - „მინერალოგიის მოკლე განმარტებითი ლექსიკონი” - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. http://10.10.48.48/upload/wigni_540.pdf
2. Лечение живой и мёртвой водой.
http://www.o8ode.ru/article/answer/organizm/le4enie_givoi_i_mertvoi_vodoi.htm
3. რ. კლდიაშვილი, დ. ბიბილეიშვილი - „წყალი და მისი ხასიათი” - თბილისი, 2011
http://10.10.48.48/upload/wigni_540.pdf
4. ი. ყრუაშვილი, ი.ინაშვილი - „წყლის რესურსების მენეჯმენტი სოფლის მეურნეობაში“ - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2009 წ.
http://10.10.48.48/upload/wigni_1673.pdf
5. ზ. გედენიძე, თ. ანბროლაძე - „წყლის მეურნეობა“ - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2009 წ. http://10.10.48.48/upload/wigni_1673.pdf
6. მ. ნაცვლიშვილი, ლ. კლიმიაშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი - „წყლის ეკოლოგია“- თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009 წ.
7. Г.Д.Лысенко. „Лечение «Живой» и «Мертвой» водой“. Современная школа, 2009г.
8. О.Романова. „Лечение живой и мертвой водой“. Минск: Вектор, 2007г
9. А.Л.Ивчаев, В.И.Малов. „Химия воды и микробиология“. М.: Инфра, М. 2009г.

10. . „სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების შესახებ“ საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2007 წლის 17 დეკემბრის N349/ნ ბრძანება. https://matsne.gov.ge/index.php?option=com_ge
11. Минеральные воды Грузии: история и польза
<https://sputnik-georgia.ru/reviews/20170206/234778994/Mineralnye-vody-Gruzii-istorija-i-polza.html>.
12. Классификация минеральных вод. <https://www.sanatoriums.com/ru/blog/172-klassifikatsiya-mineralnyh-vod>
13. Лечебные свойства сероводорода. <https://www.sanatoriums.com/ru/blog/272-lechebnye-svoystva-serovodoroda>
14. Минеральные источники и воды Абхазии <http://guide.travel.ru/abhazia/resorts/balneo/>
15. ЦХАЛТУБСКАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ ВОДА <http://tskaltuboresort.ge/rus/static/37>
16. А. Лидин. Минеральные воды. Издательство: Феникс, 2009 г.
17. 18. Минеральные воды в лечебном санатории: минеральный курорт.
<https://altynbulak.com>.
18. Минеральные источники – Шумак. shumak.ru/mineralnyye-istochniki/
19. Химический состав минеральных вод. www.fegi.ru/chemistry.htm
20. Минеральные воды - это воды подземных источников.
<http://www.vodam.ru/articles/5.html>.
21. Минеральные питьевые воды, их виды. Ионы воды. www.grandars.ru ›
22. Минеральные и термальные воды Крыма. krymology.info/index.
24. Природная минеральная вода. byrim.com › Подземные воды.
25. „Бакуриани“ Минеральная вода. <https://travelinborjomi.ge/ru/minerals/21>