

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მიხეილ ონიაშვილი

სხვადასხვა დანამატების გამოყენებით ჭაბურღილების დაცემენტებისას ცემენტის ხსნარის  
პარამეტრების გაუმჯობესების გზები

სპეციალობა 05.15.10 – ნავთობის და გაზის ჭაბურღილების ბურღვა

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის  
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

სამეცნიერო ხელმძღვანელი ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი გურამ ვარშალომიძე

თბილისი

2006

## შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი.

**თავი I.** ჭაბურღილების გასამაგრებლად გამოყენებული

სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურების ანალიზი და სატამპონაჟო

სამუშაოების ჩატარების თანამედროვე მდგომარეობა.

I.1. სატამპონაჟო ხსნარებისა და ცემენტის ქვის თავისებურებები.

I.2. ცემენტისა და სპეციალური დანამატების გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარების ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

I.2.1. შესამსუბუქებელი სატამპონაჟო ხსნარები.

I.3. კვლევების მიზანი და ამოცანები.

**თავი II.** კვლევების ჩატარების მეთოდიკა და პრინციპები.

II.1. კვლევების მეთოდიკა.

II.1.1. სატამპონაჟო ხსნარების განდინება, სიმკვრივის კონსისტენციის და წყალგამცემის განსაზღვრა.

II.1.2. ცემენტის ნიმუშების – კოჭების ღუნვაზე და კუმშვაზე გამოცდა.

II.1.3 სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის ვადების განსაზღვრა.

II.1.4 ცემენტის მტვრის რენტგენოგრაფიული შესწავლა.

II.2. სატამპონაჟო მასალების და ნარევების დახასიათება.

II.2.1 პორტლანდცემენტი.

II.2.2. წყალი, მისი სტრუქტურა და თვისებები.

II.3. ექსპერიმენტების მონაცემების მათემატიკური სტატისტიკით დამუშავება დისპერსული ანალიზის გამოყენებით.

II.4. გეოლოგიურ - ტექნიკური პირობები.

**თავი III.** თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები, ეფექტური

სატამპონაჟო ხსნარების შემუშავებისათვის.

III.1. შესამსუბუქებელი სატამპონაჟო ხსნარების შემუშავება.

III.2. შემავსებლების გავლენა ცემენტის სტრუქტურის ფორმირებაზე.

III.3. სელიმენტაციური მდგრადობის გასაუმჯობესებლად შერჩეული დანამატები.

**თავი IV.** შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარების შემუშავება და შედგენილობის ოპტიმიზაცია.

IV.1. მაგნიტური ველით და ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტით სატამპონაჟო ხსნარების ხარისხის გაუმჯობესება.

IV.2. ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტების კვლევა სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის საწყისის შესანელებლად.

IV.3. მაგნიტური დამუშავების გავლენა სატამპონაჟო ნარევის კოროზიამდეგობაზე.

IV.4. ცემენტის ქვის დინამიკური დეფორმირების მათემატიკური მოდელი.

IV.4.1. ცემენტის ქვის ადგეზიის განსაზღვრა.

IV.5. ცემენტის მტვრის რენტგენოგრაფიული შესწავლა.

**თავი V.** შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურების დანერგვა.

V.1. სატამპონაჟო ხსნარების საწარმოო გამოცდის შედეგები.

საერთო დასკვნები.

ლიტერატურა.

## შესავალი

აქტუალობა. ბურღვის სიღრმის ზრდასთან ერთად ნავთობისა და გაზის ჭაბურღილების გამაგრებისას სატამპონაჟო ხსნარების შერჩევისას წარმოიშვება გართულებები, რომლებიც დაკავშირებულია გეოლოგიურ-ტექნიკურ პირობებთან. ფენების განცალკევებისათვის წარმოებს ჭაბურღილის დაცემენტება, ჭაბურღილის კედლებსა სამაგრ კოლონას შორის რგოლური სივრცის სატამპონაჟო სითხით ამოვსება, რომელიც უძრავად ყოფნისას

გამაგრდება და გადაიქცევა პრაქტიკულად შეუღწევად ქვად. ჭაბურღილის დაცემენტებისას ხარისხის ასამაღლებლად აუცილებელია სწორად შეირჩეს სატამპონაჟო ხსნარის შემადგენლობა, ცემენტის სახეობა და დანამატები, ასევე საჭიროა, რომ მისი და ცემენტის ქვის თვისებები შეესაბამებოდეს კონკრეტულ პირობებს, ფენის წნევებს, ტემპერატურას, აგრესიულ წყლებს და ქანების ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს. ამ მიმართულებით იყო წარმოებული ძირითადი გამოკვლევები, რომლებიც დაკავშირებულია ჭაბურღილის დაცემენტების ზონაში ფენების ოპტიმიზაციასთან.

გამოკვლევების ობიექტად შერჩეულია ნინოწმინდის ნავთობშემცველი ფართობები, სადაც უკანასკნელ წლებში საგრძნობლად არის გადიდებული ბურღვის მოცულობები. ჭაბურღილის გასაბურღი ინტერვალები ხასიათდება რთული გეოლოგიური პირობებით, სადაც გვხვდება, როგორც სუსტი და ძლიერი ნაპრალოვანი, ასევე დაქუცმაცებული ქანები, რაც იწვევს სარეცხი სითხის შთანთქმასა და ჭაბურღილის კედლების ჩამოქცევას. ცალკეულ ინტერვალებში მოსალოდნელია აგრეთვე ჭაბურღილის ლულის შევიწროება და ნავთობგაზგამავლობა. ეს გართულებები გარკვეულ ზეგავლენას ახდენს სატამპონაჟო სამუშაოების ჩატარებაზე. ე. ი. ცემენტის ხსნარების შედგენილობების შერჩევაზე, როდესაც ცემენტის ხსნარის სვეტის ჰიდროსტატიკური წნევა აღემატება ფენების ჰიდროგახლეჩვის წნევას. ასეთ პირობებში ჭაბურღილების დაცემენტებისას გამოიყენება შემამსუბუქებელი ცემენტებისაგან დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარები. ასეთი ცემენტები ძირითადად მზადდება პორტლანდცემენტისა და ბენტონიტური თიხის ფხვნილების შერევით.

იმ შემთხვევაში თუ ცემენტის ქვა ვერ ავსებს მიღგარე სივრცეს და გამაგრებისას ჯდება, სატამპონაჟო ხსნარების დასამზადებლად გამოიყენება გაფართოებადი ცემენტები, ასეთი ხსნარები გაფართოებისას მატულობენ. გაფართოებად ცემენტებად გამოიყენება პორტლანდცემენტის ნარევი თაბაშირთიხამიწოვან ცემენტთან (10-20%) ან პორტლანდცემენტისა და ჩაუმქრალი კირის ნარევი. მყარ მდგომარეობაში ცემენტის ქვის მნიშვნელოვანი გაფართოება გამოიწვევს მასში შინაგანი ძაბვების გაჩენას და მის დასკდომას ან სრულ დაშლას. ამიტომ ცემენტები, რომლებიც 1-2%-ზე მეტად გააადიდებენ

ცემენტის ცომის მოცულობას გამაგრების შემდეგ ჭაბურღილების დასაცემენტებლად უვარგისია.

თუ ჭაბურღილების დაცემენტებისას ცემენტს ხსნარი უნდა შეირჩეს იმ მიზნით, რომ მისი სვეტის მიერ შექმნილი წნევა, რამდენადმე აღემატებოდეს პროდუქტიული ფენის წნევის ანომალობის კოეფიციენტს. მაშასადამე, იმ ჭაბურღილების დაცემენტებისას, რომლებსაც ანომალურად მაღალი წნევა აქვს, უნდა გამოვიყენოთ დამძიმებული ცემენტები, რომლებსაც ამზადებენ პორტლანდცემენტის კლინკერისა, გრანულირებული ბრძმედის წიდისა და მაღალი სიმკვრივის (4 გსმ<sup>3</sup> და მეტი) მინერალური დანამატების ერთად დაფქვით.

ცემენტის სახეობებთან ერთად სატამპონაჟო ხსნარებისა და ცემენტის ქვის თვისებები უნდა შეირჩეს გეოლოგიურ-ტექნიკური პირობების შესაბამისად და უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- 1) ცემენტის ხსნარის შეკვრის საწყისი დრო საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ დავამზადოთ საჭირო მოცულობის ხსნარი, ჩავტუმბოთ სამაგრი მილების კოლონაში და გავტუმბოთ მიღგარე სივრცეში სანამ დაიწყებოდეს ცემენტის ხსნარის შეკვრა, ე.ი. ის უნდა იყოს დენადი.
- 2) მიღგარე სივრცეში გატუმბვის დამთავრების შემდეგ ხსნარმა რაც შეიძლება ჩქარა უნდა დაკარგოს დენადობა და გასქელდეს.
- 3) ცემენტის ხსნარს უნდა ახასიათებდეს მცირე სიბლანტე.
- 4) ცემენტის ქვის სიმტკიცის ზრდის ინტენსიურობა გამყარების პირველ პერიოდში საკმაოდ მაღალი უნდა იყოს იმისათვის, რომ დაცემენტების დამთავრების შემდეგ შედარებით მოკლე დროში შესაძლებელი იყოს საბურღი სამუშაოების განახლება.
- 5) ცემენტის ქვის მოცულობის შეცვლა გამყარების დროს უნდა წარმოებდეს თანაბრად, მოცულობის არათანაბრად შეცვლისას ცემენტის ქვა გასკდება და დაიშლება.

- 6) გამყარებული ცემენტის ქვა მაქსიმალურად შეუღწევი უნდა იყოს ნავთობისათვის, აირისათვის, წყლისათვის და მდგრადი აგრესიული გარემოს კოროზიული ზემოქმედებისადმი.
- 7) ცემენტის ქვა უნდა ინარჩუნებდეს თავის მექანიკურ თვისებებს, შეუღწევადობას და კოროზიულ მდგრადობას ტემპერატურის შეცვლისას, რასაც შეიძლება ადგილი ექნეს ჭაბურღილის ბურღვის ან ექსპლუატაციის პერიოდში.
- 8) ცემენტის ქვა კარგად უნდა იყოს შეჭიდებული სამაგრ კოლონასთან და ჭაბურღილის კედლებთან.  
 ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ეფექტური სატამპონაჟო ხსარების შემუშავება და შერჩევა, მათი გავლენის გამოკვლევა ჭაბურღილის დაცემენტების ხარისხზე წარმოადგენს აქტუალურ, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობის ამოცანას.

სამუშაოს იდეა. ჭაბურღილების დაცემენტების ეფექტურობის ამაღლება შემუშავებული სატამპონაჟო ხსარების სიმკვრივის, განდენადობის, შეკვრის საწყისი და სასრული დროის, სედიმენტაციური მდგრადობის, წყალგამცემის, ცემენტის ქვით სიმტკიცის, შეღწევადობის, ტემპერატურამედეგობის, კოროზიამედეგობის მოცულობის შეცვლას, ადგილობრივი თვისებების სწორად შერჩევის გზით.

ძირითადი მეცნიერული დებულებები:

1. სატამპონაჟო ხსარებით შედგენილობებს, მისი და ცემენტის ქვის თვისებებს და ჭაბურღილის დაცემენტების ეფექტიანობას შორის დადგენილი ურთიერთკავშირი საშუალებას იძლევა კომპლექსურად შეფასდეს სატამპონაჟო სითხეების შედგენილობები, მათგან შეირჩეს ყველაზე ეფექტური.
2. სატამპონაჟო ხსარისა და ცემენტის ქვის თვისებების ცვლილება ძირითადად რეგულირდება გეოლოგიურ-ტექნიკური პირობების შესაბამისად შერჩეული სპეციალური დანამატების სახეობებითა და რაოდენობით.
3. სატამპონაჟო ხსარების ძვრის სტატიკურ დამაბულობის და სიბლანტის შემცირება და შეკვრის დროის გახანგრძლივება მიიღწევა ყურძნის წარმოების ნარჩენების

ტანინიანი ექსტრაქტების გამოყენებით. ხსნარების შეკვრის შენელება განსაზღვრულია შეკვრის საწყისი დროისა და ხსნარში ექსტრაქტის პროცენტული შემცველობაზე დამოკიდებულებით.

4. სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის ვადების დაჩქარება და ცემენტის ქვის სიმტკიცის და კოროზიამდეგობის გაზრდა მაგნიტური ველის დამუშავებით.

#### მეცნიერული სიახლე:

1. შესწავლილია შემსუბუქებული ცემენტების საფუძველზე დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარების გავლენა მოსალოდნელი ჰიდროგახლეჩვის თავიდან აცილებაზე.
2. დადგენილია გაფართოებადი ცემენტებით დამუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების დამოკიდებულება გამაგრებული ცემენტის ქვის მოცულობაში მომატებაზე.
3. განსაზღვრულია სატამპონაჟო ხსნარის მაგნიტური ველის დამუშავებით მისი შეკვრის საწყისი დაჩქარების სიდიდე, დადგენილია ხსნარში სედიმენტაციური მდგრადობის ამაღლება და ცემენტის ქვის სიმტკიცის და კოროზიამდეგობის გაზრდა.
4. გამოკვლეულია ყურძნის წარმოების ნარჩენებისგან მიღებული ტანინიანი ექსტრაქტის დამატებით სატამპონაჟო ხსნარის შეკვრის საწყისი შენელების სიდიდე, დადგენილია მისი ძვრის სტატისტიკური დამახულობისა და სიბლანტის შემცირება.

მეცნიერული დებულებების დასაბუთებულობა და უტყუარობა დადასტურებულია ავტორის მიერ შესრულებული ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევების შედეგების შეპირისპირებით და დაფუძნებულია ფიზიკის, ქიმიის და მექანიკის ზოგად დებულებებზე, მრავალრიცხოვან ექსპერიმენტულ და საველე გამოკვლევებზე.

დისერტაციაში ჩამოყალიბებული მეცნიერული დებულებები დასაბუთებულია შერჩეული თეორიული მოდელების რეალურად მიმდინარე პროცესებთან შესაბამისობით და სტატისტიკური მონაცემების საკმარისი მოცულობით.

პრაქტიკული დებულება. თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე შემუშავებული შედეგები გამოიყენება ჭაბურღილის დაცემენტების ეფექტურობის ამაღლებაზე სატამპონაჟო ხსნარების გავლენის შესწავლისათვის; შემსუბუქებული სატამპონაჟო ცემენტების საფუძველზე სატამპონაჟო ხსნარების დამზადება, რომელთა გამოყენება თავიდან აგვაცილებს მოსალოდნელ ფენის ჰიდროგახლეჩვას; გაფართოებადი ცემენტების გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარების დასამზადებლად, რომლებიც გამაგრებისას იმატებს მოცულობაში და ახდენს ჭაბურღილების დაცემენტებით ფენების ჰერმეტიზაციას; მაგნიტური ველით სატამპონაჟო ხსნარების დამუშავებისას ადგილი აქვს მისი შეკვრის ვადების დაჩქარებას და ცემენტის ქვის სიმტკიცის გაზრდას; ყურძნის წარმოების ნარჩენების – ექსტრაქტის დამატებით სატამპონაჟო ხსნარების ძვრის სტატიკური ძაბვისა და სიბლანტის შემცირება, შეკვრის საწყისი დროის გახანგრძლივება და ამ პროცესის ფიზიკო-მექანიკური მექანიზმის დადგენა.

სამუშაოების შედეგების რეალიზაცია. ავტორის მიერ ჭაბურღილების დაცემენტების ხარისხის ასამაღლებლად შემუშავებული რეკომენდაციები და ეფექტური სატამპონაჟო ხსნარების შედგენილობები რეკომენდებულია ნინოწმინდის ნავთობშემცველ ფართობებზე გამოსაყენებლად.

გამოკვლევის მეთოდიკა. დასმული ამოცანების გადაწყვეტა ხორციელდებოდა ლიტერატურული მონაცემების ანალიზისა და განზოგადოების გზით, ჭაბურღილების დაცემენტების ეფექტურობაზე სატამპონაჟო ხსნარების გავლენის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების ჩატარებით. ექსპერიმენტული მონაცემები დამუშავებულია მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების, კერძოდ დისპერსიული ანალიზის გამოყენებით.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჭაბურღილების ბურღვის ტექნიკისა და



ტექნოლოგიის კათედრაზე ( თბილისი 2005, 2006 წწ), სააქციო საზოგადოება ნავთობის ეროვნული კომპანიის «საქნავთობის» სამეცნიერო-ტექნიკურ საბჭოზე (თბილისი 2005 წ).

პუბლიკაცია. დისერტაციის თემაზე ავტორის მიერ გამოქვეყნებულია 5 ნაშრომი.

სამუშაოს მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, ხუთი თავისა და დასკვნისაგან; ლიტერატურის სიაში მოყვანილია 129 დასახელების ნაშრომი; შეიცავს კომპიუტერზე აკრეფილ, 139 ნაბეჭდ გვერდს, 34 ნახაზს, 15 ცხრილს და 2 დანართს.

ავტორი მადლობას უხდის მეცნიერ-ხელმძღვანელს ჭაბურღილების ბურღვის ტექნიკისა და ტექნოლოგიის კათედრის გამგეს, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ გ. ვარშალომიძეს, გარდა ამისა აუცილებლად თვლის მადლიერება გამოხატოს ამავე კათედრის პროფესორ ი. გოგუაძის და ასოცირებულ პროფესორ ვ. ხითარიშვილის და სხვა თანამშრომლების მიმართ, აგრეთვე შპს «კანარგო-ჯორჯიას» სპეციალისტების მიმართ გამოკვლევების შესრულების დროს მეთოდური და პრაქტიკული დახმარებისათვის.

## თ ა ვ ი I

### **ჭაბურღილის გასამაგრებლად გამოყენებული სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურების ანალიზი და სატამპონაჟო სამუშაოების ჩატარების თანამედროვე მდგომარეობა**

სატამპონაჟო მასალებად, ყველაზე ფართოდ, ზოგიერთი სახის ცემენტი, ანდა მის ფუძეზე დამზადებული სპეციალური ნარევი გამოიყენება. ცემენტით ჭაბურღილზე სატამპონაჟო სამუშაოების ჩატარება ჯერ კიდევ 1859 წლიდან დაიწყო [1], ხოლო პორტლანდცემენტის შექმნის შემდეგ ის სატამპონაჟო ნარევის საბაზისო კომპონენტი ხდება.

