

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მანანა მამულაშვილი

**ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების  
გაწმენდის ტექნოლოგიის დამუშავება**

სადოქტორო პროგრამა - ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია  
შიფრი - 0410

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

**ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი**

თბილისი

2020 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ვიქტორ ერისთავის სახელობის გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა  
და ეკოლოგიისა დეპარტამენტი

თანახელმძღვანელები: ემერიტუსი - ნ.ჩხუბიანიშვილი

პროფესორი - გ.მჭედლიშვილი

რეცენზენტები: -----

-----

დაცვა შედგება 2020 წლის "-----" ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----

----- საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს

კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში, ხოლო

ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა.** დღეს, ეკოლოგიურად უსაფრთხო გარემოს შექმნა, ერთ-ერთი აუცილებელი და მნიშვნელოვანი პრობლემაა. მრეწველობის სწრაფმა განვითარებამ, სასოფლო-სამეურნეო წარმოების ინტენსიფიკაციამ და სხვა მრავალმა პრობლემამ, რომელიც კონტროლს არ ექვემდებარება გამოიწვია გარემოს გაჭუჭყიანების მნიშვნელოვანი ზრდა. წარმოების ზრდისა და ბუნებრივი რესურსების ათვისება გადამუშავებასთან დაკავშირებით იმატა სამრეწველო ჩამდინარე წყლების დაბინძურების რაოდენობამ. ეს უპირველეს ყოვლისა ეხება მძიმე ლითონებით, განსაკუთრებით ტყვიითა და ქრომით (შესული არიან მსოფლიო ტოქსიკური ნივთიერებების ტოპ-ექვსეულში) დაბინძურებულ ჩამდინარე წყლებს, რადგან ისინი წარმოადგენენ ტოქსიკურ აკუმულირებად ნივთიერებებს.

ტყვიის კრონის საწარმოთა ჩამდინარე წყლების გაწმენდის პრობლემა დღემდე გადაუჭრელია. ჩვენ შევეცადეთ გაგვეწმინდა ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლები ტყვიისა და ქრომის მინარევებისაგან, ამისათვის გამოვიყენეთ გაწმენდის რეაგენტული და მემბრანული მეთოდები.

მემბრანული ტექნოლოგიები გამოირჩევა მცირე ენერგო - მასალატევადობით, გაწმენდის მაღალი ხარისხით, ტექნიკის მცირე მოცულობით და სიმარტივით. დადასტურებულია მემბრანული ტექნოლოგიების ეკონომიკურ - ტექნოლოგიური უპირატესობა შესაბამის კლასიკურ ტექნოლოგიებთან შედარებით.

მემბრანული ტექნოლოგიების დიდ უპირატესობას წარმოადგენს ისიც, რომ გაწმენდის პარალელურად იმავე აპარატში მიმდინარეობს გამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებების კონცენტრირება ფაზური გადასვლების გარეშე.

**წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანი** იყო შეგვესწავლა საწარმოთა ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლები და მოგვეხდინა მისი გაწმენდა, გასუფთავება. დაგვემუშავებინა ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების გაწმენდისა და ლითონთა ჰიდროქსიდების სახით გამოლექვის და მარილთა კონცენტრი-

რების მაღალეფექტური მემბრანული ტექნოლოგია და შეგვექმნა შესაბამისი ექსპერიმენტული დანადგარი.

**მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს:**

1. ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდის მეთოდის შესწავლა ტყვიის კრონის ნაერთებისაგან.
2. კათიონური და ანიონური მემბრანების ფუნქციური თვისებების, მედეგობის და სელექტიურობის გამოკვლევა ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლებში.
3. ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლებში  $Cr^{+6}$ -ის  $Cr^{+3}$ -ში გადასვლის პროცესის შესწავლა რეაგენტული მეთოდით, წყალბადის ზეჟანგის გამოყენებით და კონცენტრატის დამუშავება.
4. გამოყენებული ელექტროდიალიზური აპარატის როლი დამუშავებული წყლის სრულ გასუფთავებაში.

**პრაქტიკული გამოყენების მხრივ ტექნოლოგიას აქვს ეკოლოგიური და ეკონომიური ეფექტები, გამოირჩევა პროცესის სიმარტივით და მემბრანების ხანგრძლივი დროით გამოყენებით.**

ზედაპირული და საწარმოო ჩამდინარე წყლების დაცვა, ტოქსიკური და კანცეროგენული მოქმედების ლითონებით დაბინძურებისაგან.

ტყვიის კრონის საწარმოებში გაწმენდილი წყლის გამოყენება და წყალბრუნვითი ტექნოლოგიური სქემის შექმნა.

ბუნებრივი რესურსის - წყლის - რაციონალური გამოყენება.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომი წარმოდგენილი იყო 4 საერთაშორისო კონფერენციაზე:

1. სტუდენტთა 86-ე საერთაშორისო კონფერენციაზე (გარემოს ინჟინერიისა და უსაფრთხოების სექცია). კონფერენციაზე ნაშრომმა დაიმსახურა პირველი ადგილი. (07.06.2018 საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი) - ტყვიის კრონის შემცველი წყლების გაწმენდა იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით.
2. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია თანამედროვე მეცნიერება და ინოვაციური პრაქტიკა“ (ქუთაისი 2018 გვ.172-

174) -ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდა ელექტროდიალიზის მეთოდით იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით.

3. საერთაშორისო სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენცია „ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“ თბილისი 19.10 .2018 გვ.211-213 (აკადემიკოს გივი ცინცაძის დაბადებიდან 85 წლისადმი მიძღვნილი) - ჩამდინარე წყლებში ექვსვალენტიანი ქრომისა და ტყვიის კონცენტრირების გამოკვლევა ელექტროდიალიზის პროცესში.
4. საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“ თბილისი 2019 11-12 ნოემბერი გვ.52-53 (პროფესორ ვიქტორ ერისთავის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი) - ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის დამუშავება.

**კვლევის ობიექტია** ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლები. ტყვიის კრონი მიიღება ტყვიის ნიტრატისა და კალიუმის ბიქრომატის ურთიერთქმედებით. ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლები შეიცავს შემდეგ მინარევებს: ტყვიას, ქრომს ( $Cr_2O_3$  -ზე გადაანგარიშებით), ტყვიის კრონს, ნიტრატებს, სულფატებს, მშრალ ნაშთს. pH არ უნდა იყოს 3-ზე ნაკლები.

წარმოდგენილი ნაშრომის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლებში არსებული ტყვია, ქრომი, ტყვიის კრონი. განსაკუთრებით საინტერესოა მათი როლი წყლისა და გარემოს სხვა კომპონენტების გაჭუჭყიანებაში, რადგან ისინი გამოირჩევიან ძლიერი ტოქსიკური და კანცეროგენული ზემოქმედებით გარემოსა და ცოცხალ ორგანიზმებზე და საფრთხეს უქმნიან ადამიანის ჯანმრთელობას.

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები:** წარმოდგენილ ტექნოლოგიას აქვს ეკოლოგიური და ეკონომიური ეფექტები:

1. ჩამდინარე წყლების დაცვა მძიმე ლითონების ( ტყვიისა და ქრომის იონების) დაბინძურებისაგან.

2. ტყვის კრონის წარმოების გაწმენდილი ჩამდინარე წყლის გამოყენება და წყალსარგებლობის ჩაკეტილი სისტემის შექმნა.

3. ელექტროდიალიზის პროცესში მიღებული კონცენტრატიდან მარილების უტილიზაცია.

4. ექსვალენტური პროცესის წყალბადის ზეჟანგით აღდგენა სამვალენტური პროცესამდე.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა:** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ძირითადი თავისა და დასკვნისაგან. ნაშრომს ერთვის გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა (103 დასახელება). ნაშრომი წარმოდგენილია 116 ნაბეჭდ გვერდზე. მოიცავს 31 ცხრილს და 16 ნახაზს.

## სამუშაოს შინაარსი

ლიტერატურის მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ ტყვიის კრონის შემცველი ჩამდინარე წყლების გაწმენდის პრობლემა დღემდე გადაუჭრელია. ამ პრობლემის სიმწვავეზე მიგვითითებს ისიც, რომ ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლები შეიცავს ისეთ ტოქსიკურ ნივთიერებებს, როგორც არის ტყვიისა და ქრომის ნაერთები.

ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდისა და მარილთა კონცენტრირების მაღალეფექტური მემბრანული, ასევე კონცენტრაციიდან მარილთა უტილიზაციის ელექტროდიალიზური ტექნოლოგიის დამუშავება და შესაბამისი ექსპერიმენტული დანადგარის შექმნა. ელექტროდიალიზური პროცესი შედარებული იყო გაწმენდის ნანოფილტრაციულ მეთოდთან.

ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების გაწმენდისათვის გამოყენებულია რეაგენტული, ხოლო შემდგომ მემბრანული ფილტრაციის ელექტროდიალიზური მეთოდი იონგაცვლითი მემბრანებით (MA-40 და MK-40). ტექნოლოგიის ეფექტურობა განპირობებულია იმით, რომ ელექტროდიალიზური მეთოდი გამოირჩევა მცირე მასალა - და ენერგოტევადობით, წყლის გაწმენდის მაღალი ხარისხით, გაწმენდის პროცესის სიმარტივით, მარილთა უტილიზაციისათვის საჭირო ეკონომიური პროცესით.

### ელექტროდიალიზის პროცესის შესწავლა იონმიმოცვლითი მემბრანების გამოყენებით

ხსნართა დემინერალიზაციის ელექტროდიალიზური მეთოდი წარმოადგენს მემბრანულ პროცესს, რომელსაც საფუძვლად უდევს ელექტროლიტის იონების გადატანა სელექტიურ იონგაცვლით მემბრანებში ელექტრული დენის მოქმედებით.

ელექტროდიალიზური მეთოდის არსი ანუ ხსნარის გაუმარილება მრ-

ვალკამერიან აბაზანებში იონიტური მემბრანის გამოყენებით, დაიყვანება შემდეგზე: ელექტროდიალიზატორის ორ ელექტროდს შორის განლაგებულია კათიონიტური და ანიონიტური მემბრანები, რომლებიც თანმიმდევრულად მონაცვლეობენ ერთმანეთში და ქმნიან მრავალკამერიან ელექტროდიალიზატორს, მაკონცენტრირებელ (მარილ-ხსნარული) და გაუმარილების (დიტუალური) საკნებს.

ელექტროდიალიზური პროცესის დროს გამოყენებული იყო იონგაცვლითი მემბრანები კათიონიტური (MK -40) და ანიონიტური (MA-40) მემბრანები. იონიტური მემბრანები საკმაოდ განსხვავდება მარცლოვანი იონიტებისაგან იმით, რომ მათი გამოყენება არ არის დაკავშირებული რეგენერაციისათვის საჭირო ნივთიერებების ხარჯთან. მათი გამოყენებით ტექნოლოგიური პროცესები შეიძლება გავაფორმოთ უწყვეტი სქემებით. ისინი ემორჩილებიან მთლიან ავტომატიზაციას, არ საჭიროებენ დიდი მოცულობის აპარატურას და მრავალრიცხოვან მომსახურე პერსონალს.

გარდა ფიზიკურ-ქიმიური (სრული გაცვლითი ტევადობა, გაჯირჯება) თვისებებისა, იონგაცვლითი მემბრანების პრაქტიკული გამოყენების პირობებში დიდი მნიშვნელობა აქვს მის ელექტროქიმიურ მახასიათებლებს - ელექტროგამტარებლობას და სელექტიურობას ანუ გადატანის რიცხვს, აგრეთვე ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს - მექანიკურ სიმტკიცესა და ელასტიურობას.

ელექტროდიალიზური მეთოდი გამოყენებული იქნა ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდისათვის, რომლებიც შეიცავენ - ტყვიის ქრომატს -  $PbCrO_4$  ან ქრომისა და ტყვიის სულფატის იზომორფულ ნარევს -  $PbCrO_4 \cdot nPbSO_4$ , ტყვიის ნიტრატს.

დადგინდა ელექტროდიალიზურ პროცესში გამოყენებული კათიონიტური (MK-40) და ანიონიტური (MA-40) მემბრანების მედეგობა  $20^{\circ}C$  და  $50^{\circ}C$  ტემპერატურებზე. რეაგენტული მეთოდით ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლებში არსებული  $Cr^{+6}$  წყალბადის ზეჟანგის დახმარებით გადავიყვანეთ  $Cr^{+3}$ -ში. გამოვყავით ქრომისა და ტყვიის ჰიდროქსიდები და შემდეგ



ჩამდინარე წყალი გავატარეთ ელექტროდიალიზატორში სრული გაწმენდისათვის და მოვახდინეთ მარილების უტილიზაცია.

## მემბრანის მედეგობის გამოკვლევა

იონმცვლელი მემბრანების გამოყენება ელექტროდიალიზის პროცესში დიდწილად განისაზღვრება მათი ქიმიური და ტემპერატურული მდგრადობით მოცემულ არეში.

მემბრანებად შერჩეული იყო ანიონიტური MA-40 და კათიონიტური MK-40 მემბრანები, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება ხსნარების გაწმენდაში, სუფთა ნაერთების მიღებაში და სხვა.

ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების ანალიზით დადგენილია, რომ იგი შეიცავს  $Pb^{+2}$ ,  $CrO_4^{-2}$ ,  $SO_4^{-2}$ , და  $NO_3^-$  იონებს, ამიტომ MA-40 და MK-40 მემბრანის ქიმიური მედეგობის გამოკვლევა ხდებოდა აღნიშნული იონების მიმართ გამოკვლევული იყო მემბრანების: MA -40 და MK-40 მედეგობა ტყვიის ნიტრატის 1%, კალიუმის ბიქრომატის 0,1% წყალხსნარებზე და ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლებზე აღნიშნული იმიტატებით 20°C და 50°C ტემპერატურებზე. მდგრადობის კრიტერიუმად მიღებული იყო იონმცვლელი მემბრანების ფუნქციური მახასიათებლები: სრული გაცვლითი ტევადობა (სგტ), სელექტიურობა, ხვედრითი ელექტროწინალობა, გაჯირჯვების ხარისხი.

კვლევის შედეგები მოტანილია ცხრლებში: 1 ÷ 6 :

1% ტყვიის ნიტრატთან ხანგრძლივი კონტაქტის შემდეგ, შეიმჩნევა MK-40 და MA-40 გაცვლითი ტევადობის მკვეთრი შემცირება გამოცდის დასაწყისში, როგორც 20°C, ასევე 50°C ტემპერატურაზე, რაც სავარაუდოდ უკავშირდება აქტიური ჯგუფების დეგრადაციას მჟავა არის მოქმედებით, რომელიც წარმოიქმნება ტყვიის ნიტრატის ჰიდროლიზით. ათი დღის ექსპოზიციის შემდეგ, მემბრანის სრული გაცვლითი ტევადობა პრაქტიკულად უცვლელია, აგრეთვე შეიმჩნევა მემბრანის გაჯირჯვების გაზრდა

სისქეში, რაც განპირობებული უნდა იყოს შემაკავშირებელი ბმების თერ-  
მული დეგრადაციით (ცხრილი 1).

**ცხრილი 1. მემბრანის მახასიათებლები 20 ტემპერატურაზე 0,1% ტყვიის  
ნიტრატის ხსნარისათვის.**

გამოცდის დრო დღე/ღამე	მოცულობითი ტევადობა მგ.ექვ./გ		ხვედრითი ელექტრო- გამტარობა ომი <sup>-1</sup> , სმ <sup>-1</sup>		გაჯირჯვება სისქეში, %		სელექტიურობა, %	
	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40
1	3,3	2,1	620	320	329	112	79	80
10	2	1,2	620	-	123	110	76	80
17	-	1,1	-	-	125	117	73	80
25	2,5	1,2	-	-	128	118	73	79
35	1,9	1,2	560	310	128	117	-	79
42	1,9	1,5	500	305	134	117	73	79

როგორც ცხრილიდან ჩანს შემცირდა ხვედრითი ელექტროგამტარობა, რაც  
სავარაუდოდ გამოწვეულია MA-40 იონური ჯგუფების დეგრადაციით და  
MK-40 მემბრანის კარკასის თერმული დაშლით, რაც მტკიცდება სრული  
გაცვლითი ტევადობის შემცირებით და გაჯირჯვების გადიდებითაც.  
მემბრანის სელექტიურობა 20°C და 50°C ტემპერატურებზე პრაქტიკულად  
არ იცვლება (ცხრილი 2).

**ცხრილი 2. მემბრანის მახასიათებლები 50°C ტემპერატურაზე 0,1% ტყვიის ნიტრა-  
ტის ხსნარისთვის**

გამოცდის დრო დღე/ღამე	მოცულობითი ტევადობა მგ.ექვ./გ		ხვედრითი ელექტროგამტა- რობა ომი <sup>-1</sup> , სმ <sup>-1</sup>		გაჯირჯვება სისქეში, %		სელექტიურობა, %	
	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40
1	2,2	1,3	575	300	129	121	70	79
10	1,6	1,2	575	-	129	118	71	75
17	1,5	1,1	-	-	131	118	70	80
25	1,6	1,1	579	300	131	118	-	70
35	1,6	1,2	-	-	131	127	-	79
42	1,5	1,3	500	300	131	118	70	79

როგორც მოსალოდნელი იყო 0,1% კალიუმის ბიქრომატის ხსნარის მიმართ მემბრანების ქიმიური მედეგობა შემცირებულია, რაც აიხსნება მემბრანის სრული გაცვლითი ტევადობის მკვეთრი შემცირებით 50°C ტემპერატურაზე. ეს აიხსნება იოგენური ჯგუფების დეგრადაციით, კალიუმის ბიქრომატის ჟანგვითი მოქმედებით მაღალ ტემპერატურაზე და ხვედრითი ელექტროგამტარობის მკვეთრი შემცირებით (ცხრილი 3).