ჭაბურღილის დაცემენტება მისი მშენებლობის ყველაზე საპასუხისმგებლო ეტაპია [2]. ამიტომ დაცემენტების დროს გამოყენებულ სატამპონაჟო მასალებს მაღალი მოთხოვნები წაყენება. სატამპონაჟო მასალებს ჭაბურღილების გასამაგრებლად 100 წელზე მეტია რაც იყენებენ და მათი თვისებები საფუძვლიანად არის შესწავლილი. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში, როგორც საწარმოო სამუშაოების ანალიზი გვიჩვენებს, სატამპონაჟო ხსნარის და ცემენტის ქვის ხარისხი ჭაბურღილის გამაგრებაზე ეფექტურ გავლენას ვერ ახდენს, რადგან არსებული სატამპონაჟო მასალების მახასიათებლები ყველა წაყენებულ მოთხოვნებს სრულყოფილად ვერ პასუხობენ [3, 4, 5, 6].

### I. 1. სატამპონაჟო ხსნარების და ცემენტის ქვის თავისებურებები

სატამპონაჟო ხსნარი პირველ რიგში უნდა ხასიათდებოდეს მდგრადობითა და ერთგვაროვნობით. ეს ნიშნავს, რომ მთელი მისი არსებობის პერიოდში ცემენტის ქვის წარმოქმნამდე, ის არ უნდა იყოფოდეს ცალკეულ ფაზებად არც სედიმენტაციის, არც სინერიზისის ხარჯზე. პირიქით შემთხვევაში სატამპონაჟო ქვა მოცულობით სატამპონაჟო ხსნარზე ნაკლები იქნება და მიღგარეშე სივრცის ჰერმეტიზაცია არ მოხდება. სატამპონაჟო ხსნარი კარგად უნდა ასველებდეს ლითონის მილების და ქანების ზედაპირებს. მხოლოდ ასეთ შემთხვევაში შეიძლება წარმოიქმნას ადგეზიური ძალები ერთის მხრივ ცემენტის ქვასა და მეორეს მხრივ სამაგრ კოლონასა და ჭაბურღილის კედლის ზედაპირს შორის.

სატამპონაჟო ხსნარი უნდა იყოს ლითონის, სამთო ქანების და შრეების ფლიუდების მიმართ ქიმიურად ინერტული.

სატამპონაჟო ხსნარს უნდა ჰქონდეს გამყარების რეგულირებადი ვადები, შესქელების დრო რამდენადმე მეტი უნდა იყოს მომზადებისა და სატამპონაციო სივრცეში ჩასხმის, ჩატუმბვის დროზე. სატამპონაჟო ხსნარის სიბლანტე გარკვეულ ოპტიმალურ ზღვრებში უნდა იმყოფებოდეს. ის არ უნდა იყოს ძალიან მაღალი, რადგან ბლანტი სითხეები ჩატუმბვის დროს შრეებზე წარმოიქმნება მნიშვნელოვნად მაღალი

ჰიდრავლიკური დატვირთები. სიბლანტე არც ძალიან დაბალი უნდა იყოს, რადგან ამ შემთხვევაში იგი ადვილად გაიფილტრება ფორიან ქანებში.

სატამპონაჟო ხსნარი ჭაბურღილში ჩატუმბვის შემდეგ მოკლე დროში გარემოს 0° C-ზე ნაკლებ ტემპერატურაზეც კი, პრაქტიკულად გაუმტარ, მყარ სხეულად უნდა იქცეს.

სატამპონაჟო ხსნარისაგან წარმოქმნილი მყარი სხეული უნდა იყოს მაღალელასტიური, ხანგამძლე და კოროზიამდეგი ფენის სითხესთან ან გაზთან კონტაქტის დროს.

სატამპონაჟო ხსნარიდან მიღებულ მყარ სხეულს შენარჩუნებული უნდა ჰქონდეს თავისი მექანიკური თვისებები, შეუღწევადობა და კოროზიული მდგრადობა ტემპერატურის ყველა იმ ცვლილებისას, რომელიც მოსალოდნელია ჭაბურღილის მუშაობის პერიოდში.

სატამპონაჟო ხსნარის შეღწევად შრეებში მოხვედრის დროს ხსნარის თხევადი ფაზა იწყებს შრეებში ფილტრაციას, რომელსაც მივყავართ – პირველი, სატამპონაჟო ნარევის მასური შედგენილობის ცვლილებამდე; მეორე, პროდუქტიულ კოლექტორებში თხევადი ფაზის ფილტრაციის შედეგად შრეების ნავთობგაცემის შემცირებამდე; მესამე, თიხოვანი ქანები ჯირჯვდებიან და ფართოვდებიან, ხოლო შემდეგ კარგავენ სითხეს, იკუმშებიან და მილგარე სივრცეში წარმოქმნიან არხებს, რაც ტამპონირების ეფექტის გაქრობას იწვევს [7, 8, 9]. ცხადია, რომ ტამპონირებისას უმრავლეს შემთხვევაში უნდა ვეცადოთ, რომ ფილტრაცია (წყალგაცემა) მინიმალური იყოს. იდეალურ შემთხვევაში იგი ნულს უნდა უტოლდებოდეს. გამონაკლისს ისეთი სიტუაციები შეადგენს, როცა ფილტრატს გამაგრებული თვისებები გააჩნია, ხოლო სატამპონაჟო ხსნარი გამოიყენება შეღწევადი შრეების, არაჰერმეტიკული კოლონების ტამპონირებისათვის, ცემენტის რგოლის რემონტისა და ზოგიერთი სპეციალიური შემთხვევისათვის. სატამპონაჟო ხსნარებისადმი წაყენებული ერთ-ერთი ძირითადი ტექნიკური მოთხოვნაა ბურღვის პირობებში მისი მომზადების სიმარტივე. როგორც წესი, სატამპონაჟო სამუშაოები ჭაბურღილზე ეპიზოდურად და მოკლე დროში ტარდება. ამიტომ ეკონომიურად მიზანშეწონილია გვექონდეს სატამპონაჟო ხსნარების ისეთი რეცეპტურა, რომლის მომზადება არ იქნება რთული და

მრავალსტადიური პროცესი. სასურველია, რომ სატამპონაჟო ხსნარის მომზადება ხდებოდეს კომპონენტების შერევის ერთი უბრალო ოპერაციით, რომლის შესრულება შეიძლება ავტომობილზე დადგმული მარტივი დანადგარით. რთულ ქიმიურ ან ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნების ჩატარებასთან დაკავშირებული პროცესების გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარების მოსამზადებლად დაუშვებელი ან მეტად არასასურველია [10, 11, 12].

ვინაიდან უმრავლეს შემთხვევაში ჭაბურღილებს ბურღავენ წყლის ფუძეზე დამზადებული სარეცხი სითხეებით, სასურველია და ზოგ შემთხვევაში აუცილებელიც, რომ სატამპონაჟო ნარევი ადვილად უთავსებოდეს წყალს და წყალხსნარებს. ეს იმ შემთხვევაში მიიღწევა, როცა სატამპონაჟო ნარევი დამზადებულია წყლის ბაზაზე. ცალკეულ შემთხვევებში სატამპონაჟო ნარევი წყლის ნაცვლად შეიძლება გამოყენებული იქნას სპირტები, კეტონები და სხვ. როცა სარეცხი ხსნარი ნახშირწყლების ბაზაზეა დამზადებული აუცილებელია, რომ სატამპონაჟო ხსნარის ასადუღებელი სითხე თავსებადი იყოს ნახშირწყლებთან. რაც შეეხება სატამპონაჟო ხსნარის იმ კომპონენტებს, რომლებიც მყარდებიან, სასურველია, რომ ისინი იყვნენ არადეფიციტური და იაფი. თუმცა ზოგიერთ სპეციფიკურ შემთხვევაში გამართლებულია მაღალი ღირებულების პროდუქტების გამოყენება [11, 12]. სატამპონაჟო მასალის ღირებულება მისი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია, მაგრამ ის არ უნდა იყოს მთავარი სატამპონაჟო სისტემის შერჩევის დროს. უფრო სწორი იქნება შევავსოთ მასალის რენტაბელობა, ანუ მისი გამოყენების ეფექტურობა. ზოგ შემთხვევაში იაფი მასალა რენტაბელია, მაგრამ ხშირად გეოლოგიურ-ტექნიკური პირობები და წინა გამოცდილების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უფრო მაღალი ტექნიკო-ეკონომიკური ეფექტი მიიღწევა მაღალი ღირებულების სატამპონაჟო მასალის გამოყენებით.

სატამპონაჟო ხსნარის საბოლოო სახე ტამპონაჟური ანუ ცემენტის ქვაა. მილგარეშე სივრცეში, შთანთქმის ან წყალ-აირი-ნავთობის გამოვლინების ზონაში ფორმირებულ და გამყარებულ ცემენტის ქვას უნდა გააჩნდეს წყლის, აირის და ნავთობის ნულოვანი შეღწევადობა [13, 14]. სხვა ფიზიკო-ქიმიური და ტექნოლოგიური ფაქტორების დაცვასთან

ერთად ქვის შეულწევადობა უზრუნველყოფს ტამპონირების მაღალ ეფექტიანობას. ქვა უნდა იყოს გარემოს მიმართ ინერტული და კოროზიამედეგი, ვინაიდან ჭაბურღილის მილგარეშე სივრცეში ცემენტის ქვამ თავისი მატამპონირებელი ფუნქციები მრავალი წლის განმავლობაში უნდა შეასრულოს, ამიტომ მისი კოროზიამედეგობა საკმაოდ მაღალი უნდა იყოს. შრეების პირობებში ცემენტის ქვაზე მაკორელირებელ ზემოქმედებას პირველ რიგში ახდენენ ისეთი ხსნარები და მარილხსნარები როგორცაა ქლორიდები, სულფატები, ნატრიუმის, კალიუმის, კალციუმის, მაგნიუმის, რკინის ბიკარბონატები. მრღვევი მოქმედება შეიძლება ჰქონდეთ მჟავა აირებს – გოგირდწყალბადს, ნახშირჟანგს და მათ ხსნარებს შრეების წყალში. ზოგიერთი შრის წყლები შეიცავენ იოდის და ქრომის აგრესიულ მარილებს. მრავალი საბადოს ნავთობი შეიცავს თავის შემადგენლობებში აქტიურ ნაფტანურ მჟავებს. ვინაიდან უმრავლეს შემთხვევაში ცნობილია ჭრილების გეოქიმიური შემადგენლობა და შრეების ფლუიდების მაკორელირებელი მოქმედებები, შეიძლება შევარჩიოთ კოროზიული რღვევის მიმართ ხანგრძლივად მდგრადი სატამპონაჟო მასალები [3, 15, 16, 17].

შესქვლების დაწყების შემდეგ სატამპონაჟო მასალის გამყარება უნდა ხდებოდეს ჩაჯდომის გარეშე. ჩაჯდომა იწვევს ღრეჩობის, ბზარების, სიცარიელების წარმოქმნას და ტამპონირების ეფექტის შემცირებას. ამ პარამეტრის მიხედვით იდეალურია სატამპონაჟო მასალა, რომელიც გამყარების დროს ერთდროულად ფართოვდება. აქვე მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ მასალის, რომელიც ჩაჯდომით მყარდება, შესქვლების კინეტიკა დამოკიდებულია წნევაზე და ეს დამოკიდებულება უნდა გავითვალისწინოთ კონკრეტული ჭაბურღილის ტამპონირებისათვის მასალების შერჩევის დროს [18, 19, 20, 21, 22]. იმ შემთხვევებში, როცა ღრმა შრეებში მყოფი ღრუების ტამპონირება, სატამპონაჟო ქვა დიდი ხნის განმავლობაში თერმულ რეჟიმში იმყოფება [23, 24]. ცნობილია, რომ მასალების უმრავლესობის მექანიკური სიმტკიცე დამოკიდებულია ექსპლუატაციის ტემპერატურაზე. ეს ფაქტორი ასეთ შემთხვევებში ითხოვს, რომ დაცემენტებისათვის განკუთვნილი სატამპონაჟო მასალა სპეციალურად იქნეს გამოკვლეული თერმულ მდგრადობაზე. ამასთან

გამოკვლევული უნდა იქნას მისი როგორც ზღვრული თერმული, ასევე საექსპლუატაციო თერმული მდგრადობა.

მიღვარეშე სივრცის სრული ჰერმეტიზაციის მიღწევა შესაძლებელი იქნება, თუ შეიქმნება ურღვევი სისტემა: სამაგრი კოლონა – სატამპონაჟო ქვა – ჭაბურღილის კედელი. ამ დროს ერთი მხრივ სატამპონაჟო ქვასა და მეორე მხრივ სამაგრი კოლონასა ან ჭაბურღილის კედელს შორის არ იქნება ღრეჩო და მიიღწევა მთლიანი ჰერმეტიზაცია. მისი საუკეთესო ვარიანტი მიიღება, როცა საზღვრებზე «კოლონა – ქვა» და «ქვა – ქანი» ადგეზიური ძალები იარსებებს, ამასთან ადგეზიური ძალა თანაზომვადი უნდა იყოს ქვის კოგეზიური ძალებისადმი (რღვევაზე სიმტკიცის ზღვრისადმი) [45, 74, 75, 76].

სატამპონაჟო ქვის ხანგრძლივი მდგრადობის ერთ-ერთი მთავარი პირობაა მისი მდგრადობა გარემოსადმი და პირიქით – გარემოსი ქვისადმი. სხვანაირად, რომ ვთქვათ, თავიდან უნდა ავიცილოთ მასათა მიმოცვლა ქვასა და გარემოს შორის. ყველა შემთხვევაში, ეს აუარესებს ქვის სატამპონაჟო თვისებებს [25, 77].

სატამპონაჟო ქვის მექანიკურმა სიმტკიცემ უნდა უზრუნველყოს მიღებული გეომეტრიული ფორმის შენარჩუნება ჭაბურღილის ექსპლუატაციის განმავლობაში. ქვის მექანიკური სიმტკიცის მნიშვნელობა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში დამოკიდებულია გეოლოგიურ – ტექნიკურ პირობებზე. ყველა შემთხვევაში, ქვის სიმტკიცე მნიშვნელოვნად მეტი უნდა იყოს მიმდებარე ქანების სიმტკიცეზე. მექანიკურ სიმტკიცეზე არა ნაკლებ მნიშვნელოვანი მახასიათებელი არის ქვის მდგრადობა ბზარების წარმოქმნისადმი. გაბზარვისადმი მდგრადობის რაოდენობითი საზომი არის კუთრი დარტყმითი სიბლანტე. ქვის დანაპრიალიანებისადმი მაღალი მდგრადობა აუცილებელია, რადგან იგი მუდმივად იმყოფება დარტყმითი ძალების ზემოქმედების ქვეშ. პროდუქტიული ზონის პერფორმაცია, აწევ – დაწევის ოპერაციები, ტუმბოს ექსპლუატაცია და სხვ. უწყვეტად ქმნიან დატვირთვებს სატამპონაჟო ქვაზე [25, 26, 27].

განმეორებითი საიზოლაციო სამუშაოების ჩატარების დროს სატამპონაჟო ხსნარი მყარდება ძველ სატამპონაჟო ქვასთან კონტაქტში. მაღალი სატამპონირებელი ეფექტის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია, რომ ხსნარი თავსებადი იყოს ქვასთან, ანუ კარგად

ასველებდეს მას, ხოლო ახლად წარმოქმნილ ქვას ჰქონდეს საკუთარ სიმტკიცესთან თანამზომადი ადგეზია ძველ ქვასთან. მაგრამ ქვის არსებობის ხანგამძლეობა არ არის დამოკიდებული სატამპონაჟო ხსნარის და მყარი ქვის მახასიათებლების უბრალო ჯამურ ზემოქმედებაზე. ქვის მაღალი ხანგამძლეობის უზრუნველყოფა ხდება ყველა იმ ფაქტორის რაციონალური შერწყმით, რომლებიც ახდენენ ქვის ხანგამძლეობაზე, როგორც დადებით, ისე უარყოფით გავლენას [26, 27, 28]. კერძოდ, გარემოს მიმართ ინერტული ცემენტის ქვა შეიძლება იყოს ნაწილობრივ შეღწევადი ან ნახევრად შეღწევადი და მას შეიძლება ჰქონდეს ხანგრძლივი მატამპონირებელი ეფექტი. დაბალი მექანიკური სიმტკიცის მქონე, მაგრამ ელასტიური და ლითონის მილებთან და ქანებთან კარგი ადგეზიის უნარიანი ცემენტის ქვა აგრეთვე წარმატებით შეასრულებს თავის ფუნქციას. ჭაბურღილის მილგარეშე სივრცეში მყოფი სატამპონაჟო ქვა განუწყვეტლივ შემოირეცხება შრეების ფლუიდებით. როდესაც ფენის წყალში, აგრესიული მარილების მოქმედებით, ხვდებიან დაშლის პროდუქტები. მიუხედავად სატამპონაჟო ქვის მაღალი კოროზიული მედეგობისა, აუცილებელია ტოქსიკოლოგიური კვლევების ჩატარება. ეს იმით არის გამოწვეული, რომ ამჟამად გამოყენებული სატამპონაჟო მარილები შეიცავენ ისეთ ტოქსიკურ ნივთიერებებს, როგორც არიან ფენოლები, ალდეგიდები, ორგანული მჟავები, ზედაპირული ნივთიერებები. მათი შემცველობა მომავალში კიდევ უფრო გაიზრდება. ამ ნივთიერებების წყალში ზღვრულად დასაშვები რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ მათი უმნიშვნელო რაოდენობით მოხვედრამაც კი ფენის წყალში შეიძლება გამოსაყენებლად უვარგისი გახადოს ფენის წყლების მთელი საბადო. ამიტომ სატამპონაჟო ქვა, რომელიც კონტაქტში იმყოფება მიწისქვეშა წყლების სამრეწველო მარაგების საბადოებთან, არ უნდა შეიცავდეს ხსნად ტოქსიკურ კომპონენტებს [30, 77, 78].

## I. 2. ცემენტისა და სპეციალური დანამატების გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარების ხარისხის გასაუმჯობესებლად

სატამპონაჟო მასალების შემკვრელ დანამატებს წარმოადგენს დაბალმოლეკულური ორგანული პოლიმერშემცველი ნივთიერებები და ზოგიერთი მაღალმოლეკულური ნაერთები. მათგან მყარი პროდუქტების მიღების მექანიზმი და ამ პროდუქტების თვისებები ძირეულად განსხვავდებიან ცემენტის ხსნარების იმავე მახასიათებლებიდან, ეს კი საშუალებას იძლევა ჭაბურღილის ტამპონირების დროს მივალწიოთ ხარისხობრივად უფრო მაღალი მაჩვენებლების მქონე სატამპონაჟო ქვას. სამრეწველო პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ პოლიმერული სატამპონაჟო მასალების გამოყენება ხშირად არის წარმატებული იმ შემთხვევებში, როცა ცემენტის ხსნარების გამოყენება არ იძლევა სათანადო ეფექტს [31, 32, 33]. ამჟამად ცნობილია სატამპონაჟო მასალების მთელი რიგი რეცეპტები, სადაც შემკვრელი - პოლიმერები ან პოლიმერ წარმომქმნელი შედგენილობებია. ყველაზე ხშირად მათ ჭაბურღილის კაპიტალური რემონტის დროს გამოიყენებენ, უფრო იშვიათად – შთანთქმის და წყლის, აირის და ნავთობის გამოვლინების ზონების იზოლაციისათვის და თითქმის არასდროს – პირველადი ტამპონირებისათვის. მოხმარების ასეთი არათანაბარი განაწილება უპირველესად ყოვლისა გამოწვეულია პოლიმერების სატამპონაჟო ცემენტებთან შედარებით მაღალი ღირებულებით. მეორე და არანაკლებ მნიშვნელოვანი მიზეზია რთულ გეოლოგიურ პირობებში გაბურღული ჭაბურღილის მილგარეშე სივრცის ჰერმეტიზაციისათვის გამოსადეგი პოლიმერული სატამპონაჟო მასალების რეცეპტურის არქონა. პოლიმერული სატამპონაჟო მასალების ახალი რეცეპტების შექმნა და არსებულის სრულყოფა ფერხდება იმის გამო, რომ არ არსებობს მათი შემუშავების თეორიული საფუძვლები. ამიტომ სატამპონაჟო მასალების ძირითადი მდგენელი ისევ ცემენტია [1, 2, 3, 6, 13].

ცემენტი ფხვნილისებრი მასალაა, რომელიც წყალთან შერევის შემდეგ მაგრდება და განიცდის ჰიდრატაციას. ეს ურთულესი პროცესები წლების განმავლობაში მიმდინარეობენ და მათი მექანიზმი ბოლომდე გამოკვლეული ჯერ კიდევ არ არის [79, 80, 81]. ცემენტის გამყარება, ე.ი. ასადულაბებელ წყალთან შერევის შემდეგ მისი გარდაქმნა პლასტიურ ცომად. შემდეგ ცომის მიერ პლასტიურობის დაკარგვა (შეკვრა) და მისი შემდგომი გამყარება (ცემენტის ქვის ფორმირება) რთული და მრავალსტადიური ფიზიკო-ქიმიური



პროცესია, რომელიც ემყარება ცემენტის და წყლის ფაზური მდგენელების ქიმიურ ურთიერთქმედებას (ცემენტის ჰიდრატაცია). ცემენტის ჰიდრატაციის დროს უწყლო კლინკერული მინერალები – სილიკატები, ალუმინატები და კალციუმის ალუმოფერიტები გარდაიქმნებიან შესაბამის კრისტალოჰიდრატებად – ჰიდროსილიკატებად, ჰიდროალუმინატებად, კალიუმის ჰიდროფერიტებად, კალციუმის ჰიდროქსიდებად. მათი გარდაქმნის ძირითადი სუსტადკრისტალიზებული (თითქმის ამორფული) კალციუმის ჰიდროსილიკატი, რომელსაც გელის თვისებები გააჩნია და კალციუმის ჰიდროქსიდი –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . კალციუმის სილიკატების ჰიდრატაციისას წარმოქმნილი კალციუმის ჰიდროსილიკატები, ფაქტიურად არ შეესაბამებიან რომელიმე განსაზღვრულ ნაერთს, არამედ აქვთ შემადგენლობის ფართო არე, რომელიც ზოგადად აღინიშნება – გელი C-S-H. ვინაიდან პორტლანდცემენტი პოლიმინერალური პროდუქტია და კალციუმის სილიკატების გარდა შეიცავს ალუმინატურ, ფერიტულ და სულფატურ ფაზებს, ცემენტის ჰიდრატაციის რეალური პროდუქტი უფრო რთული შემადგენლობისაა [34, 35, 36, 37]. ცემენტის ქვის სტრუქტურის მოდელი გამარტივებულად შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც სამი მდგენელის ერთობლიობა: წყალთან რეაგირების გარეშე დარჩენილი კლინკერის პოლიმინერალური ნაწილაკები, ცემენტის გელი და სხვადასხვა ზომის ფორები. ცემენტის ქვის სტრუქტურა შეიცავს აგრეთვე საჰაერო ფორებს (სიცარიელებს) და ჩაჯდომის ფორებს, რომლებიც წარმოიქმნებიან ცემენტი + წყალი სისტემის ჯამური მოცულობის შემცირების გამო.

სატამპონაჟო ხსნარების მოსამზადებელი ცემენტის შერჩევის დროს უნდა გავითვალისწინოთ მისი ორი მთავარი მახასიათებელი – ცემენტის შეკვრის დრო და ჩაჯდომა.

პორტლანდცემენტის შეკვრის დროა – ნორმალური სისქის ცემენტის ცომის მიერ პლასტიურობის დაკარგვის დრო. შეკვრის დროის განმსაზღვრელი ფაქტორები შემდეგია:

- ცემენტის ნივთიერებათა შედგენილობა (ცემენტში ჰიდრავლიკური ან ინერტული დანამატების არსებობა ანელებს შეკვრას)

- კლინკერის მინერალოგიური შედგენილობა (ცემენტები მაღალალუმინატური კლინკერების ფუძეზე უფრო სწრაფად იკვრებიან)
- ცემენტის დაფქვის სიწმინდე (რაც უფრო სწრაფად არის დაფქვილი ცემენტი, სხვა თანაბარ პირობებში, უფრო სწრაფად იკვრება)
- ცემენტში ტუტეების ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{R}_2\text{O}$ ) შემცველობა ტოლია  $\text{R}_2\text{O}$
- შეკვრის დრო იზრდება წყალ/ცემენტის ფარდობის ზრდის და გამყარების ტემპერატურის შემცირების შემთხვევაში.

ცემენტის ხსნარის ჩაჯდომის სიდიდეზე მოქმედი ფაქტორები შემდეგია:

- ხსნარში ცემენტის რაოდენობის გაზრდა;
- ჩაჯდომა უმეტესად გამოვლინდება მაღალ ტემპერატურაზე და დაბალი ფარდობითი ტენიანობის პირობებში გამყარების დროს;
- ძალიან წვრილად დაფხვნილ ცემენტებს ( $S > 5000 \text{სმ}^2/\text{გრ}$ ) აქვთ დიდი მიდრეკილება ჩაჯდომისაკენ;
- წყალ/ცემენტის ფარდობის ზრდა, სხვა თანაბარ პირობებში, იწვევს ჩაჯდომის დეფორმაციების ზრდას;
- ჩაჯდომის დეფორმაციები იზრდება ხსნარში წვრილდისპერსული შემკრებების შემცველობის ზრდის დროს.

ცემენტის ქვის მთელი რიგი თვისებები არის მისი ფორიანი სტრუქტურის და შეღწევადობის ფორმირების შედეგი. ცემენტის ქვის ფორიანი სტრუქტურის მახასიათებლებთან დაკავშირებულია მისი ქიმიური მდგრადობა. ცემენტის ქვაში შეღწეული წყალი გახსნის მის კომპონენტებს, ხოლო მასში გახსნილი მარილები წყლის აორთქლების შემდეგ დაკრისტალდებიან ფორიან სტრუქტურებში და წარმოქმნიან შიგა ძაბვებს. გარდა ამისა წყალში გახსნის ნივთიერებებს და აირებს შეუძლიათ ქიმიურ ურთიერთქმედებაში შევიდნენ ცემენტის ქვის კომპონენტებთან და გამოიწვიონ მისი დაშლა [38, 39, 40, 70].

ცნობილია, რომ მილგარე და მილთაშორის სივრცეში კავშირების არხების არსებობა მრავალი გართულების მიზეზია, როგორც ჭაბურღილის მშენებლობის, ისე

ექსპლუატაციის პირობებში. რუსი და სხვა საზღვარგარეთელი მკვლევარების მიერ დადგენილია, რომ მილგარეშე სივრცეში ფორმირებული ცემენტის ქვაში არხების არსებობა განპირობებულია სატამპონაჟო ხსნარის სედიმენტაციური არამდგრადობით [41, 42, 82, 83, 84].

საექსპლოატაციო და შუალედური კოლონების დაცემენტების პირობები, მათი ხარისხის ანალიზი მოცემულია მ. ნ. დვინიკოვი, ვ. ვ. ოზინიკოვის და სხვ. სამუშაოებში [45, 63]. ამ კვლევების საფუძველზე შემუშავებულია შემსუბუქებული სატამპონაჟო ნარევების რეცეპტურები, გაუმჯობესებული სატამპონაჟო ნარევების და მათ ფუძეზე ხსნარების მოსამზადებელი მეთოდები. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ამ სამუშაოების ავტორები საკმარის ყურადღებას არ უთმობდნენ ცემენტის ქვა – სამაგრი კოლონა საკონტაქტო ზონის ჰერმეტიულობის უზრუნველყოფის საკითხს. ამ საკითხებისადმი მიძღვნილი კვლევების ანალიზი უფლებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ ჰერმეტიულობაზე ძირითადად უარყოფით გავლენას ახდენს ცემენტის სუსპენზიის არამდგრადობა. სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური მდგრადობის საკითხების შესწავლისადმი არის მიძღვნილი ა. ი. ბულატოვის, ფ. ა. აგზამოვის, ვ. პ. ოზინიკოვის და სხვათა შრომები [43, 44, 45]. ამ შრომების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სატამპონაჟო პორტლანდცემენტების ადულაბების პირველ საათებში ჰიდრატაციის, ადსორბციის, დასველების და სხვ. პროცესებში მონაწილეობას იღებს ადულაბების წყლის 5 – 7 %. წყლის დანარჩენი რაოდენობა თავისუფალ მდგომარეობაშია. ამიტომ, სატამპონაჟო ხსნარის კომპონენტების სიმკვრივეებს შორის დიდი განსხვავებაა, მასში მიმდინარეობს სედიმენტაციის პროცესები. ლულის დახრილ და ჰორიზონტალურ უბნებში და გარემოს ტემპერატურის დაწვეის დროს ხდება ამ პროცესების ინტენსიფიცირება. როგორც აღნიშნავენ ა. ი. ბულატოვი და ა. ი. ბერეჟნოი [45, 46]. ამის შედეგად ხდება არხების ფორმირება როგორც ცემენტის ქვა – ქანი, ცემენტის ქვა – სამაგრი კოლონის კონტაქტებზე, ისე თვით ცემენტის ქვაზე. ამ პროცესებზე ნეგატიურ გავლენას ახდენს ცემენტის სუსპენზიის გამყარებისას მიმდინარე კონტრაქციის მოვლენები, ამიტომ სატამპონაჟო ხსნარების გამყარების ადრეულ სტადიებზე ასადულაბებელი წყლის რაოდენობის შემცირება მათი სედიმენტაციური

მდგრადობის ძირითადი მიმართულებაა. ამ ამოცანის ამოხსნა შესაძლებელია შემდეგი გზით, ერდეი-გრუნის სამუშაოებში [94] ნაჩვენებია სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური მდგრადობის ამაღლების ეფექტურობა, რომელიც მიიღწევა შემკვრელი ნაწილაკების და მისი ზედაპირული მუხტის წყალხსნადი ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების (ზან) საშუალებით ჰიდრავლიკური აქტიურობის ამაღლების ტექნოლოგიით. წარმოდგენილი თეორიული შეხედულებანი დამტკიცებულია ავტორის და სხვათა [47, 48] ექსპერიმენტული კვლევებით.

არსებობს ამ ამოცანის გადაწყვეტის სხვა გზებიც. ეს არის წყალშემკვრელი მინერალური დანამატების (აეროსილი, ბუტისილი, ფილტროპერლიტი და სხვ.) შეყვანა, სატამპონაჟო ხსნარის წყალშემცველობის შემცირება პლასტიფიკატორების გამოყენებით, წვრილბოჭკოვანი მინერალების (აზბესტი, ქრიზიტოლი, წვრილადდაფხვნილი პოლიეთილენი და სხვ.) დამატებით სატამპონაჟო ნარევიში მისი გამყარების ადრეულ სტადიებში.

ზემოთაღნიშნული კვლევების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე, შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური მდგრადობის ამაღლების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულებაა – ასადუღაბებელი წყლის თავისუფალი ნაწილის შეკვრა გამყარების საწყის ეტაპზე.

იმისათვის, რომ ზამთრის პირობებში წარმატებით განხორციელდეს დაცემენტების პროცესი, საჭიროა ისეთი შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალები, რომლებიც დაბალ დადებით და მცირე უარყოფით ტემპერატურების (+5 -5°C) ფარგლებში საშუალებას მოგვცემენ ჩაჯდომის გარეშე წარმოიქმნას საკმარისი სიმტკიცის ცემენტის ქვა.

ზამთრის პირობებში ჭაბურღილის დაცემენტებისათვის ფ. ა. აგზამოვის, ა. ი. ბულატოვის, ვ. ს. დანიშევსკის, ვ. პ. ოვჩინიკოვის და სხვ. შრომებში შემუშავებულია სპეციალური სატამპონაჟო ცემენტები [16, 45, 53, 61, 62].

ზამთრის პირობებში, შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე, ჭაბურღილების დაცემენტებისას ძირითადი გართულებებით: სატამპონაჟო ხსნარი ვერ მიეწოდება ჭაბურღილის პირამდე, სამაგრის არაპერმეტულობა, სამაგრი კოლონის დეფორმაცია [61,

63]. ცემენტის ხსნარის მიწოდებაში შეფერხების ძირითადი მიზეზია – დიდი ზომის კავერნების არსებობა და ცემენტირების დროს მათგან საბურღი ან ბუფერული ხსნარის გამოდევნის სირთულე, - მაღალშელწევად შრეებში სატამპონაჟო ხსნარის შთანთქმა, სატამპონაჟო ხსნარებში სელიმენტაციური პროცესების მიმდინარეობა, რომლებიც ინტენსიფიცირდებიან ჭაბურღილის სივრცეში დაბალი დადებითი და უარყოფითი ტემპერატურების არსებობის შემთხვევაში.

კოლონათშორისი წნევის არსებობა აიხსნება ცემენტის ქვის სამაგრ მილებთან კონტაქტის დარღვევით. ამას იწვევს ტრადიციულად გამოყენებული სატამპონაჟო მასალების გამყარების დროს წარმოქმნილი ჩაჯდომის დეფორმაციები და აგრეთვე ადუღებების სითხის მიგრაციის შედეგად წარმოქმნილი არხები.

ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით აუცილებელია სპეციალური სატამპონაჟო კომპოზიციის შემუშავება დაბალ დადებით და უარყოფით ტემპერატურებზე ჭაბურღილის ხარისხიანად დაცემენტებისათვის.

საქართველოში დიდი რაოდენობით მოიპოვება ტანინშემცველი ნარჩენები, რომელთა ექსტრაქტის გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარების დასამუშავებლად მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს მის თვისებებს. სამაგრი კოლონების დაცემენტების ხარისხის ასამაღლებლად და ცემენტის ხსნარის რეოლოგიური თვისებების გასაუმჯობესებლად პროფ. გ. ვარშალომიძის მიერ გამოყენებული იქნა რეაგენტი – ჩაის ნარჩენების წყლის ექსტრაქტი [14, 64, 65, 66]. ტანინშემცველი ნარჩენების გამოყენების შესაძლებლობა შესწავლილი აქვთ ა. მასკარლის, ი. იბრაგიმოვის, და სხვ. [67, 68, 69]. ძირითადად შესწავლილია ტანინშემცველი რეაგენტის გავლენა საბურღი ხსნარებზე, ხოლო ცემენტის ხსნარზე მისი გავლენის შესწავლა კვლავ აქტუალურია.

სატამპონაჟო ხსნარის რეოლოგიური თვისებების გაუმჯობესების ერთ-ერთი პერსპექტიული მიმართულებაა მისი მაგნიტური დამუშავება. მაგნიტური წყლის გამოყენება ცემენტის ხსნარის დამზადებისას ზრდის ცემენტის ხსნადობას და ჰიდრატაციას, აყალიბებს შედარებით წვრილმარცლოვან სტრუქტურას, რომელიც უფრო მტკიცეა ვიდრე საშუალო მარცლოვანი. სიმტკიცის ზრდის პარალელურად მცირდება

ცემენტის ქვის ფორიანობა, რაც აუმჯობესებს მის მდგრადობას დაბალი ტემპერატურების, წყლის და სხვა რეაგენტების მიმართ [71] თვისებების გაუმჯობესება კიდევ უფრო თვალსაჩინოა, როცა წყლის მაგივრად ხდება თვითონ ცემენტის ხსნარის მაგნიტური დამუშავება უშუალოდ ჭაბურღილის დაცემენტების წინ [72, 73].

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, შთანთქმელი ფენების არსებობისას ჭაბურღილის ნორმალური და შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარით დაცემენტება არ იძლევა სასურველ შედეგს. ამ შემთხვევაში აუცილებელია ისეთი სატამპონაჟო ხსნარების გამოყენება, რომელთა სიმკვრივე 1300 კგ/მ<sup>3</sup>-ს ტოლი ან მასზე ნაკლებია. მისი მიღების ერთ-ერთი იაფი და მარტივი ხერხია სატამპონაჟო ხსნარის დაგაზიანება. მაგრამ ამ წესით მიღებული სისტემებს გააჩნიათ მნიშვნელოვანი ნაკლი: დაბალი სტაბილურობა, რის გამოც გაძნელებულია ფენების განცალკევება და დაბალი სიმკვრივის სატამპონაჟო ხსნარების გამოყენების ტექნოლოგიურობის შენარჩუნება. ხსნარის სტაბილურობის ამაღლებისათვის მასში შეჰყავთ დაბალეფექტური ქაფწარმომქმნელების მხოლოდ მაღალდისპერსული დანამატები. ამ საკითხის გადაჭრას მთელმა რიგმა მკვლევარებმა საფუძვლად დაუდეს აკად. კ. ა. რეზინდერის და მისი მოწაფეების შრომები [90, 91, 92, 93]. ამ მიმართულებით მუშაობის შემდგომი ეტაპი იყო დაგაზიანებული ცემენტის ხსნარის სტაბილიზაცია ზედაპირულად. აქტიური ნივთიერებების საშუალებით ცემენტის ხსნარის ეფექტური აქაფების და ქაფცემენტების ხსნარების სტაბილიზაციის პრინციპებისა და მეთოდების მოძიებაში მნიშვნელოვანი როლი ითამაშეს ვ. ს. ბაშკუტოვის, ვ. ვ. ბონდარენკოს, ო. კ. ანგალაპულოს და სხვ. სამუშაოებმა [85, 86, 87, 88].