**ცხრილი 3. მემბრანის მახასიათებლები 20°C ტემპერატურაზე 0,1% კალიუმის ბიქრომატის**

გამოცდის დრო დღე/ღამე	მოცულობითი ტევადობა მგ.ექვ./გ		ხვედრითი ელექტროგამტარობა ომი <sup>-1</sup> , სმ <sup>-1</sup>		გაჯირჯვება სისქეში, %		სელექტიურობა, %	
	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40
1	1,8	1,3	8200	9500	125	128	83	99
10	-	-	1810	1800	124	127	80	98
17	1,6	1,1	2000	1860	128	127	78	98
25	1,5	1,1	-	-	127	129	80	94
35	-	1,1	-	1830	128	129	77	95
42	-	-	1690	-	128	130	80	97

სრული გაცვლითი ტევადობის შემცირებაზე მიუთითებს მემბრანის სისქის გაჯირჯვების გაზრდა 50°C ტემპერატურაზე.

MA-40 მემბრანის სელექტიურობა 0,1% კალიუმის ბიქრომატის ხსნარის ხანგრძლივი მოქმედებით, როგორც 20°C, ასევე 50°C ტემპერატურებზე, პრაქტიკულად უცვლელია (ცხრილი 4).

**ცხრილი 4. მემბრანის მახასიათებელი 50°C ტემპერატურაზე 0,1% კალიუმის ბიქრომატის ხსნარისთვის**

გამოცდის დრო დღე/ღამე	მოცულობითი ტევადობა მგ.ექვ./გ		ხვედრითი ელექტროგამტარობა ომი <sup>-1</sup> , სმ <sup>-1</sup>		გაჯირჯვება სისქეში, %		სელექტიურობა, %	
	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40
1	1,43	0,8	2474	1225	136	135	82	98
10	1,2	0,6	-	-	136	142	80	97
17	1,4	0,3	-	-	135	137	78	93
25	1,2	0,3	556	880	138	137	80	87
35	1,0	0,1	446	630	138	140	80	75
42	1,0	0,1	-	-	139	140	80	75

მემბრანის ქიმიურ მედეგობაზე ჩატარებულმა ცდებმა გვიჩვენა (ცხრილი 5, 6), რომ ჩამდინარე წყლებში მემბრანების ხანგრძლივი კონტაქტის დროს, მათი ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური თვისებები პრაქტიკულად არ იცვლება.

ამრიგად, მემბრანის ქიმიური მედეგობის შესწავლის შედეგად, შიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების ელექტროდიალიზური გაწმენდისათვის მიზანშეწონილია MA-40 და MK-40 მემბრანების გამოყენება.

**ცხრილი 5. მემბრანის მახასიათებლები 20°C ტემპერატურაზე, ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლისთვის**

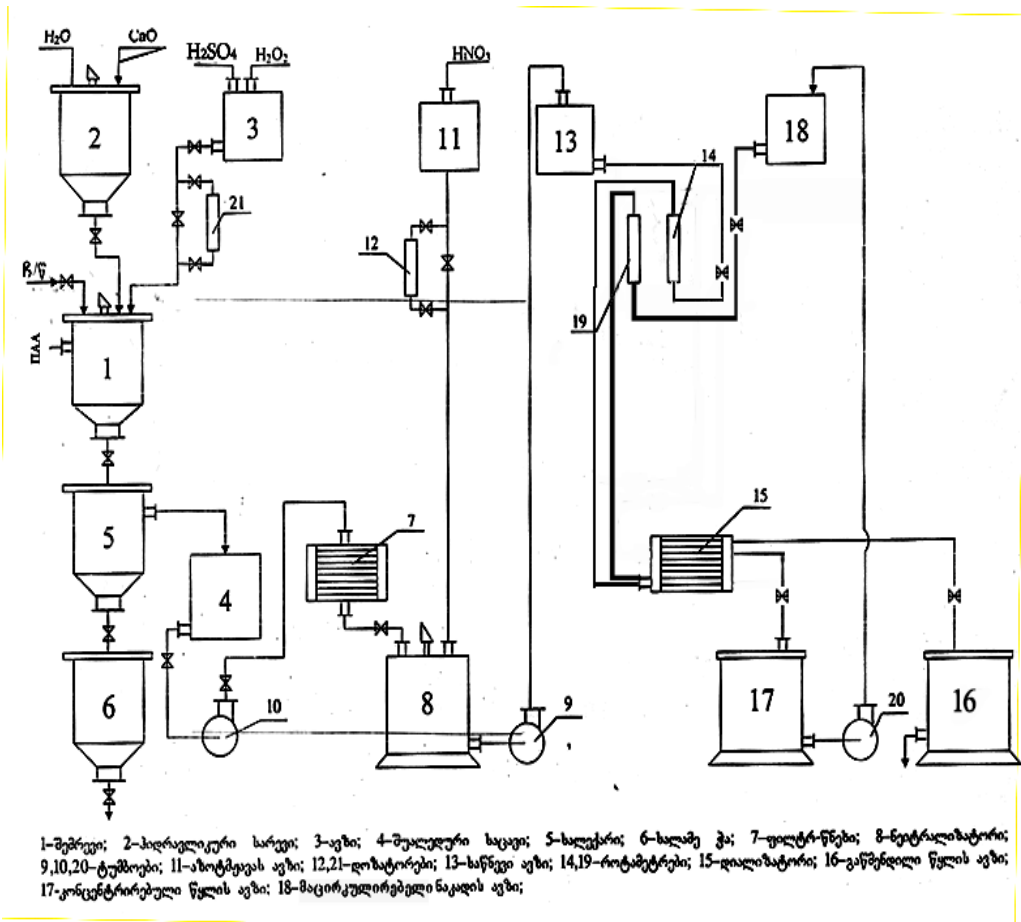
გამოცდის დრო დღე/ღამე	მოცულობითი ტევადობა მგ.ქვ./გ		სელექტიურობა %		სიმტკიცე გაწვევაზე, კგ/სმ <sup>2</sup>		ფარდობითი წაგრძელება%	
	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40
1	1	0,7	70	91	164	147	22	28
10	1	1	68	98	-	130	20	27
17	0,6	-	68	98	147	142	-	20
25	1	-	63	98	166	150	28	20
35	1	0,7	71	98	154	140	30	23
42	1	0,7	73	95	161	130	24	23

**ცხრილი 6. მემბრანის მახასიათებლები 50°C ტემპერატურაზე ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლისთვის**

გამოცდის დრო დღე/ღამე	მოცულობითი ტევადობა მგ.ქვ./გ		სელექტიურობა %		სიმტკიცე გაწვევაზე, კგ/სმ <sup>2</sup>		ფარდობითი წაგრძელება%	
	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40	MA-40	MK-40
1	1	-	70	93	150	140	29	25
10	1	0,7	65	98	160	147	24	21
17	1	0,8	64	98	158	140	30	20
25	0,8	-	64	98	150	-	26	21
35	1	0,7	68	97	160	136	31	27
42	1	0,8	72	97	163	146	36	24

## ექსვალენტიანი ქრომისა და ტყვიის კონცენტრირების გამოკვლევა ელექტროდიალიზის პროცესში

ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლის გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი სქემით (ნახ. 1).



**ნახ. 1. ტყვიის კრონის წარმოებაში არსებული ჩამდინარე წყლის  
გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემა**

ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყალი მიეწოდება შემრევს 1, აქვე ხდება შემჟავებისათვის  $H_2SO_4$  მიწოდება. ჩამდინარე წყალში ექსვალენტიანი ქრომის ( $Cr^{+6}$ ) იონების შემცველობის შემთხვევაში, ავზიდან 3, დოზატორის 21 გავლით, შემრევში 1 ჩაედინება წყალბადის ზეჟანგის -  $H_2O_2$  განსაზღვრული რაოდენობა, რომელიც მიეწოდება კალციუმის ჰიდროქ-

სიდის მიწოდებამდე. კალციუმის ჰიდროქსიდის ხსნარი მზადდება ჰიდრაულიკურ სარევი 2. ჰიდრაულიკურ სარევი 2 ერთდროულად თვითდინებით მიეწოდება წყალი და ემატება კალციუმის ოქსიდის (CaO) განსაზღვრული რაოდენობა. შემრევიდან 1 წყალი თვითდინებით მიეწოდება უწყვეტი მოქმედების სალექარს 5. დაწდომილი ხსნარი თვითდინებით გადადის სალექარის შუალედურ საცავში 4, საიდანაც ტუმბო 10 საშუალებით მიეწოდება ფილტრიწნეს 7 და გროვდება ნეიტრალიზატორში 8. სანეიტრალიზაციო მოცულობაში 8, აზოტმჟავას მიწოდება ხდება საცავიდან 11, დოზატორ 12 გავლით, ხოლო 5 სალექარიდან შლამი გადადის სალამე ჭაში 6. ნეიტრალიზაციის შემდეგ ნეიტრალიზატორიდან 8, ჩამდინარე წყალი ტუმბო 9 საშუალებით მიეწოდება საწნევ ავზს 13, საიდანაც გამოსვლისას იყოფა ორ ნაკადად. პირველი ნაკადი როტამეტრით 14 შედის ორსაფეხურიან ელექტროდიალიზატორის 15 ქვედა ნაწილში - გამწმენდ კამერაში თანმიმდევრობით გაივლის რა ყველა გამწმენდ საკანს, გაწმენდილი წყალი გამოდის ორსაფეხურიანი ელექტროდიალიზატორის 15 ზედა ნაწილიდან და ჩაედინება გაწმენდილი წყლის ავზში 16.