თუ ზემოთმოყვანილი კვლევების ანალიზის შედეგებს შევაჯამებთ, სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურების შემუშავების მიმართულებით შეიძლება გამოვყოთ შემდეგი აქტუალური ეტაპები:

- ზამთრის პირობებში ( $+5$   $-5$ ) ტემპერატურაზე გამყარების დროს აქტიური სატამპონაჟო მასალისათვის დანამატების შერჩევა;
- შემუშავებული მასალის ფუძეზე მიღებული ხსნარის და ქვის ტექნოლოგიური და ფიზიკო – მექანიკური თვისებების განსაზღვრა;

- ნარევის მყარი კომპონენტების ნაწილაკების ფორმის, გრანულომეტრული შემადგენლობის დადგენა და ადულაზების სითხის სიბლანტის რეგულირება. შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური პროცესების მართვის შესაძლებლობის შესწავლა;
- ჰიდრომაგნიტური დამუშავებით ქაფცემენტების, ერთგვაროვანი და მაღალხარისხოვანი ხსნარების მიღება;
- სატამპონაჟო ხსნარის რეოლოგიური თვისებების გასაუმჯობესებლად სპეციალური დანამატების შერჩევა და დეზინტეგრატორული ტექნოლოგიის გამოყენება.

### I. 2. 1. შემსუბუქებული სატამპონაჟო ნარევები

ცემენტის ხსნარის კუთრი წონის შემცირების საკითხი წარმოიშვა ჭაბურღილების სიღრმის ზრდასთან დაკავშირებით. დაბალი კუთრი წონის ხსნარების გამოყენების ძირითადი მიზეზია მისწრაფება სატამპონაჟო ხსნარის მიწოდება მზიდ სიმაღლეზე განხორციელდეს ერთ ეტაპად. ფართო გამოყენება ასეთმა ხსნარებმა ჰპოვეს მას შემდეგ, რაც დადასტურდა, რომ კუმშვაზე 3,5-5,0 სიმტკიცის მქონე ცემენტის ქვას გააჩნია სიმტკიცის საკმარისი მარაგი და იგი საიმედო მატამპონირებელი მასალაა. თუ გავაკეთებთ ტრადიციულად გამოყენებული შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალების შედგენილობის მიღების და გამოყენების ანალიზს, მივალთ იმ დასკვნამდე, რომ ეს სატამპონაჟო მასალები ყველა შემთხვევაში ვერ უზრუნველყოფენ ჭაბურღილის ხარისხიან გამაგრებას. ამის მიზეზია სატამპონაჟო ხსნარის დიდი წყალგაცემა, რაც ფენების დაბინძურებას იწვევს. შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალების გამოყენების დროს ხშირ შემთხვევაში მინიმუმამდეა დაყვანილი ცემენტის ქვის ქანებთან და კოლონასთან შეჭიდულობა ქვის ჩაჯდომის დეფორმაციის და დაბალი სიმტკიცის გამო.

შემსუბუქებული ცემენტების მიღების გამოყენებული ტექნოლოგიების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სამრეწველო პირობებში ძალიან რთულია კომპონენტების შერევისას საჭირო ერთგვაროვნობის მიღწევა. საბოლოოდ ეს იწვევს ჭაბურღილის გამაგრების

ხარისხის გაუარესებას. ამ საკითხის დადებითად გადაწყვეტის ერთ-ერთი საშუალებაა დეზინტოგრატიული მეთოდით მიღებული შემსუბუქებული ცემენტების გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარების მისაღებად [49, 50, 51, 52].

შემსუბუქებული ცემენტების მიღების დროს მამოდიფიცირებელ ელემენტებად გამოიყენება სპეციალური დანამატები, უფრო ხშირად კი სამრეწველო ნარჩენები. ამ უკანასკნელებს გარკვეული უპირატესობები გააჩნიათ, მაგრამ მათი მიღების და დამუშავების ტექნოლოგია შრომატევადია და მოითხოვს დიდ მატერიალურ და ენერგეტიკულ დანახარჯებს. ყოველივე ეს დღის წესრიგში აყენებს მამოდიფიცირებული დანამატების მომზადების ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიებისადმი ახალი მიდგომების შემუშავების აუცილებლობას, რაც საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ ადვილადრეგულირებადი თვისებების მქონე შემსუბუქებული ცემენტები.

ყოველივე ზემოაღნიშნული მოითხოვს შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალების შემუშავებას და მისი თვისებებისადმი მოთხოვნების დასაბუთებას. ამასთან დასაბუთებულია დანამატების სახეობები, მოთხოვნები მათ თვისებებისადმი, შემამსუბუქებელი და გამაფართოებელი დანამატების მომზადების ტექნოლოგია [53, 54, 55, 56, 57]. თუ გავანალიზებთ სატამპონაჟო ხსნარების სიმკვრივის დაწვევის გამომწვევ ფაქტორებს, შეიძლება მათგან გამოვყოთ შემდეგი ძირითადი, რომელთა თავიდან აცილება მნიშვნელოვანია:

- ფენების ჰიდროგახლეჩვისა და საპროექტო სიმაღლეზე ცემენტის მიწოდების დროს მისი შთანთქმის თავიდან აცილება;
- საბურღი ხსნარის მაქსიმალურად სრული გამოდევნის უზრუნველყოფა;
- პროდუქტიულ ფენებში ფილტრატის შეღწევის თავიდან აცილება;
- ცემენტის ქვასა და სამაგრ კოლონას შორის ღრეჩოს გაჩენის თავიდან აცილება კოლონაში გამომწნეხი სითხის წყლით შეცვლის დროს;
- დაცემენტების დროს ცემენტის ხსნარის სვეტის მთლიანობის დარღვევის თავიდან აცილება.



ყოველი აღნიშნული შემთხვევისათვის ჩატარებულია გაანგარიშებები, რომლებიც ადასტურებენ სატამპონაჟო ხსნარის სიმკვრივის შემცირების აუცილებლობას და დასაბუთებულია მათი მნიშვნელობების სისწორე [51, 58, 59, 60]. გეოლოგიურ პირობებისა და ჩატუმბვის ტექნოლოგიური თავისებურებებისაგან დამოკიდებულებით სატამპონაჟო ხსნარების სიმკვრივე 1200-1650 კგ/მ<sup>3</sup>-ის ზღვრებში უნდა იცვლებოდეს [61, 89].

ზოგად შემთხვევაში მისაღები სატამპონაჟო ხსნარის სიმკვრივე დამოკიდებულია ნარევის კომპონენტების სიმკვრივეზე და ფარდობაზე, წყლის და ნარევის ფარდობაზე (წ/ნ) და ადუღებების სითხის სიმკვრივეზე. წყლის და ნარევის ფარდობის ზრდით ხსნარის სიმკვრივე მცირდება, მაგრამ იგი დამოკიდებულია ინგრედიენტების სიმკვრივეზე. წყლის და ნარევის ფარდობის გავლენა მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო მაღალია მყარი კომპონენტების სიმკვრივე. ამასთან დაკავშირებით მიგვაჩნია, რომ შემსუბუქებული სატამპონაჟო ნარევისათვის ხსნარის სიმკვრივის რეგულირება უნდა ხდებოდეს არა მარტო წყლის და ნარევის ფარდობის გაზრდით გამოყენებული დანამატის ფარგლებში, არამედ ნაკლები სიმკვრივის დანამატის გამოყენებაზე გადასვლით.

ეს მნიშვნელოვანია იმითაც, რომ რაც მეტია წყალ-ცემენტის ფარდობა და მყარი ნაწილაკების სიმკვრივე და ზომები, მით მეტი სითხე გადაედინება ცემენტის სუსპენზიის სვეტის ქვედა ფენებიდან ზედა ფენებში და თან წარმოიქმნება არხები. სედიმენტაცია შემსუბუქებულ სატამპონაჟო ხსნარებში უფრო რთული პროცესია – ვიდრე ჩვეულებრივ სატამპონაჟო ხსნარებში. ეს გამოწვეულია ნარევი მრავალი კომპონენტის არსებობით და წყლის და ნარევის ფარდობის მაღალი მნიშვნელობით. შემსუბუქებულ სატამპონაჟო სუსპენზიებში ხანდახან წყალგამცემის ზრდასთან ხდება ცემენტის ნაწილაკების დალექვა და შემამსუბუქებელი დანამატების ამოტივტივება.

თუ ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევების შედეგებს შევაჯამებთ, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური მდგრადობა შეიძლება დარეგულირდეს შემდეგი მეთოდებით:

- წყლის და ნარევის ფარდობის შემცირებით და მყარი ფაზის შემცველობის ცვლილებით;

- შერევის ინტენსივობის და ხანგრძლივობის გადიდებით;
- შემამსუბუქებელი დანამატების ზედაპირების მოდიფიცირებით, მათი ატივტივების თავიდან აცილების მიზნით, ხოლო მიკროსფერების გამოყენების შემთხვევაში – სფეროს მყარი გარსის სიმკვრივის და სიმტკიცის რეგულირებით.
- ხსნარის სტრუქტურის წარმოქმნის დროის მინიმუმამდე დაყვანით.

30-იანი წლების ბოლოს ნ. ა. ლუცენკოს მიერ შემუშავებული იქნა გელცემენტები და სატამპონაჟო ცემენტები ჰიდრავლიკური დანამატებით [120, 121]. ამ ცემენტების ბაზაზე მზადდებოდა გართულებულ პირობებში ჭაბურღილების დასაცემენტებელი ხსნარები.

ამერიკის შეერთებულ შტატებში ხანგრძლივი დროის განმავლობაში იყენებდნენ ხსნარებს ცემენტის წონიდან 2 – 4% ბენტონიტის დამატებით [113, 118, 126]. ამ ხსნარებს ჩვეულებრივთან შედარებით უფრო უკეთესი სტრუქტურული და მექანიკური მახასიათებლები და რამდენადმე დაბალი კუთრი წონა გააჩნდათ.

გასული საუკუნის 40-იან წლებიდან აშშ-ში შემსუბუქებული ცემენტის ხსნარები სულ უფრო ფართო გამოყენებას ჰპოულობენ [123]. შემამსუბუქებელ დანამატად გამოიყენებოდა მაღალი წყალშემცველობის ბენტონიტი. სამაგრი კოლონების დიდი რაოდენობა ასეთი ხსნარებით იყო დაცემენტებული. აშშ-ში გამოყენებული გელცემენტებიანი სატამპონაჟო ხსნარები შეიცავენ 2 – 25 % ბენტონიტს ცემენტის წონიდან. მაგრამ ბენტონიტის დანამატის ოპტიმალურ რაოდენობად ითვლება 4 – 16 %. ჩვეულებრივი გელცემენტიანი ხსნარების გარდა გამოიყენება ხსნარები, რომლებიც შეიცავენ 5 – 25 % ბენტონიტს და 0,5 – 1,5 % კალციუმის ლინგოსულფატს. მათ ახასიათებთ შეკვრის შენელებული ვადები და შედარებით დაბალი წყალგაცემა. იმ შემთხვევებში, როცა მოითხოვება ბენტონიტ – ცემენტის ქვის უფრო მაღალი სიმტკიცე, რეკომენდირებულია ხსნარში შევიყვანოთ 1 – 8 % ნატრიუმის ქლორიდი. ხ. ჯ. ბიჩის მონაცემებით [114] ასეთ ხსნარებს აქვთ არა მარტო უფრო მაღალი სიმტკიცე, არამედ მათ გააჩნიათ გაუმჯობესებული დამცობი თვისებები.

საბჭოთა კავშირში დაბალი კუთრი წონის სატამპონაჟო ნარეგების თვისებების კვლევისადმია მიძღვნილი ა. ი. ბულატოვის შრომები [2, 59]. მის მიერ შემუშავებული იქნა შემსუბუქებული თიხა – ცემენტის ხსნარების რეცეპტები, რომლებიც თავიანთ შემადგენლობაში შეიცავენ 100 %-მდე თიხას სატამპონაჟო პორტლანდცემენტის წონიდან.

შემსუბუქებული სატამპონაჟო ნარეგების მიღების ერთ-ერთი მიმართულებაა პერლიტო – ცემენტური ხსნარების მიღება. პერლიტო – ცემენტური ხსნარები საკმაოდ ფართოდ არის წარმოდგენილი აშშ-ს ნავთობმომპოვებელ მრეწველობაში [126]. მაგალითისათვის, 1960 წელს სატამპონაჟო ხსნარების მოსამზადებლად დახარჯული იყო 9 ათასი ტონა პერლიტი [122]. განსაკუთრებით მაღალი ფიზიკო – მექანიკური თვისებები გააჩნიათ ხსნარებს, სადაც შემამსუბუქებელ დანამატად გამოიყენება ე. წ. გაუმჯობესებული პერლიტი, რომელიც წარმოადგენს აფუებული და არაფუებული პერლიტური ქვიშის ნარეგს, ფარდობით 1:1.

ვინაიდან დაბალი სიმკვრივის ცემენტის ხსნარი გათვალისწინებულია ღრმა ჭაბურღილების დაცემენტებისათვის, ცხადია, რომ შემამსუბუქებელ დანამატებად უნდა გამოვიყენოთ ისეთი მასალები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ საკმაოდ მაღალი სიმტკიცის ცემენტის ქვა მაღალი წნევების და ტემპერატურების პირობებში. შემსუბუქებული ცემენტის ხსნარებისათვის თერმიული მდგრადობის მისანიჭებლად შესწავლილი იქნა სატამპონაჟო ნარეგები ცხელი ჭაბურღილების ცემენტების ბაზაზე [121]). შემუშავებული დიატომიტის და ცემენტის ხსნარების თავიანთი ფიზიკო – მექანიკური თვისებებით საკმაოდ ჭარბობს შემსუბუქებული ხსნარების მრავალ სახეობას.

ი. მ. გუბკინის ნავთოქიმიის ინსტიტუტში შესწავლილ იქნა დიატომიტის დანამატიანი შემსუბუქებული ცემენტის ხსნარის (60 % ცემენტი, 40 % დიატომიტი) ფიზიკო – მექანიკური თვისებები [120]. ასეთი ნარევიდან მიიღება 1,3 გრ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის მქონე ცემენტის ხსნარი, რომელსაც მოთხოვნილი სიმტკიცე გააჩნია.

«ცხელი» და «ცივი» სატამპონაჟო ცემენტის და აქტიური მინერალური დანამატების ბაზაზე მიღებული შემსუბუქებული ცემენტის ხსნარები შესწავლილი იყო რუსი მკვლევარების მიერ. მაგალითად, ა. ი. ბულატოვის მიერ დადგენილი იქნა, რომ

თიხა – ცემენტის ხსნარში 30 % წვრილად დაფხვნილი თაბაშირის დამატებით მაღალტემპერატურული გამყარების პირობებში სიმტკიცე არ მცირდება [2].

ახალი შემსუბუქებული სატამპონაჟო ნარეგების შექმნის ერთ-ერთი მიმართულებაა ხსნარების მიღება ჩვეულებრივი სატამპონაჟო ცემენტებიდან, რომლებიც ადუღაბებულნი არიან სტრუქტურისწარმოქმნის მაღალუნარიან სითხეში. ასეთი სტრუქტურაწარმომქმნელებად გამოიყენება: თხევადი მინა, ალუმინის ქლორიდის და კალციუმის ქლორიდის ნარევი,  $KMlI$ ,  $KM\Gamma\Xi I$  და სხვ. ხსნარის კუთრი წონის შემცირება ხდება წყალ – ცემენტის ფარდობის გაზრდის ხარჯზე 0,7 – 0,9-მდე. წყლის რაოდენობის ზრდის მიუხედავად, ხსნარები ინარჩუნებენ სტაბილურობას. ღრმა ჭაბურღილების დაცემენტებისათვის აქტიურ მინერალურ დანამატებს ფართოდ იყენებენ საზღვარგარეთ. აშშ-ში, გამრეცხი სითხეების კუთრ წონასთან მიახლოებული სატამპონაჟო ხსნარების მოსამზადებლად გამოიყენება პორტლანდცემენტის და მიწის დიატომიტისგან შემდგარი ნარეგები [123, 126]. ეს ნარეგები განსაკუთრებული წარმატებით გამოიყენება ღრმა და ზეღრმა ბურღვის დროს.

ნავთობის და გაზის ჭაბურღილების დაცემენტების დროს აშშ-ში განსაკუთრებული ადგილი მიეკუთვნება ხსნარებს, სადაც დანამატად გამოყენებულია გილსონიტი [126]. ასეთი ხსნარები წარმატებით გამოიყენება ბზარებიანი და კავერნიებიანი ქანების დაცემენტების დროს. საინტერესო კვლევებია ჩატარებული რიგი ავტორების [2, 121] მიერ შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარის მისაღებად ბრძმედის წიდის გამოყენების მიზნით.

შემსუბუქებული ხსნარის კვლევების ანალიზი საფუძველს გვაძლევს ჩავთვალოთ, რომ პრაქტიკული გამოყენება შეიძლება ჰქონდეთ შემდეგი მეთოდით მიღებულ სატამპონაჟო ხსნარებს:

1. ცემენტისა და წყლის დიდი რაოდენობის შეკვრის უნარის მქონე (ბენტონიტი, პერლიტი და სხვ.) ან დაბალი სიმკვრივის (კოქსი, გილსონიტი და სხვ.) მასალებისგან შემდგარი სატამპონაჟო ნარეგის ადუღაბება;

2. ხსნარში წყლის რაოდენობის გაზრდა ძალიან წმინდად დაფქვილი ცემენტის და დანამატების გამოყენებით ან ჩვეულებრივი ცემენტის ადულაბებით სტრუქტურის წარმოქმნის მაღალი უნარის მქონე სითხის საშუალებით;
3. კირის, საჭირო რაოდენობის მინერალური დანამატების და შეკვრის რეგულირებისათვის რეაგენტების შემცველი სატამპონაჟო ნარევის ადულაბება;
4. სატამპონაჟო მასალებად სპეციალური პლასტმასების გამოყენება.

შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარების ფართო პრაქტიკულმა გამოყენებამ მოითხოვა შემამსუბუქებელი დანამატების ასორტიმენტის გაზრდა და ხსნარის შემადგენლობის და მათი გამოყენების არეალის მიმართ კონკრეტული რეკომენდაციების გაცემა. ამ საკითხების შესწავლას და კვლევას ეძღვნება მოცემული სადისერტაციო ნაშრომი.

### I. 2. 2. კვლევების მიზანი და ამოცანები

სამუშაოს მიზანია: ჭაბურღილების დაცემენტების ეფექტურობაზე სატამპონაჟო ხსნარების გავლენის გამოკვლევა კონკრეტული გეოლოგიურ – ტექნიკური პირობებისათვის.

ჩვენს წინაშე წამოყენებული მიზნის მისაღწევად საჭირო გახდა შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. მოსალოდნელ ფენის ჰიდროგახლეჩვის თავიდან აცილებაზე შემსუბუქებული ცემენტების საფუძველზე დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარების გავლენის შესწავლა;
2. გამაგრებული ცემენტის ქვის მოცულობის გაზრდაზე გაფართოებადი ცემენტებით დამუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების ზემოქმედების დადგენა;

3. მაგნიტური ველის დამუშავებითა და ყურძნის წარმოების ნარჩენების დამატებით დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის ვადების განსაზღვრა;
4. ცემენტების, სატამპონაჟო ხსნარების და ცემენტის ქვის თვისებების შერჩევა და კონკრეტული გეოლოგიურ – ტექნიკურ პირობებში ჭაბურღილების დაცემენტების ეფექტურობაზე მათი გავლენის შესწავლა.

## თავი II.

### კვლევების ჩატარების მეთოდика და პირობები

კვლევები წარმოებდა მშენებლობაში სტანდარტიზაციის ტექნიკური ნორმირებების და სერტიფიკაციის სახელმწიფოთაშორისო სამეცნიერო – ტექნიკური კომისიის (სსსტკ) მიერ სატამონაჟო ცემენტებისათვის შემუშავებულ ტექნიკურ ნორმებზე და სტანდარტებზე [102] დაყრდნობით.

სატამპონაჟო ცემენტებისათვის სსსტკ-ის მიერ შემოღებულია შემდეგი კლასიფიკაცია:

I – სატამპონაჟო პორტლანდცემენტი ცემენტი დანამატების გარეშე;

I-G – სატამპონაჟო პორტლანდცემენტი დანამატების გარეშე, ნორმირებული მოთხოვნებით 0,44-ის ტოლი წყალ/ცემენტის ფარდობის დროს;

I-H – სატამპონაჟო პორტლანდცემენტი დანამატების გარეშე, ნორმირებული მოთხოვნებით 0,38-ის ტოლი წყალ/ცემენტის ფარდობის დროს;

II – სატამპონაჟო პორტლანდცემენტი მინერალური დანამატებით;

III – სატამპონაჟო პორტლანდცემენტი ცემენტის ხსნარის სიმკვრივის მარეგულირებელი სპეციალური დანამატებით.

ცემენტის ხსნარის სიმკვრივის მიხედვით III ტიპის ცემენტი იყოფა:

- შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარები

- დამძიმებული სატამპონაჟო ხსნარები

## II.1 კვლევების მეთოდოლოგია

ცდების ჩატარების დროს დაცული იყო შემდეგი ზოგადი მოთხოვნები:

- ცდები ტარდებოდა შენობაში, სადაც ჰაერის ტემპერატურა იყო  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  და ფარდობითი ტენიანობა არა ნაკლებ 50%-სა;
- ცემენტის სინჯი ცდის ჩატარებამდე ინახებოდა მშრალ შენობაში, სადაც ფარდობითი სინესტე 50%-ზე ნაკლები იყო;
- ცემენტის ცომის მოსამზადებლად და ნიმუშების შესანახად გამოიყენებოდა ჩვეულებრივი სასმელი წყალი;
- ცდების ჩატარების წინ ცემენტს და წყალს ვაჩერებდით ოთახის ტემპერატურის მიღებამდე;
- ცემენტის აწონა ხდებოდა  $\pm 1$  გ. ცდომილებით, წყალი იწონებოდა ან იზომებოდა შესაბამისად  $\pm 1$  გ. ან  $\pm 1$  მლ ცდომილებით;
- ცდების დროს გამოყენებული კონტროლის საშუალებები ისეთი მასალისაგან არიან დამზადებულნი, რომლებიც არ რეაგირებენ ცემენტთან.

ცემენტის გამოცდა ყველა მაჩვენებელზე, გარდა დაფქვის სიწმინდისა, ტარდებოდა ცემენტის ცომზე, მასში ცემენტის და წყლის ფარდობა <sup>1</sup> II. 1 ცხრილში მოცემული მაჩვენებლების მიხედვით იყო შერჩეული.

ცდის ჩატარების ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით, ყველა ტიპის ცემენტების შესქელების დროის განსაზღვრის ცდის რეჟიმი, ღუნვაზე და კუმშვაზე სიმტკიცის განსაზღვრის გამყარების რეჟიმი უნდა შეესაბამებოდეს <sup>1</sup> II. 2 ცხრილში მოყვანილ მოთხოვნებს.

ცხრ. II. 1.

ცემენტის ტიპი	წყალცემენტის ფარდობა წ/ც	ერთი ადულაბებისათვის ცემენტის სინჯის მასა გ-ში, თვისებების განსაზღვრისათვის
---------------	--------------------------	---

		ცემენტის ცომის განდინება, სიმკვრივე, 20x20x100 მმ ზომის კოჭების ნიმუშების სიმტკიცე, მპა	შესქლების, წყალგაცემის დრო	40x40x160 მმ ზომის კოჭების ნიმუშების სიმტკიცე, მპა
I, II	0,5	700	700	1200
III - 06	0,60 - 1,30	300 - 500	300 - 500	600 - 800
III - Yr	0,30 - 40	800	800	1600

შენიშვნა: დასაშვებია განდინების და სიმკვრივის განსაზღვრა ცემენტის ცომის იმ სინჯებით, რომლებიც მომზადებულია შესქლების დროის, წყალგაცემის და სიმტკიცის განსაზღვრისათვის.

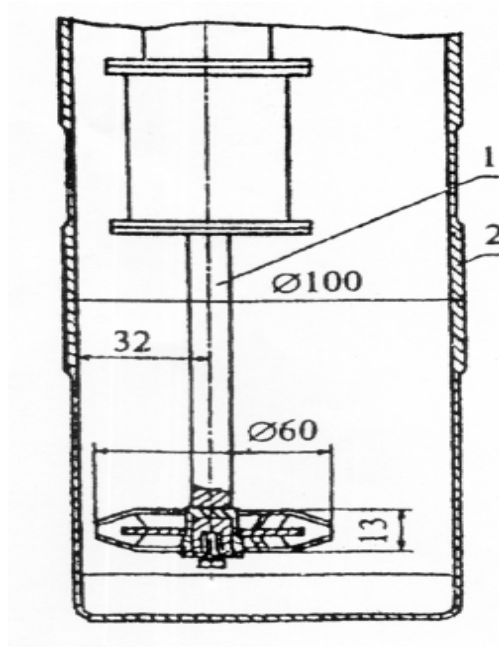
III ტიპის ცემენტისათვის წ/ც სიდიდე შეირჩევა ცემენტის ცომის განდინების მიხედვით, რომელიც უნდა იყოს არა უმცირეს 180-ის და არა უმეტეს 220-სა.

ცხრ. II. 2

ცემენტის გამოყენების ტემპერატურა C	ტემპერატურა, C				წნევის რეჟიმი		რეჟიმის პარამეტრების მიღწევის დრო, წთ	
	წინასწარი გათბობის		რეჟიმული					
	ნომინალური	გამორთვის წინ	ნომინალური	გამორთვის წინ	ნომინალური	გამორთვის წინ	ნომინალური	გამორთვის წინ
დაბალი და ნორმალური	22	±2	22	±2	ატმოსფერული		-	-
ზომიერი	30	±3	75	±3	ატმოსფერული		22	±3
მომატებული	75	±3	120	±5	40	6	25	±3



ცემენტის ცომი მზადდებოდა სპეციალურ ფრთებიან შემრევში (სურ. II. 1.). ფრთების ბრუნვის სიჩქარე  $(1500 \pm 100)$  ბრ/წთ შეადგენს. ცილინდრული ფორმის ჭიქაში არეული ხსნარის მოცულობა 500-დან 900-მდე მ<sup>3</sup>-ს შეადგენს.

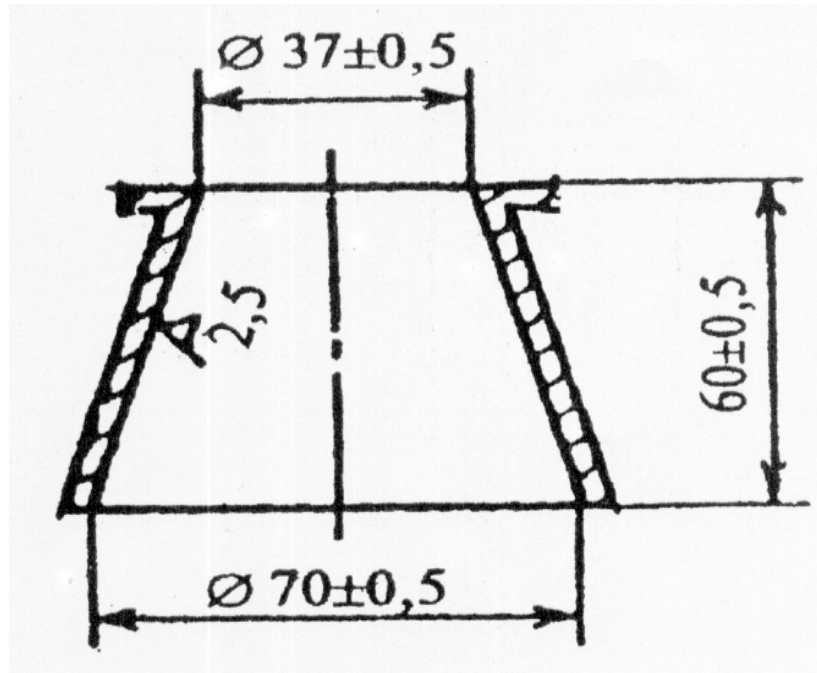


სურ. II. 1. ფრთებიანი შემრევი

1 – ფრთებიანი მოწყობილობა; 2 – ჭიქა

## II. 1. 1. სატამპონაჟო ხსნარების განდინების, სიმკვრივისა, კონსისტენციის და წყალგაცემის განსაზღვრა

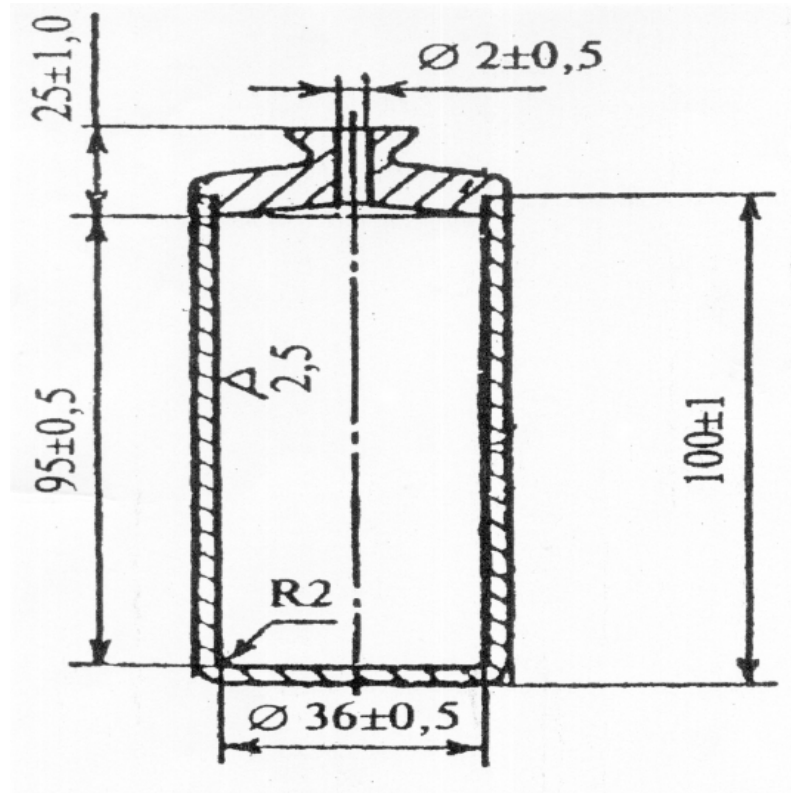
ცემენტის ხსნარის განდინების განსაზღვრისთვის ვიყენებდით კონუსს, რომლის სქემა მოცემულია სურ. II. 2.



სურ. II. 2. ფორმა – კონუსი

კონუსის გაზომვის ზღვრებია 100 – 250 მმ. დანაყოფის ფასი: 5 მმ, გაზომვის ცდომილება – 2,5 მმ, სინჯის ალების სიმაღლე – 60 მმ, სინჯის ალების მოცულობა – 120 სმ<sup>3</sup>, სინჯის ალების ზედა და ქვედა დიამეტრი, შესაბამისად – 37 ÷ 60 მმ, სამუშაო ტემპერატურა 10 ÷ 50°C, 20°C –ზე სამუშაო ტენიანობა ~ 65 %, გაბარიტები - Φ270 Λ120 მმ. განდინების მაჩვენებლად ვიღებდით ორი გაზომვის საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას, რომელთა შორის განსხვავება 10 მმ-ზე მეტი არ უნდა იყოს.

სატამპონაჟო ცემენტის ხსნარის სიმკვრივის განსაზღვრისათვის ვიყენებდით (100 ± 5) სმ<sup>3</sup> მოცულობის მქონე პიკნომეტრს (სურ. II. 3) და სასწორს, ცდომილებით არა უმეტეს ± 0,01 გრ-სა.



სურ. II. 3. პიკნომეტრი სიმკვრივის განსაზღვრისათვის

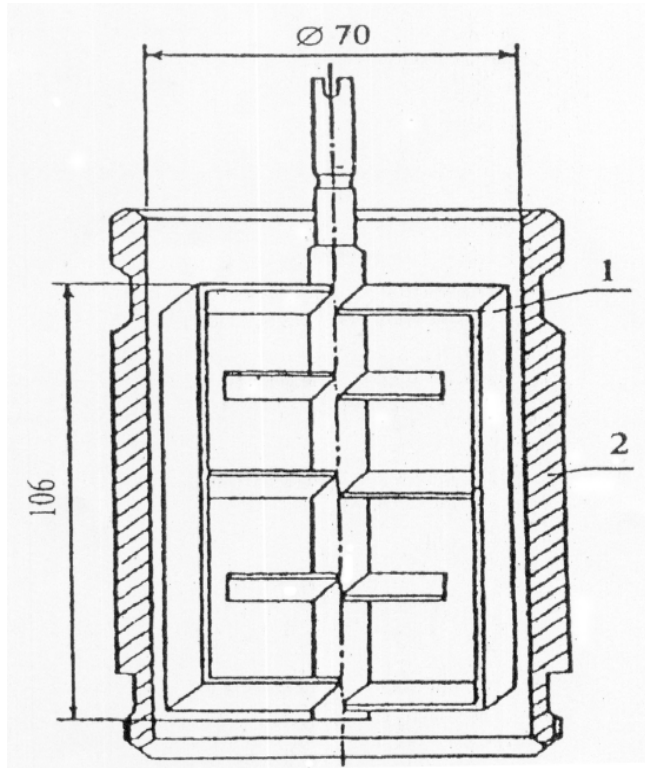
პიკნომეტრს ვავსებთ ცემენტის ცომით და ვკეტავთ სახურავით, ამასთან ცემენტის ცომმა უნდა შეავსოს პიკნომეტრის სახურავში არსებული ხვრელი. ხვრელიდან გამოსული ჭარბი ცომი უნდა მოვაცილოთ სველი ჩვრით. შემდეგ კი განსაზღვრავთ ცემენტის ცომით სავსე პიკნომეტრის მასას. სატამპონაჟო ხსნარის სიმკვრივე  $P_{\text{გ}}$ ,

$$\text{განსაზღვრება ფორმულით: } P_{\text{გ}} = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

სადაც  $m_1$  – ცარიელი პიკნომეტრის მასაა გრ-ში,  $V$  – პიკნომეტრის ტევადობაა სმ<sup>3</sup>-ში. გამოთვლის შედეგებს ვამრგვალებდით 0,01 გრ/სმ<sup>3</sup>-მდე.

სატამპონაჟო ცემენტის ხსნარის შესქელების დროის განსაზღვრა ხდებოდა კონსისტომეტრით KII-3. KII-3 მუშაობს ატმოსფერულ წნევაზე, დაბალ, ნორმალურ და

ზომიერ ტემპერატურებზე მომუშავე ცემენტების გამოსაცდელად. ცემენტის ხსნარის სინჯის გახურების ტემპერატურა  $250^{\circ}\text{C}$ -მდეა. ჭიქის სინჯთან ერთად ბრუნვის სიჩქარე 60, 150 ბრ/წთ. კონსისტომეტრის გამზომი კვანძის სქემა მოყვანილი სურ. II. 4.



სურ. II. 4. კონსისტომეტრის გამზომი კვანძის სქემა.

1 – ფრთებიანი მოწყობილობა; 2 – ჭიქა.

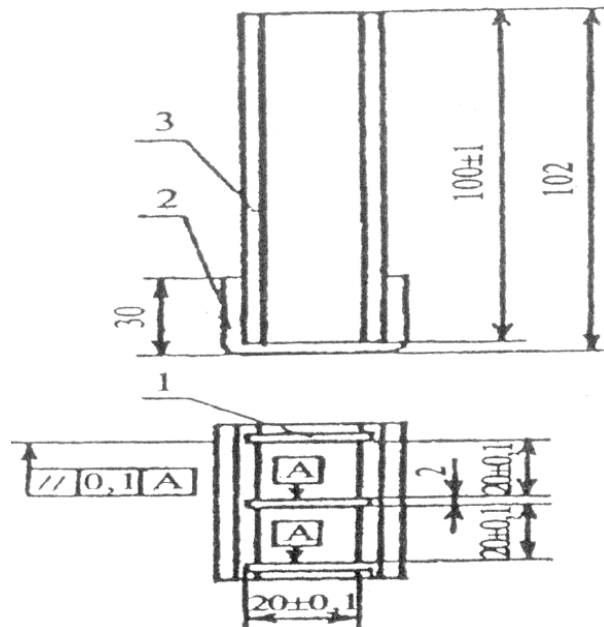
ცემენტის ხსნარის შესქელების დროდ ითვლება დრო წყლით ცემენტის ადულაბების დასაწყისიდან 30 წ/ც კონსისტენციის მიღწევამდე.