ამავდროულად, კონცენტრირებული წყლის ავზიდან 17, კონცენტრირებული ხსნარი ტუმბოთი 20 მიეწოდება საწნეო ავზს 18 და როტამეტრი 19 გაივლით შედის მაკონცენტრირებელ საკანში, გაივლის რა ყველა მაკონცენტრირებელ საკანს, მარილხსნარი გამოდის ორსაფეხურიანი ელექტროდიალიზატორის 15 ზედა ნაწილიდან და ჩაედინება უკან კონცენტრირებული წყლის ავზში 17.

თანმიმდევრულად განლაგებულ გამწმენდ და მაკონცენტრირებელ საკნებში დიალიზატი (გასაწმენდი წყალი) და მარილხსნარი (კონცენტრატი) უწყვეტი, პარალელური, დამოუკიდებელი ნაკადის სახით მოძრაობს. ელექტრული დენის გავლით მიმდინარეობს იონების მიმართული მოძრაობა, რომლის შედეგადაც ხორციელდება ნივთიერების გადატანა გამწმენდ საკნიდან მაკონცენტრირებელ საკანში, გაწმენდილი წყალი შედის ავზში 16, ხოლო ცირკულირებადი ავზში 17 საიდანაც ისევ გადადის ელექტრო-

დიალიზატორის მაკონცენტრირებელ საკანში. ცირკულაციის შედეგად მაკონცენტრირებელი ხსნარის ავზში მიიღება 25% -იანი კონცენტრატი.

ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების გამოკვლევის პროცესში პირველ რიგში შევისწავლეთ ექვსვალენტიანი ქრომის სამვალენტიანში გადაყვანის პროცესი. ჩვენ მიერ Cr(VI)-ის აღმდგენლად Cr(III)-მდე გამოვიყენეთ წყალბადის ზეჟანგი.

წყალბადის ზეჟანგი (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), შესაძლებელია, გახდეს პერსპექტიული კონცენტრირებული ქრომშემცველი ჩამდინარე წყლების შეზღუდული მოცულობის დამუშავებისას.

ექვსვალენტიანი ქრომის გადასაყვანად სამვალენტიანში აღმდგენლების გამოყენებით საჭიროა ძლიერ მჟავა არე pH=2 (არაუმეტეს pH = 3) და სარეაქციო ნარევის დუღილი. მჟავა არეში წყალბადის პეროქსიდის მოქმედებით ქრომის ექვსვალენტიანი იონები გადადის სამვალენტიან ქრომში



კონცენტრირებული გოგირდმჟავას მოქმედებით კალიუმის ქრომატის და ტყვიის იონების საკვლევი წყალხსნარი დაიყვანება pH=3 და მუშავდება წყალბადის პეროქსიდით. ამ დროს ხსნარის მოყვითალო ფერი გადადის მომწვანო შეფერილობაში, რადგანაც სამვალენტიანი ქრომის იონები მწვანე შეფერილობისაა. დამატებული წყალბადის პეროქსიდის ოპტიმალური რაოდენობა შეიძლება დადგენილი იყოს თეორიულად.

წყალბადის პეროქსიდის ოპტიმალური რაოდენობა განსაზღვრული იყო ექსპერიმენტულად. საკვლევი 100 მლ ხსნარი pH=1 პირობებში მუშავდება წყალბადის პეროქსიდის 30% ხსნარის მზარდი რაოდენობით ექსპერიმენტის შედეგები მოცემულია ცხრილში 7.

ცდების შედეგებმა უჩვენა, რომ წყალბადის პეროქსიდის ოპტიმალური რაოდენობა ნაკლებია შედარებით თეორიულთან და 1გრ. ექვსვალენტიანი ქრომის გადასაყვანად სამვალენტიანში საჭიროა 0,11 გრ. წყალბადის ზეჟანგი.

**ცხრილი 7. წყალბადის პეროქსიდის ოპტიმალური რაოდენობა**

30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> რაოდენობა, მლ	ქრომის იონების კონცენტრაცია მგ/ლ			ფერის შეცვლა, წმ
	საერთო	დამუშავების შემდეგ	Cr <sup>+3</sup>	
0,02	31	1,5	29	120
0,05	30,5	0	30	50
0,1	35	0	35	35
0,15	35	0	35	40

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

დადგენილი იყო ამ პროცესის ოპტიმალური პირობები. ჰიდროქსიდების სრული გამოლექვა მიმდინარეობს pH=11-11,5-ის დროს. ამ მაჩვენებელზე დაბალი pH-ის დროს მიმდინარეობს არასრული გამოლექვა, ხოლო უფრო მაღალი pH-ის დროს ტყვიის ჰიდროქსიდი ნაწილობრივ იხსნება არეში. ცხრილი 8.

**ცხრილი 8. 5% Ca(OH)<sub>2</sub> ოპტიმალური რაოდენობა**

საწყისი კონცენტრაცია მგ/ლ		pH	5% Ca(OH) <sub>2</sub> რაოდენობა მლ	იონების კონცენტრაცია დამუშავების შემდეგ მგ/ლ	
Cr <sup>+3</sup>	Pb <sup>+2</sup>			Cr <sup>+3</sup>	Pb <sup>+2</sup>
35	7	9	15	5	2
35	7	11	20	0	0
35	7	11,5	25	0	2,5

კალციუმის ჰიდროქსიდის 5% ხსნარის ოპტიმალური რაოდენობა pH=11-11,5 მისაღებად შეადგენს 20მგ/ლ. სამვალენტიანი ქრომის რაოდენობა ჩამდინარე წყალში არ უნდა აღემატებოდეს 35 მგ/ლ, ხოლო ტყვიის შემცველობა - 7 მგ/ლ.



წინასწარ დამუშავებული ჩამდინარე წყალი ელექტროდიალიზური გაწმენდის წინ ნეიტრალდება აზოტმჟავითი, რომლის pH=5-5,5. ელექტროდიალიზის პროცესის დროს, ჩამდინარე წყლის pH იზრდება 6-7-მდე, ნიტრატებისგან გასუფთავების შედეგად. საწყისი მნიშვნელობის გაზრდისას ჩამდინარე წყალს აქვს ტუტე არე.

მარილხსნარი წარმოადგენს თხევად სასუქს, რომელიც შეიცავს ნატრიუმის და კალიუმის ნიტრატს. მარილხსნარის კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს გაწმენდის ხარისხის შემცირებას მაკონცენტრირებული კამერიდან გამწმენდ კამერაში ნაკადის წარმოქმნის გამო. ცხრილი 9.

**ცხრილი 9. მარილხსნარის ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებლები და ზღვრული კონცენტრაცია**

ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებლები	მარილხსნარის კონცენტრაცია %		
	15	25	55
pH	6	6	6
ქქმ მგO <sub>2</sub> /ლ	2	2	4
მშრალი ნაშთი გ/ლ	0,03	0,03	0,1
სიხისტე მგ.ექვ/ლ	0,3	0,3	0,4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> მგ/ლ	0	0	0

დადგინდა, ჩამდინარე წყლების ელექტროდიალიზური გაწმენდის ოპტიმალური რეჟიმი. ნაკადის ოპტიმალური სიჩქარე არის 5 ლ/სთ-ში, დენის ძალა - 2 ამპერი, როცა მარილხსნარის კონცენტრაცია 25%, ხოლო 5% კალციუმის ჰიდროქსიდის ოპტიმალური რაოდენობა - 20მლ/ლ. ძაბვა 100 – 140 ვოლტი.

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ 0,25 ა/სმ<sup>2</sup> მაღალი დენის სიმკვრივეზე გამწმენდ კამერებში მემბრანების კონცენტრაციის პოლარიზაციის გამო იზრდება ხსნარის pH და სამვალენტური ქრომი წარმოქმნის ჰიდროქსიდის ნალექს. ჩამდინარე წყალი ხდება მღვრიე. გაწმენდის ხარისხი 10–30% შეადგენს. გამოკვლეულია მაკონცენტრირებულ საკანში კონცენტრაციული

პოლარიზაციის პირობები. დადგინდა, რომ კონცენტრაციული პოლარიზაცია იწყება  $2\text{ ა/სმ}^2$  -ს ზევით.

ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად იონმცვლელი მემბრანების გამოყენება ელექტროდიალიზური მეთოდით მოითხოვს კვლევების ჩატარებას როგორც ცალკეული იონებისათვის ასევე ამ იონების ერთად ყოფნისას. ამიტომ ჩატარებული იყო ექვს და სამვალენტიანი ქრომისა და ტყვიის შემცვლელი მოყვითალო ხსნარების გამოკვლევა ელექტროდიალიზით.

კვლევის ობიექტად აღებული იყო ტყვიის და ქრომის ნიტრატებისა და ქრომატის  $0,1\%$  -იანი წყალხსნარები.  $0,1\%$  ტყვიის ნიტრატის ოპტიმალური პირობებია - ძაბვა 100 ვოლტი, დენის სიმკვრივე  $0,0046\text{ ა/სმ}^2$ , დენის გამოსავალი  $53\%$  და გაწმენდის ხარისხი  $100\%$ . ცხრილი 10.

**ცხრილი 10. ტყვიის ნიტრატის ოპტიმალური პირობების გამოკვლევა**

ძაბვა ვოლტი	0,1 % ხსნარი $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$					
	5 ლ/სთ			10 ლ/სთ		
	დენის სიმკვრივე ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენზე %	გაწმენდის ხარისხი %	დენის სიმკვრივე ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენზე %	გაწმენდის ხარისხი %
50	0,003	79	100	0,003	39	20
100	0,0046	53	100	0,0063	79	100

დადგენილი იქნა ქრომის ნიტრატის ოპტიმალური პირობები 5ლ/სთ მიწოდების სიჩქარის დროს 200 ვოლტ ძაბვაზე - დენის სიმკვრივე  $0,016\text{ ა/სმ}^2$ , გამოსავალი დენზე  $64\%$ , გაწმენდის ხარისხი  $100\%$ . ცხრილი 11.

**ცხრილი 11. ქრომის ნიტრატის ოპტიმალური პირობების გამოკვლევა**

ძაბვა ვოლტი	0,1 % ხსნარი $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$					
	5 ლ/სთ			10 ლ/სთ		
	დენის სიმკვრივე ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენზე %	გაწმენდის ხარისხი %	დენის სიმკვრივე ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენზე %	გაწმენდის ხარისხი %
50	0,016	38	49	0,016	75	49
100	0,016	51	66	0,016	80	63
150	0,016	64	69	0,025	63	66
200	0,016	64	100	0,044	38	69

დადგენილი იქნა ქრომის ნიტრატის ოპტიმალური პირობები 5ლ/სთ მიწოდების სიჩქარის დროს 200 ვოლტ ძაბვაზე - დენის სიმკვრივე 0,016 ა/სმ<sup>2</sup>, გამოსავალი დენზე 64%, გაწმენდის ხარისხი 100%. ცხრილი 12.

**ცხრილი 12. ქრომატიონების ოპტიმალური პირობების გამოკვლევა.**

ძაბვა ვოლტი	0,1% ხსნარი K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>					
	5 ლ/სთ			10 ლ/სთ		
	დენის სიმკვრივე ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენზე %	გაწმენდის ხარისხი %	დენის სიმკვრივე ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენზე %	გაწმენდის ხარისხი %
50	0,002	66	80	0,0018	50	79
100	0,018	65	80	0,002	55	99
150	0,018	65	99	0,002	55	99
200	0,018	60	99	0,002	55	99

0,1% K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> წყალხსნარის ოპტიმალური პირობებია - ხსნარის მიწოდების სიჩქარე 10ლ/სთ, ძაბვა 200 ვოლტი, დენის სიმკვრივე 0,002 ა/სმ<sup>2</sup>, გამოსავალი დენზე 55%, გაწმენდის ხარისხი 99%.

**ცხრილი 13. Cr<sup>+3</sup> და Pb<sup>+2</sup> გაწმენდის ოპტიმალური პირობები ერთად ყოფნის დროს**

ძაბვა ვოლტი	დენის სიმკვრივე ა/სმ <sup>2</sup>	გაწმენდის ხარისხი %		გამოსავალი დენზე %	ხსნარის მიწოდების სიჩქარე ლ/სთ
		Cr <sup>+3</sup>	Pb <sup>+2</sup>		
50	0,02	80	90	50	5
100	0,045	87	95	63	5
150	0,07	95	98	58	5
200	0,15	95	98	53	5

ტყვიისა და ქრომატ იონების ერთად ყოფნისას, დადგინდა ხსნარის ოპტიმალური პირობები 100 ვოლტ ძაბვაზე. ხსნარის მიწოდების სიჩქარეა 5ლ/სთ, დენის სიმკვრივე 0,0076 ა/სმ<sup>2</sup>, გამოსავალი დენზე 70%, ხოლო გაწმენდის ხარისხი ტყვისთვის არის 100% და ქრომატ იონებისთვის 99%. ცხრილი 14.

ცხრილი 14.  $Pb^{+2}$  და  $CrO_4^{-2}$  იონების წყალხსნარის ოპტიმალური პირობები

დენის ძაბვა, ვოლტი	$Pb^{+2}$ და $CrO_4^{-2}$ ხსნარის მიწოდების სიჩქარე, ლ / სთ											
	2				5				10			
	დენის სიმკვრივე, ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენ-ზე %	გაწმენდის ხარისხი %		დენის სიმკვრივე, ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენ-ზე %	გაწმენდის ხარისხი %		დენის სიმკვრივე, ა/სმ <sup>2</sup>	გამოსავალი დენ-ზე %	გაწმენდის ხარისხი %	
			$Pb^{+2}$	$CrO_4^{-2}$			$Pb^{+2}$	$CrO_4^{-2}$			$Pb^{+2}$	$CrO_4^{-2}$
50	0,0032	60	100	99,7	0,0046	50	100	99	0,0076	68	66	99
100	0,0038	58	100	99	0,005	56	100	99	0,0076	70	100	99

### ელექტროდიალიზური და ნანოფილტრაციული მეთოდების შედარება

ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ელექტროდიალიზურ პროცესთან შესადარებლად ავირჩიეთ ნანოფილტრაციული პროცესი. ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდის პროცესისათვის, ნანოფილტრაციული კვლევა ტარდებოდა საინჟინრო მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტში შექმნილ ტანგენციულ ნანოფილტრაციულ ხელსაწყოზე.