წყალგაცემის განსაზღვრის დროს ვიყენებით განზომილებიან ცილინდრებს ტევადობით 20 სმ<sup>3</sup>, დანაყოფის ფასით 0,2 სმ<sup>3</sup> და ტევადობით 250 სმ<sup>3</sup>, დაგრადუირებული ნაწილის სიმაღლე არა უმეტეს 250 სმ და არა ნაკლებ 230 სმ. სატამპონაჟო ხსნარს ვასხამდით ორ ცილინდრში 250 სმ<sup>3</sup> დანაყოფამდე და ვაჩერებდით დალექვამდე 2 სთ-ის განმავლობაში. 2 სთ  $\pm$  5 წთ-ის შემდეგ ზედაპირზე გამოყოფილი წყალი გადაგვკონდა 20

სმ<sup>3</sup> – ტევადობის ცილინდრში და ვზომავდით ყოველ ცილინდრში გამოყოფილი წყლის რაოდენობას. წყალგაცემის მნიშვნელობად ვიღებდით ორი პარალელური ცდის საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას.

## II. 1. 2. ელემენტის ნიმუშების – კოჭების ღუნვაზე და კუმშვაზე გამოცდა

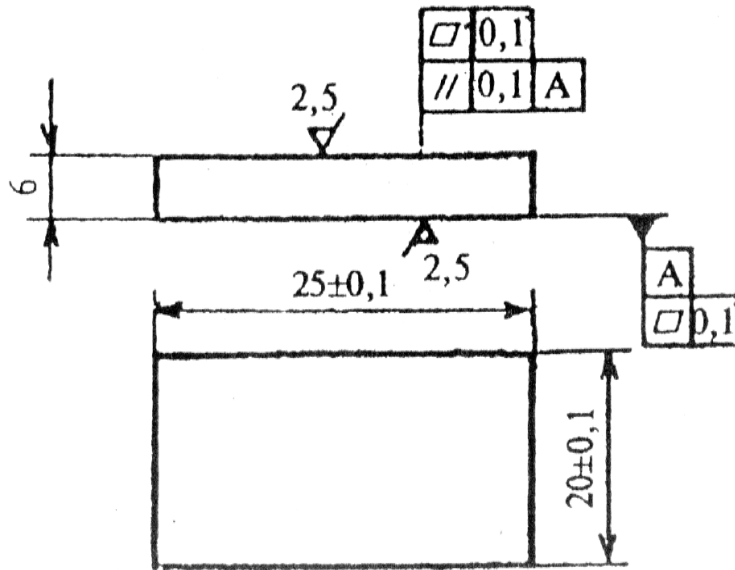
ცემენტის ნიმუშების – კოჭების ღუნვაზე და კუმშვაზე გამოსაცდელად ვიყენებდით გამოსაცდელ მანქანას МИЦИС – 300 К. მასზე მიმდინარეობდა სატამპონაჟო ცემენტებიდან დასამზადებული 20x20x100 ზომის ნიმუშების გამოცდა. გაზომვის დატვირთვის დიაპაზონი ღუნვაზე – 1 – 10 კნ, კუმშვაზე – 10 – 300 კნ. დანაყოფის ფასი 1 და 10 შესაბამისად. დგუშის მუშა სვლა 20 და 30 მმ შესაბამისად. მუშა სივრცის სიგანე 110 და 340 მმ, მასა – 600 კგ. გაბარიტები 1560x1700x1440 მმ. სურ. II. 5 მოცემულია ნიმუშების დასამზადებელი ფორმის ნახაზი.



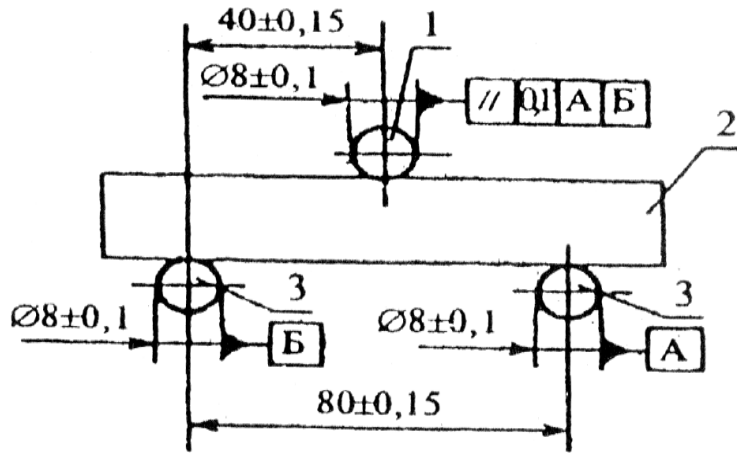
სურ. II. 5. 20x20x100 მმ ზომის კოჭების დასამზადებელი ფორმა.

1 – ტიხრები (1 – 3ც, 2 – ძირი (1ც), 3 – კედელი (2ც))

სურ. II. 6 ნაჩვენებია კუმშვაზე გამოცდის დროს კოჭებზე დატვირთვის გადამცემი ფირფიტების ნახაზი.



სურ. II. 6. 20x20x100 კოჭების კუმშვაზე გამოცდისათვის გამოყენებული ფირფიტა



გამოცდის დროს კოჭის მდებარეობის სქემა მოცემულია სურ. II. 7.

სურ. II. 7. გამოცდის დროს ნიმუშის (კოჭის) მდებარეობის სქემა.

1 – დამტვირთავი ელემენტი, 2 – ნიმუში (კოჭი), 3 – საყრდენი

სიმტკიცეს ღუნვაზე ვითვლიდით ფორმულით  $R = 1,5Fl / b^3$ , სადაც  $F$  – მრღვევი დატვირთვაა, ნ.;  $L$  – საყრდენების ღერძებს შორის მანძილია მმ;  $b$  – ნიმუშის (კოჭის) კვადრატული კვეთის მხარეა, მმ<sup>2</sup>; სიმტკიცე კუმშვაზე გამოითვლებოდა ფორმულით  $R_3 = F_3 / S$ , სადაც  $F_3$  – მრღვევი დატვირთვაა, ნ.;  $S$  – ფირფიტის მუშა ზედაპირის ფართობია, მმ<sup>2</sup>.

### II. 1. 3. სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის ვადების განსაზღვრა

შეკვრის ვადების განსაზღვრისათვის ვიყენებდით ვიკას ხელსაწყოს (სურ. II. 8). მისი მონაცემებია: ნემსის დიამეტრი – 1,1 მმ, სიგრძე – 50 მმ, ფილთაქვის დიამეტრი – 10 მმ, სიგრძე – 50 მმ, სკალის დანაყოფის ფასი – 1 მმ, რგოლის სიმაღლე – 40 მმ, ხელსაწყოების გაზომვები – 145x160x288 მმ. სატამპონაჟო ხსნარის შეკვრის დასაწყისს ვაფიქსირებდით, როცა სტანდარტულ კონუსში მოთავსებულ უძრავ სატამპონაჟო ხსნარში ვიკას ნემსი 1 მმ-

ით ველარ აღწევს ფსკერამდე. შეკვრის დასასრული კი მაშინ დგება, როცა იგივე ვიკას ნემსი გამაგრებულ ცემენტში 1 მმ-ზე მეტად ველარ ჩაესობა.



სურ. II. 8. ვიკას ხელსაწყო ცემენტის ცომის ნორმალური სისქის განსაზღვრისათვის

#### II. 1. 4. ცემენტის მტვრის რენტგენოგრაფიული შესწავლა

სატამპონაჟო ხსნარის თვისებები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული სატამპონაჟო ნარევის შემადგენლობაზე. ამიტომ სატამპონაჟო ნარევის კომპონენტების შერევის დროს ყურადღებით უნდა იქნას შესწავლილი მათი ფიზიკო – ქიმიური და მექანიკური თვისებები. ჩვენ შემთხვევაში სატამპონაჟო ხსნარისათვის შემსუბუქებული და გაფართოებადი თვისებების მისანიჭებლად (სხვა საექსპლუატაციო თვისებების შენარჩუნებით) შერჩეული იქნა ცემენტის ქარხნის მბრუნავი ლუმლის მტვრის, რომელიც მიიღება კლინკერის წარმოების დროს და ტყიბულის ქვანახშირის ნაცრის ნარევით.

ცნობილია, რომ პორტლანდცემენტის კლინკერი ძირითადად მიიღება მბრუნავ ლუმელში. ლუმლიდან გამავალ ნამწვ აირებს თან მიაქვთ მტვრის დიდი რაოდენობა. მტვერს იჭერენ ჯერ მტვერდამჭერ საკანში, ხოლო შემდეგ ელექტროფილტრში. მტვერი



ძირითადად შეიცავს ნედლეულის ნარევს, ხოლო მცირე რაოდენობით – კლინკერის მინერალებს და ტუტემეტალთა ოქსიდებს ან სულფატებს.

ცემენტის მტვრის ფაზური შედგენილობის და მისი შემადგენელი ნაწილაკების დისპერსულობის დასადგენად ჩატარებული იქნა მისი რენტგენოგრაფიული კვლევა.

კრისტალურ ნივთიერებებში აღნაგობის და ფაზური შემცველობის შესწავლის დიფრაქციული მეთოდებიდან ყველაზე ხელმისაწვდომი და ამდენად ყველაზე უკეთ დამუშავებული რენტგენოგრაფიული მეთოდებია. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია რენტგენოფაზური და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის მეთოდები [103, 104, 105, 106, 107]. რენტგენოფაზური ანალიზი იძლევა ნივთიერებათა იდენტიფიკაციის საშუალებას ანუ რომელი ნაერთია მიღებული, შეიცავს თუ არა საწყის კომპონენტებს, ერთფაზაა თუ მრავალფაზიანია სისტემა და რომ ნამდვილად წარმოადგენს კრისტალურ ნივთიერებას.

**ნიმუშის მომზადება** რენტგენოფაზური ანალიზისათვის ჩვენს ხელთ არსებული საკვლევი ობიექტი წარმოადგენდა ფხვნილს. განსაზღვრული მოცულობის საკვლევი ფხვნილის «შესქელებულ ვაზელინში» შერევით მოვამზადეთ ცომისებური მასა (ამ შემთხვევაში პლასტელინით სარგებლობა დაუშვებელია, შეიცავს რა ფერის მიმცემ არაორგანულ მარილებს, ის იძლევა საკუთარ მაქსიმუმებს). მიღებული ცომისებური მასა დავაფიქსირეთ რენტგენულად ამორფული კვარცის კიუვეტებში.

რენტგენოფაზური ანალიზის ჩასატარებლად ფხვნილებისათვის ვიყენებდით დებაი-შერერის ანუ ფხვნილის დიფრაქტომეტრული გადაღების მეთოდა [103, 104]. დიფრაქტოგრამებს ვიღებდით HZG-4A-2 ტიპის გერმანული წარმოების (ფირმა Carl Zeiss Jena) ავტომატურ, ორწრიან დიფრაქტომეტრზე, რომელიც აღჭურვილია მართვისა და ინფორმაციის დამუშავების პროგრამებით (MEAS\_1 და MEAS\_2 – გადაღების პირობები და მოპოვებული ინფორმაციის შენახვა, PROFAN – მაქსიმუმებისათვის პროფილური ანალიზი და სხვ.) უზრუნველყოფილი A-5120 ტიპის კომპიუტერით (გერმანული ფირმა ROBOTRON). გადაღების დროს ვითვალისწინებდით საკვლევი ობიექტის მიერ  $K\alpha$  - გამოსხივების შთანთქმასა და  $K\beta$ - გამოსხივებას ვაცილებდით ანოდის მასალის შესაბამისი სელექციური ფილტრებით.

რენტგენოსპექტრული ანალიზი შეიძლება დავყოთ ორ ძირითად მიმართულებად: ემისიური და ფლუორესცენციული მეთოდები [104, 105, 96].

**ემისიური ხერხი.** ემისიური მეთოდის შემთხვევაში საკვლევ ნივთიერებას ათავსებენ დასაშლელი რენტგენული მილაკის ანოდის ნაცვლად. გამოსაკვლევი რენტგენის სპექტრი ამ შემთხვევაში არის პირველადი და შესაბამისად მათი ინტენსივობაც დიდია: ამიტომ ცხადია ექსპოზიციის დრო ნაკლები იქნება. ემისიურ სპექტრომეტრულ მეთოდში რენტგენის სხივები დიფრაქციას განიცდის კრისტალანალიზატორზე და ფოკუსირდება ფოტოფირზე, ფირის ქიმიური დამუშავების შემდეგ შესაძლებელია მიღებულ სპექტრში ტალღის სიგრძეების დადგენა და მის საფუძველზე ელემენტური შედგენილობის თვისობრივად განსაზღვრა. ამ მეთოდის ნაკლია, რომ ის ცუდად ან ვერ მუშაობს დიელექტრიკებთან.

**ფლუორესცენციული ანალიზი.** ფლუორესცენციული მეთოდი ემისიური მეთოდისაგან იმით განსხვავდება, რომ ნიმუშის დასხივება ხდება ხისტი (მოკლე ტალღის სიგრძის) რენტგენული სხივებით, რომელიც მასში აღძრავს მეორად რენტგენულ მახასიათებელ გამოსხივებას (ამიტომ ამ მეთოდისათვის მნიშვნელობა არა აქვს ნიმუშის ბუნებას და აგრეგატულ მდგომარეობას). ის საიმედო მეთოდს წარმოადგენს, იძლევა როგორც თვისობრივი ასევე რაოდენობრივი ანალიზის საშუალებას, ამასთან ნიმუში ინარჩუნებს საწყის სახეს, ანუ არ ხდება მისი ლიკვიდაცია.

მეთოდის მგრძობიარობა მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია გამოსავლენი ქიმიური ელემენტის რიგითი ნომერი.

ჩვენი საკვლევი ობიექტი წარმოადგენს დიელექტრიკს, ამიტომ აუცილებელი აღმოჩნდა ელემენტური ანალიზი ჩაგვეტარებინა ელექტრონული ზონდის გამოყენების გარეშე (ელექტრონული ზონდი მუხტავს ნიმუშს) ანუ ფლუორესცენციული მეთოდით.

რადგანაც დღეისათვის საქართველოში არ არსებობს რენტგენოფლუორესცენციური ანალიზის დანადგარი, ელემენტური ანალიზისათვის გამოვიყენეთ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტრუქტურულ კვლევათა რესპუბლიკურ ცენტრში მოდერნიზებული რენტგენული დიფრაქტომეტრი ДРОН – 3М .

მისი შესაძლებლობები შეზღუდულია, შესაძლებელია მხოლოდ ელემენტ სკანდიუმიდან (Sc) დაწყებული ელემენტების შესაბამისი სპექტრის დაფიქსირება.

## II. 2. სატამპონაჟო მასალების და ნარევების დახასიათება

### II. 2. 1. პორტლანდცემენტი

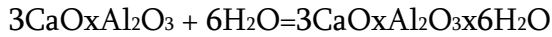
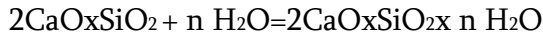
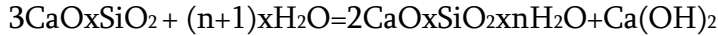
პორტლანდცემენტი ეწოდება ჰიდრავლიკურ მჭიდ ნივთიერებას – გამომწვარი კლინკერის წმინდა დაფქვის პროდუქტს. მის მისაღებად საწყის ნედლეულში უნდა შედიოდეს  $\text{CaO}$ -60-75%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -3-8%,  $\text{SiO}_2$ -15-25% და  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -2-6%. არსებობს პორტლანდცემენტის მიღების ორი მეთოდი: მშრალი და სველი. თანამედროვე ქარხნებში, როგორც წესი, გამოიყენება სველი მეთოდი, რადგან იგი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ უფრო მაღალი ხარისხის და ერთგვაროვანი პროდუქტი. ჭაბურღილში ფენების განმხოლოების და სხვა საიზოლაციო სამუშაოებისათვის საბაზოდ გამოიყენება პორტლანდცემენტის ორი სახესხვაობა: ა) «ცივი» ჭაბურღილებისათვის; ბ) «ცხელი» ჭაბურღილებისათვის.

კლინკერის გამოწვის დროს  $\text{CaO}$ -ს თიხის მდგენელებთან  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  და  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -თან ურთიერთქმედების დროს წარმოიქმნებიან სხვადასხვა სახის ქიმიური ნაერთები, რომელთა შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი არის ოთხი:

- სამკალციუმიანი სილიკატი -  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
- ორკალციუმიანი სილიკატი -  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
- სამკალციუმიანი ალუმინატი -  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- ოთხკალციუმიანი ალუმოფერიტი -  $4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

ა. ა. ბაიკოვის თეორიის მიხედვით [112] პორტლანდცემენტის გამყარების დროს არჩევენ სამ პერიოდს:

პირველი პერიოდი – კლინკერის მთავარი მინერალების გახსნა გაჯერებამდე და წყალთან ურთიერთქმედება



ზემოაღნიშნულებიდან მხოლოდ სამკალციუმიანი სილიკატი  $3\text{CaOxSiO}_2$  განიცდის ჰიდროლიზს თავისუფალი კირის  $\text{Ca(OH)}_2$  წარმოქმნით. კირის გამოყოფას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგან ეს მოვლენა ამცირებს პორტლანდცემენტის წყალში მდგრადობას.

მეორე პერიოდი – კოლოდაცია. კლინკერის მინერალების წარმოქმნილი ჰიდრატები იწყებენ ხსნარიდან გამოყოფას კოლოიდური მასის სახით. კოლოიდური მასის წარმოქმნა განაპირობებს ცემენტის ხსნარის პლასტიურობას.

მესამე პერიოდი – კოლოიდური მასების გამყარება და მტკიცე ცემენტის ქვის წარმოქმნა. საწყის პერიოდში პორტლანდცემენტის გამყარება სწრაფად მიმდინარეობს. შემდეგ სიმტკიცის ზრდა ნელდება, რადგანაც კოლოიდური წარმონაქმნები და მათი კრისტალიზაცია უფრო და უფრო უმლის ხელს ცემენტის მარცვლის შიგა ნაწილებში წყლის შეღწევას.

პორტლანდცემენტის გამოყენების და თვისებების მიხედვით არსებობს მისი მრავალი სახესხვაობა, რომელთაგან ჩვენთვის განსაკუთრებით საინტერესოა შემსუბუქებული ცემენტის ნარევები. ასეთი ცემენტებისაგან მიღებული ხსნარების სიმკვრივე 1800 და 2000 კგ/მ<sup>3</sup> დიაპაზონებში მერყეობს. შემსუბუქებული ცემენტის ნარევები განკუთვნილია საგრძნობლად ნაკლები სიმკვრივის სატამპონაჟო ხსნარების მიღების რამდენიმე ხერხი:

- კლინკერში ან უშუალოდ საბაზო ცემენტში დაფქვისას ისეთი მინიმალური ნივთიერებების დამატება, რომელთაც დიდი რაოდენობით წყლის შეკავების უნარი აქვთ;
- საბაზო ცემენტში დაბალი სიმკვრივის მყარი ნივთიერების (ნავთობის კოქსი, გილსონიტი, ასფალტები, ბიტუმები და სხვ.) წვრილი ფრაქციების დამატება;

- საბაზო ცემენტში დახურულფორებიანი წვრილი გრანულების დამატება, რომლებიც ძირითადად შევსებულია გაზით (აფუებული პერლიტი, პლამინოლი, კვარცის მიკრობალონები, მიკროსფეროები და სხვ.);
- სპეციალური მჭიდა მასალების სინთეზი.

ყველაზე მეტად პირველი ხერხი გამოიყენება. ნარევი ან საბაზო ცემენტში მინერალური დანამატების სახით იყენებენ თიხას, ვულკანური წარმოშობის მასალებს, კარბონატულ მასალებს. ამ მასალებს შედარებით დაბალი სიმტკიცე გააჩნიათ და ადვილად იფხვნებიან. ფხვნილს საკმაოდ დიდი კუთრი ზედაპირი (1000 მ<sup>2</sup>/კგ და მეტი) აქვს. ყველაზე დიდი კუთრი ზედაპირი და წყლის უდიდესი შეკავების უნარი თიხოვან, შემდეგ კი კაჟმიწიან დანამატებს აქვთ.

შემსუბუქებული ნარევების საერთო ნაკლი ის არის, რომ სატამპონაჟო ხსნარის სიმკვრივის შემცირებით, მისგან მიღებული ქვის სიმტკიცე კლებულობს და შეღწევადობა იზრდება.

**გაფართოებადი ნარევები.** ასეთი ნარევები გამოიყენება იმ სატამპონაჟო ხსნარების მოსამზადებლად, რომელთა მოცულობა გამაგრებისას იზრდება. გაფართოებადი ნარევები პირობითად ორ ჯგუფად იყოფა. პირველ ჯგუფში შედის ის ცემენტები და ნარევები, რომელთა გამოყენების დროსაც გაფართოების პროცესი, ძირითადად, მიმდინარეობს ქვის წარმოშობის, მის მიერ საკმაოდ სიმტკიცის მიღებისა და პლასტიურობის დაკარგვის შემდეგ. ამ მასალებს მიეკუთვნება თაბაშირი, კაჟმიწოვანი ცემენტები და სატამპონაჟო პორტლანდცემენტების ნარევები 10 – 20% თაბაშირითიხამიწასთან, ან 5 – 10% მაგნეზიტთან ან დოლომიტთან, რომლებიც 700 – 900°C არის გამომწვარი. სატამპონაჟო ქვის გაფართოების მყარ მდგომარეობაში, როგორც ჩანს, არ უნდა აღემატებოდეს 1 – 1,5%, ვინაიდან უფრო მეტი გაფართოებისას შესაძლოა ქვა დაიბზაროს და დაიშალოს.

მეორე ჯგუფში შედიან ის ნარევები, რომელთა გაფართოება მთავრდება ხსნარის შეკვრის ბოლოსათვის, ე. ი. იმ პერიოდში, როცა ჩამოსაყალიბებელი ცემენტის ქვა ჯერ კიდევ პლასტიკურია. აქ შესაძლებელია კიდევ უფრო მეტად გაფართოება. გასაფართოებელ დანამატებად გამოიყენება კალციუმის და მაგნიუმის ოქსიდები, რომლებიც განსაზღვრულ

ტემპერატურულ რეჟიმში ნედლეულის გამოწვით მიიღება. ასე, მაგალითად, 100°C-მდე გამოყენებულ სატამპონაჟო პორტლანდცემენტში დანამატად წარმატებით გამოიყენება ჩამქრალი კირი CaO, რომელიც 1200°C ტემპერატურისას კალციუმის კარბონატის გამოწვით მიიღება. ჭაბურღილის 180°C –მდე ტემპერატურისას საბაზო ცემენტს და ცემენტ – ქვიშიან ნარევს უმატებენ მაგნიუმის ოქსიდს, რომელიც ქრომატული შრამის 1200 - 1300°C ტემპერატურაზე გამოწვით მიიღება, უფრო მაღალი ტემპერატურის ჭაბურღილებში კი - 1600°C ტემპერატურაზე მიღებულ მაგნიუმის ოქსიდს.

## II. 2. 2. წყალი, მისი სტრუქტურა და თვისებები

სატამპონაჟო ხსნარის ძირითადი კომპონენტები ცემენტთან ერთად წყალია. მაგრამ ხსნარის თვისებების გაუჯობესების და რეგულირებისათვის დანამატების შერჩევის დროს, თითქმის არ მიიღება მხედველობაში თუ რა წყალზე უნდა დამზადდეს სატამპონაჟო ხსნარი.

წყლისა და მისი თვისებების შესწავლისადმი მრავალრიცხოვანი კვლევებია მიძღვნილი [94, 95, 96, 98, 99]. დაწვრილებით არის შესწავლილი წყლის ორთქლის ელემენტარული ნაწილაკი, ე. წ. წყლის მოლეკულა (H<sub>2</sub>O). შესწავლილია მყარი წყლის (ყინულის) მრავალრიცხოვანი პოლიმორფული მოდიფიკაციები [100]. თავად წყალი, როგორ პარადოქსალურადაც არ უნდა ჩანდეს, ჯერ კიდევ არადაამაკმაყოფილებლად არის შესწავლილი.

ტექნოლოგიური და ეკონომიური თვალსაზრისით წყლის თვისებებზე ზემოქმედების ეფექტური საშუალება მისი დამაგნიტებაა. წყალზე და მის მინარევებზე მაგნიტური ველის გავლენის მექანიზმი არ შეიძლება ჩაითვალოს სათანადოდ გამოვლენილად. სხვადასხვა ავტორების ცნობილი მოსაზრებები ძირითადად დაფუძნებულია წყლის მოლეკულებსა და იონებზე მაგნიტური ველის პოლარიზებულ ზემოქმედებაზე. წყალზე და მის მინარევებზე მაგნიტური ველის ზემოქმედების მექანიზმი თანამედროვე შეხედულებებით აიხსნება მარილების იონების დეფორმაციებით და

მაპოლარიზებული მოვლენებით. მაგნიტით დამუშავებისას იონების ჰიდრატაცია მცირდება, იონები უახლოვდებიან ერთმანეთს და წარმოქმნიან მარილის კრისტალურ ფორმას. ერთ-ერთი თეორიის საფუძვლად მიღებულია მაგნიტური ველის გავლენა წყლის კოლოიდურ მინარევებზე, მეორესი – წყლის სტრუქტურის ცვლილება. მაგნიტური ველის მოდების დროს წყლის მასაში ფორმირდება კრისტალიზაციის ცენტრები, რის შედეგადაც გაუხსნელი მარილების გამოყოფა ხდება არა თბოგადაცემის ზედაპირზე (გახურების ან გაცივების) არამედ წყლის მოცულობაში. ამგვარად, წყალში მყარი ნაწილაკების ნაცვლად წარმოიქმნება წვრილდისპერსული შლამი. მაგნიტური დამუშავება ხელს უწყობს წყალში არსებული სხვადასხვა მარილების გახსნის და გამოტუტვის პროცესების ინტენსიფიკაციას. მრავალრიცხოვანი მონაცემებით წყლის მაგნიტური დამუშავება დადებით გავლენას ახდენს შემკვრელი ნივთიერებების გამყარების პროცესზე და მათ ფუძეზე ბეტონის და ნაცრის ხსნარების მომზადებაზე.

### **II. 3. ექსპერიმენტების მონაცემების მათემატიკური სტატისტიკით დამუშავება დისპერსიული ანალიზის გამოყენებით**

სამი სახეობის სატამპონაჟო ხსნარის (მაგნიტური ველით დამუშავებული ნორმალური პორტლანდცემენტის ხსნარის, შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარის, შემსუბუქებული, გაფართოებადი სატამპონაჟო ხსნარის) გამაგრებისას მიღებული ცემენტის ქვის სიმტკიცის კუმშვაზე (მპა) სიდიდეების დისპერსიული ანალიზი.

რადგან შეისწავლება სატამპონაჟო ხსნარების სახეობების გავლენა ცემენტის ქვის სიმტკიცეზე კუმშვისას (მპა), მაშინ ის წარმოადგენს ერთფაქტორიან ექსპერიმენტს სამი დონით.

ვადგენთ კორელაციურ ცხრილს

სატამპონაჟო ხსნარების სახეები	ნიშნის მნიშვნელობათა რიცხვი	ცემენტის ქვის სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა
მაგნიტური ველით დამუშავებული პორტლანდცემენტის ხსნარი	5	6,2; 6,3; 5,9; 6,1; 6,6
შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარი	8	4,7; 4,2; 4,9; 4,4; 4,1; 4,3; 4,5; 5,1
შემსუბუქებული გაფართოებადი სატამპონაჟო ხსნარი	6	5,0; 5,2; 4,9; 5,4; 5,9; 5,3

$$\Sigma x = 6,2 + 6,3 + 5,9 + 6,1 + 6,6 + 4,7 + 4,2 + 4,9 + 4,4 + 4,1 + 4,3 + 4,5 + 5,1 + 5,0 + 5,2 + 4,9 + 5,4 + 5,9 + 5,3 = 99$$

$$\Sigma x^2 = 6,2^2 + 6,3^2 + 5,9^2 + 6,1^2 + 6,6^2 + 4,7^2 + 4,2^2 + 4,9^2 + 4,4^2 + 4,1^2 + 4,3^2 + 4,5^2 + 5,1^2 + 5,0^2 + 5,2^2 + 4,9^2 + 5,4^2 + 5,9^2 + 5,3^2 = 486,75$$

$$X = \frac{99}{19} = 5,2$$

საერთო საშუალო სიდიდეებიდან გადახრის კვადრატების ჯამს უწოდებენ საერთო დისპერსიას ( $D^2$ )

$$D^2 = \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/n$$

სადაც, n არის x ნიშნის ვარირებული მნიშვნელობათა რიცხვი:

$$D^2 = 486,75 - \frac{99^2}{19}$$

სამივე ჯგუფის მიხედვით

$$\bar{X}_1 = \frac{\Sigma x_1}{n_1} = \frac{31,1}{5} = 6,22$$



$$\bar{X}_2 = \frac{\Sigma x_2}{n_2} = \frac{36,9}{8} = 4,5$$

$$\bar{X}_3 = \frac{\Sigma x_3}{n_3} = \frac{31,7}{6} = 5,28$$

საერთო დისპერსია იყოფა ფაქტორულ დისპერსიად  $D^2_F$  და წარჩენ (შემთხვევით) დისპერსიად  $D^2_0$

$$D^2_F = \Sigma (\bar{X}_1 - \bar{X})^2 n_1 + \Sigma (\bar{X}_2 - \bar{X})^2 n_2 + \Sigma (\bar{X}_3 - \bar{X})^2 n_3 = (6,25 - 5,2)^2 \cdot 5 + (4,5 - 5,2)^2 \cdot 8 + (5,28 - 5,2)^2 \cdot 6 = 8,48$$

$$D^2_0 = D^2 - D^2_F = 29,09 - 8,48 = 20,61$$

აქედან გამომდინარე,

$$D^2_F = 8,48$$

$$D^2_0 = 20,61$$

ერთფაქტორულ კომპლექსში ფაქტორული დისპერსია გამოითვლება ფორმულით

$$\sigma_F^2 = \Sigma (X_{1j} - \bar{X})^2 n / f_F$$

სადაც  $f$  არის ხარისხობრივი თავისუფლების რიცხვი  $f = r - 1$

სადაც  $r$  არის განაწილების პარამეტრის რიცხვი.

ფაქტორული დისპერსიისათვის ხარისხობრივი თავისუფლების რიცხვის ტოლია  $f_0 = 19 - 1 = 18$ .

ფიშერის კრიტერიუმი ტოლია  $\sigma_F^2 / \sigma_0^2$

სადაც  $\sigma^2_f$  – ერთფაქტორულ კომპლექსში ფაქტორული დისპერსიაა,  $\sigma^2_0$ - ერთფაქტორულ კომპლექსში ნარჩენი დისპერსიაა.

$$\sigma^2_f = \sum (X_i - \bar{X})^2/n/f_F = (6,22-5,02)^2 \cdot 5 + (4,6 - 5,2)^2 \cdot 8 + (5,3 - 5,2)^2 \cdot 6/2 = 4,24$$

$$\sigma^2_0 = D^0/f_0 = 2,61/16 = 1,29, \quad F = 4,24/1,29$$

ყველა მიღებული შედეგი შეგვაქვს ცხრილში II. 4.

ცხრ. II. 4

ვარიაციების წყაროები	გადახრის კვადრატების ჯამი	ხარისხობრივი თავისუფლების რიცხვი	ერთ ხარისხზე თავისუფლების დისპერსია	F= $\sigma^2_f/\sigma^2_0$ ფიშერის კრიტერიუმი	F* ალბათობის დროს	
					0,95	0,99
ფაქტორული	8,48	2	4,24	3,29	0,73	1,18
ნარჩენი	20,61	16	1,29			
საერთო	29,09	18				

სტატისტიკური გავლენის ხარისხი განისაზღვრება ფორმულით

$$\eta^2_x = D^2_f/D^2_0$$

$$\eta_x = 8,48/20,61 = 0,41$$

$F > F^*$  სიდიდე იძლევა საფუძველს დავასკვნათ, რომ სრულიად უტყუარია სატამპონაჟო ხსნარის სახეობის გავლენა ჭაბურღილის დაცემენტების ეფექტურობაზე.

#### II. 4. გეოლოგიურ – ტექნიკური პირობები

ნინოწმინდის მოედანი მდებარეობს აღმოსავლეთ საქართველოში, ქ. თბილისიდან აღმოსავლეთი მიმართულებით 40 კმ-ის მანძილზე და ადმინისტრაციულად ეკუთვნის საგარეჯოს რაიონს. ტექტონიურად იგი აჭარა – თრიალეთის ნაოჭა ზონის

აღმოსავლეთ დაძირვის ქვეზონას ეკუთვნის, ხოლო ნავთობგეოლოგიური თვალსაზრისით – თბილისის მიმდებარე ნავთობგაზიან რაიონს.

### რაიონის ლითოგიურ სტრატეგიული დახასიათება

ნინოწმინდის ფართობზე დადგენილია ორი ტექტონიკური სართული: - ზედა სართული გადაადგილებულია ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ დიდ მანძილზე და აგებულია ნეოგენური ჭრილის აღწერა. მეოთხეული ნალექებიდან შუა ეოცენის ჩათვლით.

ნინოწმინდის მეოთხეული ნალექები წარმოდგენილია ალუვიური, დელოვიური წარმონაქმნებით, ისინი ქმნიან მდინარის ტერასებს და დეპრესიულ უბნებს. მეოთხეული ნალექების სიმძლავრეა 10 – 50 მ. ზედა პლიოცენი (აღჩაგის სართული)  $N_2^3ak$  მკვეთრად, ტრანსგრესიულად, მნიშვნელოვანი კუთხური უთანხმოებით ფარავს ზედა, შუა და ქვედა მიოცენის სხვადასხვა ჰორიზონტებს. აღჩაგის სართული წარმოდგენილია თიხებისა და ქვიშაქვების შუა შრეებიანი კონგლომერატებით. განხილული ფართობისწყებათა ყველაზე ქვედა ფენები, რომელთა სიმძლავრე ზოგ ჭაბურღილში არა უმეტეს 15 მ-ია. ანტიკლინის თალიდან ჩრდილოეთისა და სამხრეთისაკენ ნალექების სიმძლავრე მატულობს და უფრო და უფრო მეტი ახალგაზრდა ფენები იხსნება ბურღვით. ბევრ ჭაბურღილში წყების ქვედა ნაწილში განლაგებულ ქანებს ახასიათებს შედარებით მაღალი ელექტრული წინაღობა 3 – 15 ომამდე, რაც მოწმობს ჭრილის ამ ნაწილში მეტად ქვიშიანი და კირქვიანი ქანების არსებობას.

ნინოწმინდის ფართობზე საძიებო ჭაბურღილის ბურღვის პროცესში ამალღებული კერნის გამოკვლევის საფუძველზე, დადგინდა, რომ მაიკოპის სერიის, დანალექი ქანები შედგენილია მუქი ნაცრისფერი, მკვრივი, შიგადაშიგ ფურცლოვანი, არაკარბონატული ან კირქვიანი თიხებით და სხვადასხვანაირი ქვიშაქვებით, რომლებიც შეფერილია ღია – ნაცრისფერი და ნაცრისფერი ფენებით.

ზედა ეოცენი –  $P_2^3$  ამ ქვეგანყოფილების აჭარა – თრიალეთის ნაოჭა სისტემის დანალექი ქანები იქნეს ფლემურ ხასიათს, რომელიც გამოხატულია ქვიშაქვებისა და

ალევრიტების რიტმული შრეებრივობით, რომელიც გამოხატულებას ჰპოვებს კაროტაჟულ დიაგრამაზე მთელი რიგი პიკებით მოჩვენებითი წინალობით – 5 – 100 ომამდე ფარგლებში ამ ნალექების სიმძლავრე 450 მ-მდეა.

მეოტის – პონტი –  $N_2^{Lm+pn}$  მერიტის – პონტის ნალექები წინააღმდეგობის ტრანსგრესიის შედეგად შეზღუდულადაა განვითარებული და გვხვდება მხოლოდ არასრული სიმძლავრის სინკლინურ ჩალუნვებში. ისინი წარმოდგენილია კონტინენტურ ჩალუნვებში. ისინი წარმოდგენილია კონტინენტური წარმონაქმნებით – თიხებით, ქვიშაქვებითა და კონგლომერატებით. სიმძლავრე აღწევს 1000 მ-ს.

ზედა მიოცენი – სარმატი  $N_1^3S$  საერთოდ იწყება ქვიშაქვების თხელი ფენებით. ქვედა სარმატის დანალექი ქანების სიმძლავრეა 120 მ.

შუა და ზედა სარმატი ანტიკლინის ჩრდილოეთ ფრთაზე ძირითადად წარმოდგენილია თიხოვან – მერგელოვანი ქანებით, რომელთა საერთო სიმძლავრეა 200 მ.

შუა მიოცენი –  $N_1^2$  (200 – 300მ) იწყება კარბონატული თიხებით (10 – 20მ) (თარხნული ჰორიზონტი) და გამოხატულია კარბონატული თიხების და მერგელების მონაცვლეობით (150 – 300 მ). ყარგანული სართული წარმოდგენილია თიხოვან – მერგელოვანი ქანებით, რომელთა საერთო სიმძლავრე 200 მ.