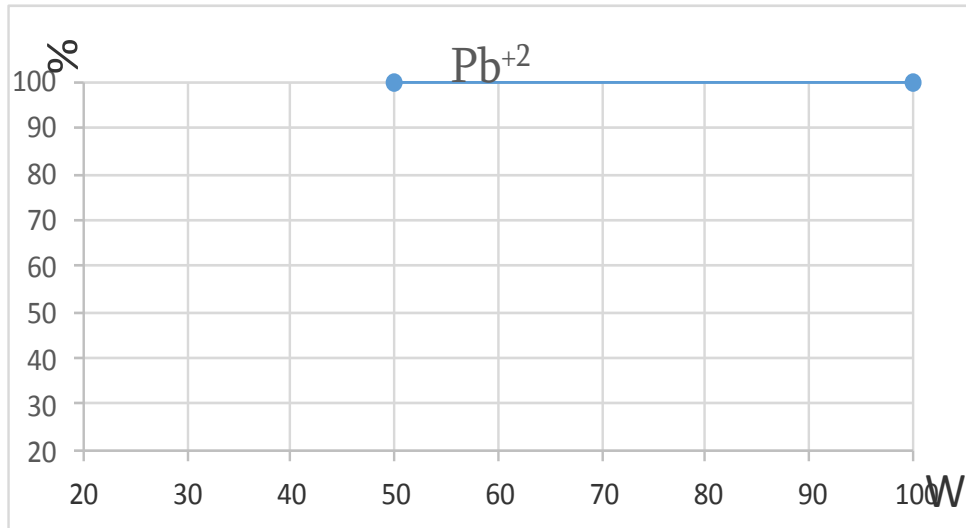




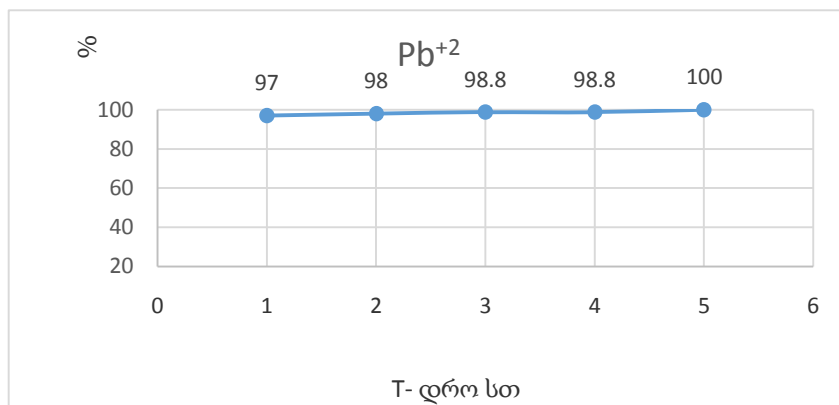
ნახ. 2. ნანოფილტრაციული დანადგარი

ნანოფილტრაციული პროცესის სრულყოფილად განხორციელება შესაძლებელია მხოლოდ ტანგენციალური ფილტრაციის მემბრანულ დანადგარზე. პროცესის განხორციელება მიზანშეწონილი არის წნევის იმპულსური ნახტომებისა და ჰიდრავლიკური დარტყმების მაქსიმალურად შემცირებით, რადგან არ მოხდეს მემბრანის მწყობრიდან გამოსვლა და მემბრანული აპარატის პლასმასის დეტალების დეფორმირება. მაღლი წნევის ტუმბოს საშუალებით საწყისი სითხე უწყვეტად მიეწოდება ნანოფილტრაციულ სისტემას. მემბრანულ სისტემაში საწყისი სითხე იყოფა დაბალი მარილშემცველობის ნაკადად, რომელსაც გაწმენდილი პროდუქტი ანუ ფილტრატი ეწოდება, ხოლო მაღალი კონცენტრაციის მქონე ნაკადის სახით მიიღება რენტერნატი. კონცენტრატის რაოდენობისა და წნევის მარეგულირებელი საკეტი ასევე ახდენს ზემოქმედებას პერმიატის რაოდენობის სიდიდეზე. ამ პრინციპზე მომუშავე მემბრანული მოდულები გამოიყენება ხსნარის დიდი რაოდენობის, მაღალი კონცენტრაციისა და ხანგრძლივი დროით ექსპლოატაციისათვის. მემბრანულ აპარატში საწყისი სითხის შესასვლელისა და კონცენტრატის გასასვლელის მეშვეობით ხორციელდება დასამუშავებელი ხსნარის ცირკულაცია.

ელექტროდიალიზისა და ნანოფილტრაციის პროცესის, ძაბვისა და დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე წარმოდგენილია გრაფიკულად. ტყვის იონებისათვის ორივე პროცესისათვის შეადგენს 100%. ნახ.3-4.

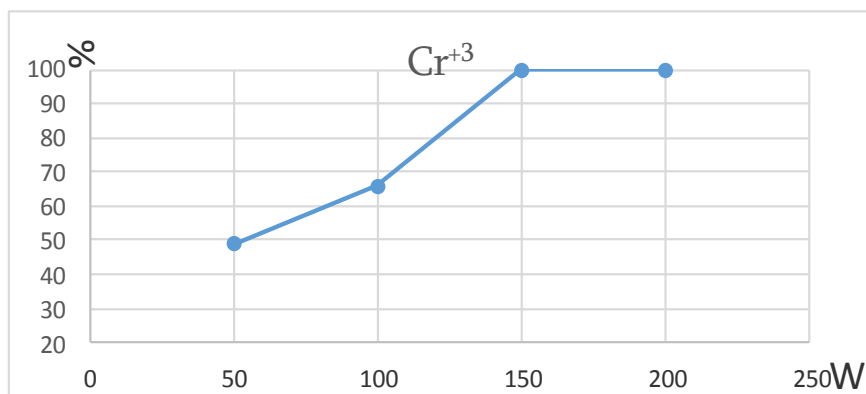


ნახ. 3. ელექტროდიალიზის პროცესის დროს ძაბვის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე 0,1 %  $Pb(NO_3)_2$ -თვის

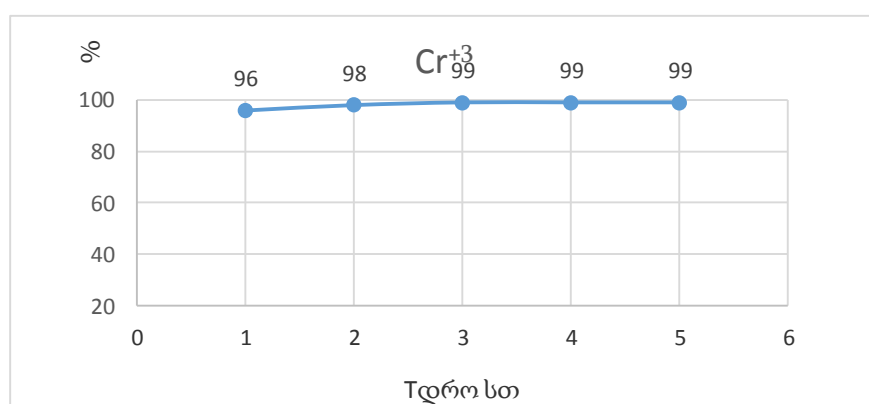


ნახ. 4. ნანოფილტრაციის პროცესის დროს, დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე 0,1 %  $Pb(NO_3)_2$  -თვის

სამვალენტიალი ქრომისთვის ძაბვისა და დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე ელექტროდიალიზისთვის შეადგენს 100%, ნანოფილტრაციისთვის 99%. ნახ. 5-6.

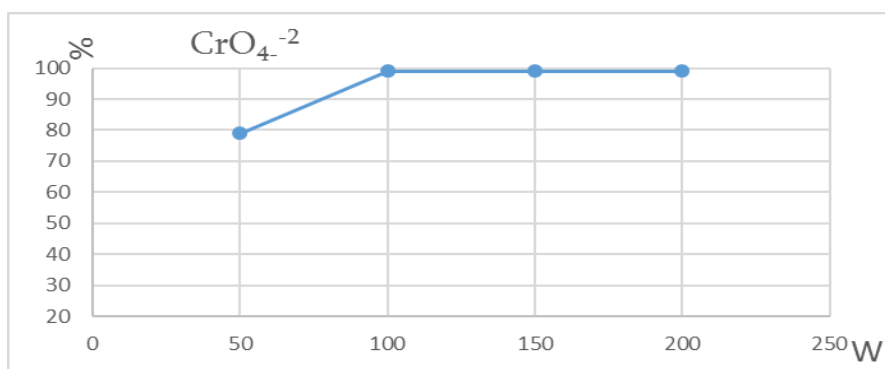


ნახ.5. ელექტროდიალიზის პროცესის დროს ძაბვის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე 0,1 % Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-თვის

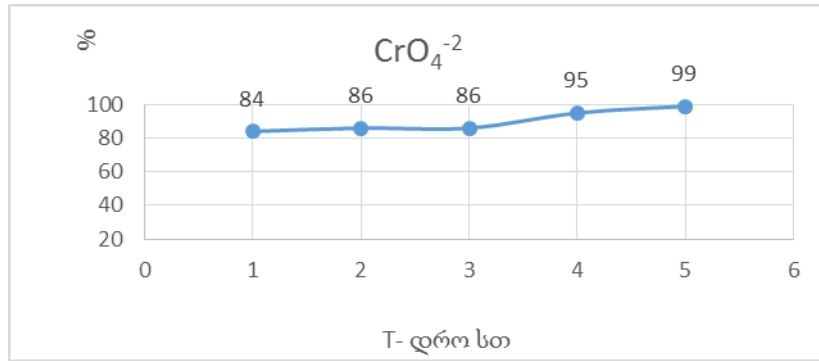


ნახ.6. ნანოფილტრაციის პროცესის დროს, დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე 0,1 % Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-თვის.

ელექტროდიალიზური პროცესის დროს ძაბვის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე ქრომატ იონებისათვის ტოლია 100%-ის, ხოლო ნანოფილტრაციას დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე შეადგენს 99% -ს. ნახ.6 -7.

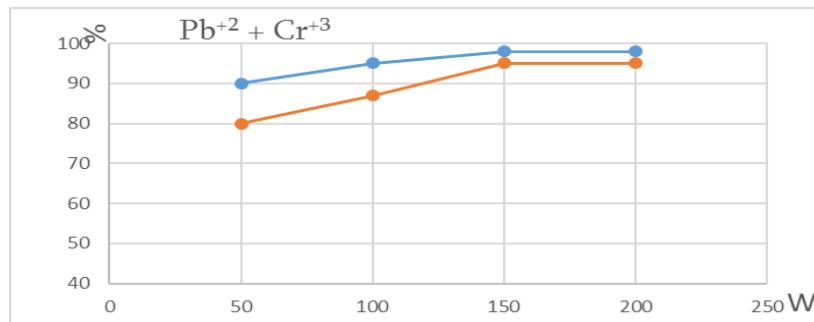


ნახ.6. ელექტროდიალიზის პროცესის დროს ძაბვის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე 0,1 % K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>-თვის

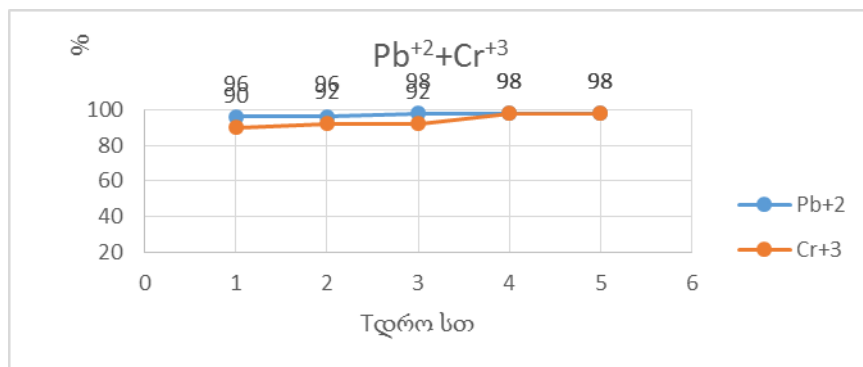


ნახ.7. ნანოფილტრაციის პროცესის დროს, დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე 0,1 %  $K_2CrO_4$  -თვის

სამვალენტიანი ქრომისა და ტყვიის იონების ერთობლივი შემცველობისას ელექტროდიალიზური პროცესისთვის გაწმენდის ხარისხი ტყვიის იონებისთვის შეადგენა 99% და ქრომი (III) 98%. ნანოფილტრაციისას კი როგორც ტყვიის ისე ქრომის იონებისთვის ტოლია 98%. ნახ.8 -9.



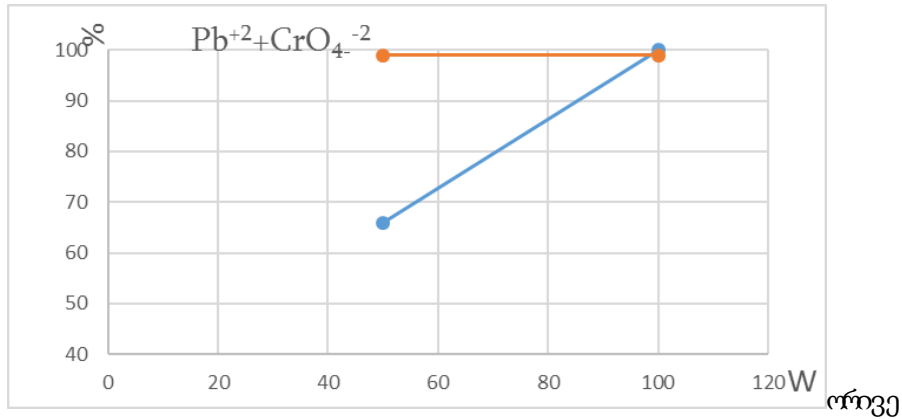
ნახ.8. ელექტროდიალიზის პროცესის დროს, ძაბვისა დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე .იონების ( $Pb^{+2} + Cr^{+3}$ ) ერთად ყოფნისას



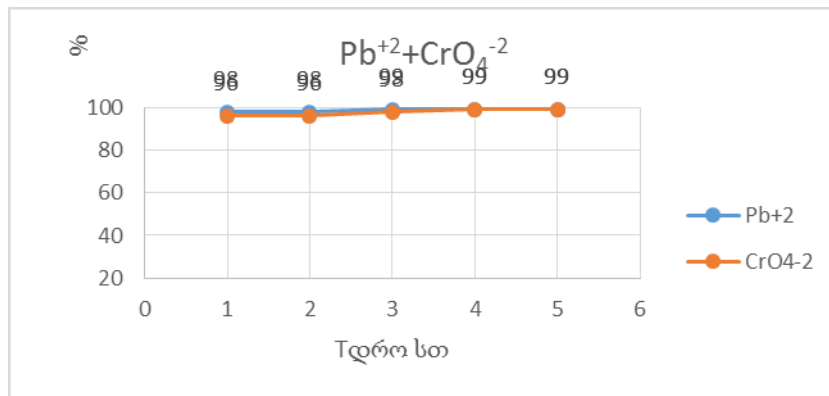
ნახ.9. ნანოფილტრაციის პროცესის დროს, დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე იონების ( $Pb^{+2} + Cr^{+3}$ ) ერთად ყოფნისას



$Pb^{+2}$  და  $CrO_4^{-2}$  ერთობლიობა გვიჩვენებს, რომ ელექტროდიალიზის გაწმენდის ხარისხი არის  $Pb^{+2}$  -100% და  $CrO_4^{-2}$  – 99%. ნანოფილტრაციის 99%.ნახ. 10-11.



ნახ.10. ელექტროდიალიზის პროცესის დროს, ძაბვის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე იონების ( $Pb^{+2} + CrO_4^{-2}$ ) ერთად ყოფნისას

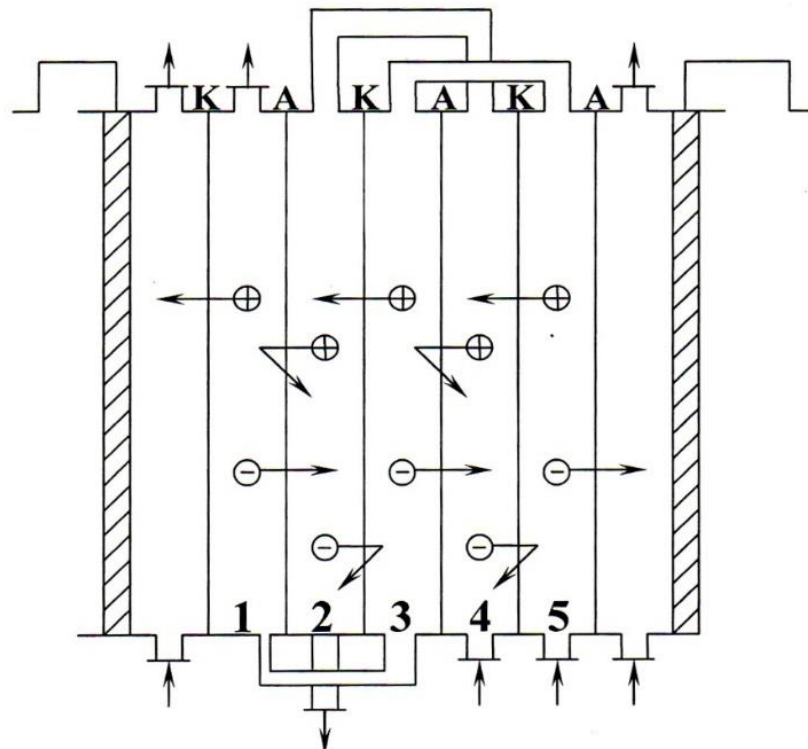


ნახ.11. ნანოფილტრაციის პროცესის დროს, დროის დამოკიდებულება გაწმენდის ხარისხზე იონების ( $Pb^{+2} + CrO_4^{-2}$ ) ერთად ყოფნისას

ჩვენ მიერ არჩეული იქნა გაწმენდის ელექტროდიალიზური მეთოდი. ჩამდინარე წყლის გაწმენდის ელექტრომემბრანული სისტემის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია ნახ. 12.

მრავალკამერიან ელექტროდიალიზატორში  $q$  ფარადების დენის გავლას მიყვევართ კატიონების  $q$  ექვივალენტის გადატანაზე მე-3 საკნიდან მე-2 საკანში კათიონიტური მემბრანის გავლით და ანიონების  $q$  ექვივალენტის გადატანაზე მე-4 საკანში ანიონიტური მემბრანის გავლით. ერთდროულად მე-2 საკანში გადაიტანება ანიონების  $q$  ექვივალენტი პირველი საკნიდან

ანიონიტური მემბრანის გავლით, ხოლო მე-4 საკანში მე-5 საკნიდან კათიონიტური მემბრანის გავლით კათიონების ექვივალენტი (ნახ. 12).



**ნახ. 12. მრავალკამერიანი ელექტროდიალიზატორის მოქმედების სქემა იონგაცვლითი მემბრანებით**

ამრიგად, ე ფარადეის დენის გავლისას 1,3,5, საკნები ღარიბდება ანიონებისა და კათიონების ექვივალენტით, ხოლო 2,4 საკნები კი მდიდრდება.

კვლევის საფუძველზე უპირატესობა მივანიჭეთ ელექტროდიალიზურ მეთოდს, რადგან მრავალსაკნიან ელექტროდიალიზის მოქმედების პრინციპიდან გამომდინარე, მასში ერთი ფარადეი დენის გავლა იწვევს ნივთიერების იმდენი ექვივალენტის გადატანას მემბრანაში, რამდენი საკნისგანაც შედგება ელექტროდიალიზატორი. ამით აიხსნება ელექტროდიალიზური მეთოდის მცირე ენერგოტევადობა, სხვა კლასიკურ ელექტროქიმიურ მეთოდებთან შედარებით. ასევე ხასიათდება მცირე მასალატევადობით, რადგანაც მემბრანის რეგენერაცია რეაგენტული მეთოდით კი არ ხდება, არამედ ხორციელდება დენის რეგრესირებით. (მიმართულების შეცვლა).

ელექტროდიალიზური იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით, ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების გაწმენდის შედეგები მოცემულია ცხრილში 15.

**ცხრილი 15. საწყისი, შუალედური და საბოლოო პროდუქტების მაჩვენებლები**

თვისებითი მაჩვენებელი	ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყალი	ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყალი			მარილ-ხსნარი
		დამუშავების შემდეგ	ელექტროდიალიზური გაწმენდის შემდეგ		
			I საფეხური	II საფეხური	
pH	3	11	5	5 -7	6 - 7
ქქმ	60	10	6	3	70
სიმტკიცე	10	13	4	0,5	7,5
Cr <sup>+3</sup> მგ/ლ	35	0	0	0	0
Pb <sup>+2</sup> მგ/ლ	7	კვალის სახით	0	0	0
მშრალი ნაშთი გ/ლ	8	10	3,5	0,015-0,01	2,3

საბოლოოდ მოვახდინეთ რეკომენდირებული მეთოდის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება.

## დასკვნა

1. გამოკვლეულია და შესწავლილია ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლები.
2. დამუშავებულია ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ტექნოლოგია, რეაგენტული და შემდგომ ელექტროდიალიზური მეთოდით.
3. გამოკვლეული ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების გაწმენდისათვის გამოყენებული მემბრანები და დადგენილია მათი ქიმიური მედეგობა  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  და  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე.
4. შესწავლილი და გამოკვლეულია ქრომატის, სამვალენტიანი ქრომის და ტყვიის ნიტრატის ერთობლივი შემცველობისას გაწმენდის ელექტროდიალიზური მეთოდი.
5. დადგენილია ელექტროდიალიზის პროცესისათვის ოპტიმალური პირობები. ელექტროდიალიზური გაწმენდის პროცესის ჩატარება შესაძლებელია 1,5 – 2 ამპერი დენის ძალის დროს, რომელიც შეესაბამება 100–140 ვოლტ ძაბვა.
6. გამოკვლეულია და დადგენილია გაწმენდამდე Cr(VI)-ის Cr(III)-მდე აღდგენის პროცესი წყალბადის ზეჟანგის გამოყენებით.
7. მიღებულია, რომ  $\text{Cr}^{+3}$  და  $\text{Pb}^{+2}$  ჰიდროქსიდის სახით დასალექად საჭირო 5 %-ანი  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის რაოდენობა 20 მლ/ლ,  $\text{pH} = 11-11,5$  დროს.
8. დადგინდა მარილხსნარის ზღვრული კონცენტრაციაა 25%. მარილხსნარში მინერალური მარილების კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა აუარესებს ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ხარისხს.
9. შესწავლილია ელექტროდიალიზურ პროცესში კონცენტრაციული პოლარიზაციის პირობები. კონცენტრაციული პოლარიზაცია იწყება  $2\text{ ა/სმ}^2$  - ის ზევით.
10. შესწავლილია ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების ელექტროდიალიზური გაწმენდის მეთოდი იონმცვლელი მემბრანების

გამოყენებით და ნანოფილტრაციული გაწმენდის მეთოდი. დადგინდა ელექტროდიალიზის უპირატესობა, რომელიც გამოირჩევა მცირე მასალა-ტევადობით და ენერგო ხარჯით, ტექნოლოგიური პროცესის სიმარტივით.

11. დამუშავებულია, შედგენილია ელექტროდიალიზური გაწმენდის პროცესის ტექნოლოგიური სქემა და მომზადებულია საწყისი მონაცემები საცდელ-სამრეწველო დანადგარის პროექტირებისათვის.

12. რეაგენტული და ელექტროდიალიზური პროცესით, ტყვის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლები აკმაყოფილებენ ტექნიკურ წყალის სტანდარტულ მოთხოვნებს.

13. დადგენილია და გამოთვლილია ელექტროდიალიზური პროცესის ეკონომიური ეფექტი. პროცესი ეკონომიური და ეკოლოგიურია.

## დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შრომებში

1. ჩხუბიანიშვილი ნ.გ. მამულაშვილი მ.ა. მჭედლიშვილი გ.მ. ქრისტესაშვილი ლ.ვ. კურცხალია ც.ს. ელექტროდიალიზატორის მაკონცენტრირებელი კამერის ხსნარის ზღრული კონცენტრაცია დადგენა. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი 2'18. ISSN1512-0287, გვ.73-74.
2. მამულაშვილი მ.ა. ჩხუბიანიშვილი ნ.გ. მჭედლიშვილი გ.მ. ტყვიის კრონის წარმოების ჩამდინარე წყლების ელექტროდიალიზური გაწმენდის პროცესის შესწავლა. სტუ შრომები, №1 (511), 2019 გვ. 112-118.
3. ნ. ჩხუბიანიშვილი, მ. მამულაშვილი, გ. მჭედლიშვილი, ლ. ქრისტესაშვილი ტყვიის კრონის წარმოების წყლების გაწმენდა ელექტროდიალიზის მეთოდით. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი ISSN 1512-0686 VOL. 18 № 1, 2018, გვ. 139-142.
4. ჩხუბიანიშვილი ნ.გ., მამულაშვილი მ.ა., მჭედლიშვილი გ.ს., ქრისტესაშვილი ლ.ვ. ტყვიის კრონის ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ელექტროდიალიზური მეთოდის ტექნოლოგიური პროცესის დამუშავება საქართველოს საინჟინრო სიახლენი ISSN 1512-0287, 2' 18, გვ. 71-72.

## Abstract

Modern world experiences the period of increasing impact on environment and based on this global changes. As a result of anthropogenic impact ecological condition has significantly changed. Level of pollution of environment with heavy metals has also increased, that is one of the severe problems of the world. Great concentrations of the metal have the toxic and carcinogenetic impact on living organisms.

Cleaning industrial wastewater, creating non-waste technologies is an important ecological and economical task, which implementation is determined on environment, with the harmful effects of purified technological waters, because of the heavy metals containing ions.

Prospective mean to avoid getting the harmful toxic substances in the headwaters is a local cleaning of the wastewater and implementation of the water turnover technological schemes.

Waters mainly are polluted by industrial wastewater, including wastewater of lead chromate production. Lead chromate is produced from lead nitrate and calcium dichromate relation. Lead chromate's wastewater includes the following admixtures: lead, chrome (on calculation of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), chromate lead, nitrates, sulfates, dry remains. Water pH must be less than 3. will be processed technologies of producing lead chromate cleaning wastewater and salts concentration high-effect membrane, also electrodialysis technology of heavy salt utilization from concentrate and corresponding device will be created.

In order to clean lead chromate wastewater was used reagent and membrane filtration electrodialysis method with ions changing membranes (MA-40 and MK-40). Efficiency of the technology is determined with that electrodialysis method is distinguished with less material and energy capacity, with high level of cleaning water, simple cleaning process, small amount of concentration and salts utilization with the needed economic and ecological processes. In the cleaning process. It does not require reagents excessive expense and regeneration of membrane processes with speed regression.

While researching lead chromate production wastewaters was processed and studied the following issues:

Preliminary processing of lead chromate production wastewaters with reagent method for electrodialysis process. Separation of the lead and chrome with hydroxide and utilization of received salts after electrodialysis. Testing lead chromate wastewater cleaning laboratory device.

While the research was used electrodialysis and nanofiltration cleaning methods. Cleaning was performed during electrodialysis as well as nanofiltration processes. For researching was selected electrodialysis method, as it is distinguished with less material and power capacity, with high quality of water

cleaning, small amount of concentrate and needed economic and ecological processes for salts utilization.

Novelty of the thesis is electrodialysis cleaning of the lead chromate wastewater from lead chromate substances, as well as allocation of metals – lead and chrome hydroxides.

Was studied cation and anion membranes functional characters, selectivity, membrane sustainability 20-50. On this temperature MK -40 and MA-40 membranes are sustainable towards lead chromate wastewater. Membrane features are not worsened and their usage is advisable in electrodialysis process. Also was studied transmission process of lead chromate wastewater  $\text{Cr}^{+6}$  -in  $\text{Cr}^{+3}$  , by using Hydrogen peroxide.

Is determined solution cleaning and salts concentration technological process optimal electric and hydrodynamic technological parameters. Electrodialysis process was performed in circular regime, stable, hydrodynamic was not abolished and cleaning quality amounted 99-100%.

Was determined that for sedimentation as  $\text{Cr}^{+3}$  and  $\text{Pb}^{+2}$  as a hydroxide, 5%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  needed quantity is - 20 ml/l. Electrodialysis cleaning process was performed while 1,5 – 2 amp power volume, which corresponds to 100 – 140V voltage. Saline concentration limit – 25%. Extension of mineral salts concentration in Saline more that the limit, worsens quality of cleaning the wastewater.

Technologies, developed for practical usage has a great significance, as it is distinguished with the process simplicity and longtime usage of membranes. Protecting headwaters from impact of the toxic and carcinogen acting metals.

Is processed technological scheme and prepared preliminary data for testing-industrial device project.

It was determined that it is possible to clean lead chromate production headwaters and return in technological cycle, and use the salts received in the form of the admixtures as fertilizers. Production cleaned water satisfies the technical water standard requirements.