ოლიგოცენი – ქვედა მიოცენი. მაიკოპის  $P_3N_1^1$  სერია მაიკოპის სერიის დანალექი ქანები შედგება ქვიშათიხოვანი წარმონაქმნებისაგან, რომლებიც დანაწევრებულია მსხვილი რეგიონალური გარღვევებით სხვადასხვა სტრატეგიულ დონეებზე. სტრუქტურის თაღოვან ნაწილში შენარჩუნებულია ზედა ეოცენის დანალექი ქანები.

ზედა ეოცენის დანალექი ქანები ლითოლოგიურად იყოფა ორ წყებად: ნავთლულისა და თბილისის წყებებად. ნავთლულის წყება, რომლის სიმძლავრე 200 მ-ია უშუალოდ შუა ეოცენის ვულკანოგენურ ქანებს ზევითაა. ის წარმოდგენილია მუქი ნაცრისფერი, თითქმის შავი ფერით. იგი შედგება ბიტუმოვანი, მკვრივი თხელფენოვანი არგილიტების მაგვარი თიხებისა და თვით არგილიტებისაგან, რომლების შუაშრეებს წარმოადგენს ალევროლითები და ქვიშაქვები. ქანების გამკვრივება შემჭიდროვება კაროტაჟულ დიაგრამებზე აისახება ელექტრული წინალობის მაჩვენებლის მოჩვენებითი

გაზრდით (1 ომამდე). თბილისის წყება წარმოდგენილია ქვიშა – თიხოვანი წარმონაქმნებით, რომლის სიმძლავრეა 500 მ-მდე.

ქვიშაქვები, რომლებიც მონაწილეობდნენ ორივე წყების წარმონაქმნში ნივთიერების შედგენილობის მიხედვით იყოფა ორ – გრაუვაკოვან და კვარც – მინდვრის შპატთან სახესხვაობად. ეს წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი, კირქოვანი და არაკარბონატული პარალელურ და ბუნდოვან შრეებრივი ნაცრისფერი და ღია ნაცრისფერი ქანები, ხშირი დანახშირებული მცენარეული ნარჩენებით, მდებარეობს დაშრეების გასწვრივ. ამ ქვიშაქვების გავრცელება ჭრილში არათანაბარია, ხშირ შემთხვევებში, ამ სახესხვაობიდან პირველ სახესხვაობები დაკავშირებულია ნავთლუდის წყებასთან, მაშინ როცა თბილისის წყება ხასიათდება ორივე სახესხვაობის ქვიშაქვებით.

თიხოვანი ქანები, რომლებიც ქმნიან გამოკვლეული ჭაბურღილის ზედა ეოცენის ჭრილს, გამოხატულია მნიშვნელოვნად ერთფეროვანი აგებულებითა და შედგენილობით. თიხები ნაცრისფერი და მუქი ნაცრისფერი შეფერილობისაა.

ზედა ეოცენის ჭრილის ზედა ნაწილში, ნინოწმინდის ფართობზე რიგი ჭაბურღილების კაროტაჟულ დიაგრამებზე გამოიყოფა ალევროლითების, ქვიშაქვების შრეობრიობა, სიმძლავრით 70 – 80 მ. მის ქვედა ნაწილში ჭაბურღილის ჭრილში დაახლოებით 2675 – 26918 მ სიღრმეების ინტერვალში განვითარებულია ქვიშაქვები სიმძლავრით 816 მ. ზედა ეოცენის ჭრილში, გამოყოფილ ქვიშაქვებში მიმდინარეობს ნავთობისა და გაზის ძიება.

შუა ეოცენი  $P_2^2$  ნინოწმინდის ფართობზე არასრული სიმძლავრითაა გახსნილი. № № 9, 30, 16, 21 ჭაბურღილებით. შუა ეოცენის მთელი ჭრილი გაიარა № № 4, 22, 49, 71, 70, 69, 63, 61, 60, 58 ჭაბურღილებმა, სიმძლავრით 450 – 475 მ. აქ გვხვდება ვულკანოგენურ დანალექური ქანების კომპლექსი ელექტრო – კაროტაჟულ დიაგრამაზე დახასიათებულია მაღალი მოჩვენებითი ელექტროწინალობით 5-დან – 300 ომამდე. შუა ეოცენზე ნავთობის სამრეწველო მოდენა მიღებულია საკმაო რაოდენობის ჭაბურღილიდან. მაგალითად, № 4 ჭაბურღილი, შუა ეოცენის ჭრილი გახსნილია 2350 – 2860 მ-ის ინტერვალით, სადაც ნავთობგაზგამოვლინებას ჰქონდა ადგილი.

შესწავლილი ტუფი და ტუფიტები მომწვანო ნაცრისფერი, ნაცრისფერი და მწვანე შეფერილობისაა. ისინი ცუდად დახარისხებულიც, სხვადასხვაგვარად გამკვრივებული, ნაკლებად კარბონატულები და იშვიათად ფენობრივები არიან.

ტუფებს შორის გამოიყოფა ანდეზიტური შემადგენლობის ლითოკრისტალოკლასტიკური, კრისტალო – ვიტროკლასტიკური და ვოტოკლასტიკური სახესხვაობებია.

### ტექტონიკა

ნინოწმინდის ფართობი გეოტექტონიკური სქემის მიხედვით განლაგებულია აჭარა – თრიალეთის ნაოჭა ზონის აღმოსავლეთ დაძირვაზე. როგორც სტრუქტურული რუკიდან და გეოლოგიური პროფილებიდან ჩანს, მოცემულ ფართობზე კარგადაა გამოხატული ქვედა და ზედა სართულების სტრუქტურულ გეგმებს შორის სრული შეუსაბამობა. პალეოგენის დანალექ ქანებში ნინოწმინდის სტრუქტურა წარმოადგენს შედარებით ციცაბო ბრაქიანტიკლის ნეოგენის დანალექ ქანებში კი – ზემო ალოქტონურ სტრუქტურას, რომელსაც ახასიათებს წვრილი ნაოჭები და რღვევები, რომელიც არ ვრცელდება სიღრმეში. დადგენილია, რომ ის გადაადგილებულია დიდ მანძილზე ჩრდილოეთიდან სამხრეთის მიმართულებით.

ნინოწმინდის ნაოჭის არსებობის ძირითად მაჩვენებლად გამოიყენებული იქნა ღრმა ბურღვის მონაცემები.

ნინოწმინდის ფართობზე ბურღვის მონაცემებით გამოვლენილია ეოცენისა და მეოცენის დანალექ ქანებში. ინტერვალებში ინტენსიურად არის გართულებული რღვევებით, ამ უკანასკნელთა დამრეცად გადაადგილების შედეგად. ამ ჩამოწევის შედეგად, სხვადასხვაგვარად არის შემცირებული მის ქვეშ მდებარე ნაწილში ოლიგოცენის სიმძლავრე.

ნინოწმინდის ფართობის ფარგლებში, რიგი ქაბურღილების ბურღვის მონაცემების შედეგად დადგენილია, რომ დამრეცად გადადგილების სიბრტყე თანდათანობით იწვევს ზევით – ჩრდილო – აღმოსავლეთისაკენ.

სავარაუდოა, რომ ფართობის სხვადასხვა ნაწილში ამ ჩამოწვევის სიბრტყის ქცევაზე დამოკიდებულებით ჩამონაწევის ქვეშ მდებარე ნაწილის სტრუქტურაში შეიძლება იყოს ოლიგოცენისა და ზემო ეოცენის სხვადასხვა ჰორიზონტები.

სტრუქტურული რუქებითა და გეოლოგიური პროფილებით თუ ვიშჯელებით, მიოცენის ალოქტონური კომლექსის ქვეშ დამარხული ნინოწმინდის ბრაქიანტიკლინი აგებულია პალეოგენური ქანებით. ჩრდილოეთ ფრთის ფარგლებში დაქანების კუთხე იცვლება  $40^{\circ} - 50^{\circ}$  –ის ფარგლებში, სამხრეთის კი  $60^{\circ} - 70^{\circ}$  –ის ფარგლებში.

ანტიკლინის სამხრეთის ფრთა გართულებულია მცირე ამპლიტუდის რღვევით. ანტიკლინური ნაოჭი გადაჭიმულია სუბგანედური მიმართულებით 6 კმ-ის სიგრძეზე. დასავლეთიდან და აღმოსავლეთიდან იგი შემოსაზღვრულია სუბ. მერიდიანული რღვევებით შესაბამისად სამგორ –პატარძელულის და მანავის სტრუქტურებით.

ზედაპირიდან შუა ეოცენის ძირითადი ნავთობშემცველი ჰორიზონტის განლაგების სიღრმე სახურავამდე 2500 – 3000 მ-ია.

ანტიკლინების შეფარდებითი სიმაღლე მოსაზღვრე სინკლინების მიმართ 1,5 – 2 კმ-ია.

#### ნავთობგაზშემცველობა

სამგორ – პატარძელულისა და ნინოწმინდის ფართობის საზღვრებში მოთავსებულია ნავთობის საბადოები, რომლებიც დაკავშირებულია შუა ეოცენის ვულკანოგენურ დანალექ წარმონაქმნებთან.

ზედა ეოცენის დანალექი ქანების მძლავრი კომპლექსი თავის ზედა ნაწილში შეიცავს ნავთობისა და გაზის დაგროვებებს, რაც დადგინდა სამგორ – პატარძელულისა და ნინოწმინდის ფართობებზე რიგი ქაბურღილების ბურღვის მონაცემებით.

ზედა ეოცენური ქანებიდან ნავთობისა და გაზის ბუნებრივი გამოსვლები ცნობილია ნავთლულის რაიონში, ნინოწმინდის და სამგორ – პატარძელის ფართობების დასავლეთით. ეს გამოვლინებები დაკავშირებულია ზედა ეოცენისა და შუა ეოცენის მიჯნაზე არსებულ ქანებთან (ნავთლულის წყება), რომლებიც შიშვლდება რკინიგზის სადგურ «ნავთლულიდან» სამხრეთით, სართიჭალის ხეობის გასწვრივ.

ეფექტური ნავთობგაზგამოვლინება თიხის ხსნარისა და ამ ხსნარში ნავთობის აპლების სახით სამგორ – პატარძელისა და ნინოწმინდის ფართობებზე ზედა ეოცენის დანალექი ქანების ბურღვის პროცესში აღინიშნებოდა საექსპლოატაციო ჭაბურღილებში, რომლებიც გაბურღულია შუა ეოცენის დანალექ ქანებში.

უშუალოდ ნინოწმინდის ფართობზე გაბურღული № 36 ჭაბურღილიდან მიღებული იქნა ნავთობის სამრეწველო მოდენა დებეტით 50 ტ/დღე-ღამეში 5 მმ-იან შტუცერით. აგრეთვე გაზგამოვლინებას ჰქონდა ადგილი № 68 ჭაბურღილში, საკმაოდ ეფექტური სახით. ამ ჭაბურღილის საწყისი დებეტია 100 ტ/დღ. ღამ.

ამგვარად, სამგორ – პატარძელისა და ნინოწმინდის ფართობზე <sup>1</sup> 68 და <sup>1</sup> 58 ჭაბურღილებიდან მიღებული ნავთობის მოდინება, აგრეთვე სხვა ჭაბურღილებში ნავთობგაზგამოვლინება, მიუხედავად სამგორ – პატარძელის ფართობის ზედა და ქვედა ეოცენის ზოგიერთი ჰორიზონტების გამოცდისას მიღებული უარყოფითი შედეგებისა, მოწმობენ ამ დანალექი ქანების ჭრილში ნავთობგაზშემცველი ჰორიზონტების არსებობას.

### ბურღვის გეოლოგიური პირობები

მეოტის – პონტი  $V_2^{im+pn}$ , წარმოდგენილია კონტინენტალური წარმონაქმნებით – თიხებით, ქვიშებით და კონგლომერატებით. სიმძლავრე აღწევს 1000 მ-ს. ადგილი აქვს ჩამოქცევებს, ჩამონგრევებს, წყალგამოვლინებას.

შუა და ზედა სარმატი –  $V_1^3S_2$   $N_1^3S_3$  წარმოდგენილია თიხოვანი ფაციესით ქვიშაქვების იშვიათი შუა – შრეებით 2000 მ სისქით. ადგილი აქვს ჩამოქცევებს, სუსტ წყალგამოვლინებას, ლულის შევიწროებას.



ზედა ეოცენი – P<sub>2</sub><sup>3</sup> წარმოდგენილია ქვიშაქვებისა, მომწვანო – მონაცრისფრო ტუფებითა და ტუფიტებით. ადგილი აქვს შტანთქნების დონის 200 მ-მდე დაცემით, ნავთობგაზგამოვლინებას.

ქვედა ეოცენი – P<sub>2</sub><sup>2</sup> წარმოდგენილია ქვიშაქვებით, ადგილი აქვს ჩამოქცევებს, წყალგამოვლინებებს.

#### № 98 ჭაბურღილის კონსტრუქცია

- 1) კონდუქტორი (339,7 მმ) – 0 – 318 მ; დაცემენტებულია პირამდე
- 2) საექსპლუატაციო – ტექნიკური კოლონა (177,8 მმ) – 0 – 2632,5 მ. დაცემენტებულია პირამდე
- 3) საექსპლუატაციო კოლონა «კუდი» (127 მმ) – 2477 – 2931 მ. ფილტრი – 2834 – 2931 მ. დაცემენტებულია 2477 – 2820,5 მ ინტერვალში
- 4) ღია ლულა – 2931 – 3012 მ. – ჭაბურღილი დამთავრდა ბურღვით და ათვისების შემდეგ შევიდა ექსპლუატაციაში.

#### № 100 ჭაბურღილის კონსტრუქცია

- კონდუქტორი (d = 508 მმ) – ჩაშვებულია 604 მ სიღრმეზე და დაცემენტებულია ჭაბურღილის პირამდე;
- I ტექნიკური კოლონა (d = 339, 7 მმ – ჩაშვებულია 3205 მ სიღრმეზე და დაცემენტებულია ჭაბურღილის პირამდე
- საექსპლუატაციო ტექნიკური კოლონა (d = 178 მმ) ჩაშვებულია 4263 მ სიღრმეზე (ორ სექციად, 3047 – 4236 მ და 0 – 3047 მ) დაცემენტებულია მთელ სიღრმეზე;
- საექსპლუატაციო კოლონა «კუდი» (d = 127 მმ) – ჩაშვებულია 4100 – 4905 მ ინტერვალში და დაცემენტებულია მთელ სიღრმეზე;
- ღია ლულა – 4905 – 4927 მ.

ნინოწმინდის ფართობზე ბოლო პერიოდში გაბურღულია № 97 (ვერტიკალური და ჰორიზონტალური), № 98, № 100 ჭაბურღილები. მათი ფაქტიური კონსტრუქცია შემდეგია.

№ 97 ჭაბურღილის კონსტრუქცია (ვერტიკალური)

- კონდუქტორი ( $d = 339, 7$  მმ) – ჩაშვებულია 516 მ სიღმეზე და დაცემენტებულია ჭაბურღილის პირამდე;
- საექსპლუატაციო – ტექნიკური კოლონა ( $d = 245$  მმ) – ჩაშვებულია 1900 მმ სიღმეზე და დაცემენტებულია ჭაბურღილის პირამდე;
- საექსპლუატაციო კოლონა «კუდი» ( $d = 178$  მმ) – ჩაშვებულია 1736 – 2596 მ ინტერვალში და დაცემენტებულია 2220 – 2596 მ დიაპაზონში;
- საექსპლუატაციო კოლონა – კუდი (II)  $d = 127$ მმ – ჩაშვებულია 2495 – 2644 მ ინტერვალში და არ დაცემენტებულა;
- ღია ლულა – 2645 -2720 მ.

№ 97 ჭაბურღილის კონსტრუქცია (ჰორიზონტალური)

- კონდუქტორი ( $d = 339,7$  მმ) ჩაშვებულია 516 მ სიღრმეზე და დაცემენტებულია პირამდე;
- საექსპლუატაციო – ტექნიკური კოლონა ( $d = 245$  მმ) ჩაშვებულია 1900 მ სიღრმეზე და დაცემენტებულია პირამდე;
- საექსპლუატაციო კოლონა «კუდი» (I)  $d = 178$  მმ ჩაშვებულია 2596 -1736 მ ინტერვალში და დაცემენტებულია 2596 – 2220 მ მონაკვეთში;
- საექსპლუატაციო კოლონა «კუდი» (II) ( $d = 127$  მმ) ჩაშვებულია 2644 – 2495 ინტერვალში, არ დაცემენტებულა;
- ღია ლულა – 2644 – 2720 მ.

### თავი III. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ეფექტური სატამპონაჟო ხსნარები შემუშავებისათვის

ჭაბურღილის რთულ გეოლოგიურ პირობებში გაყვანისას შეიმჩნევა ისეთი გართულებები, როგორცაა: კავერნების წარმოქმნა, სატამპონაჟო ხსნარის პირამდე ვერ ატანა, ჭაბურღილის სამაგრი კოლონასა და ქანებთან ცემენტის ქვის შეჭიდულობის არაჰერმეტიულობა, სამაგრი კოლონის თელვა და სხვ. ამ პირობებში გამაგრების ტექნოლოგიის არასაკმარისი ეფექტურობა განაპირობებს სპეციალური ცემენტების გამოყენებას. უპირველესად ეს ეხება შემსუბუქებულ სატამპონაჟო ცემენტებს, რომლებიც საქართველოში არ იწარმოება. შემამსუბუქებელი დანამატების გამოყენება ითხოვს მომატებულ წყალშემცველობას, რომელსაც მივყავართ წარმოქმნილი ცემენტის ქვის ფიზიკო – მექანიკური თვისებების გაუარესებისკენ. დანამატების უმრავლესობა ცემენტის ქვის სტრუქტურის ფორმირების მიმართ ინერტულია. ამასთან დაკავშირებით ნათელია რთულ გეოლოგიურ პირობებში ჭაბურღილის ხარისხიანი დაცემენტებისათვის სპეციალური სატამპონაჟო კომპოზიციის დამუშავების აუცილებლობა.

შემსუბუქებული ცემენტების მისაღებად მამოდიფიცირებელ კომპონენტებად იყენებენ სპეციალურ დანამატებს, განსაკუთრებით ხშირად კი სამრეწველო ნარჩენებს. ამ უკანასკნელთ გააჩნიათ რიგი უპირატესობანი, მაგრამ მათი დამუშავების ტექნოლოგია შრომატევადია და ზრდის მატერიალურ და ენერგეტიკულ დანახარჯებს. ამიტომ აქტუალურია დანამატებად ისეთი კომპონენტების შერჩევა, რომელთა გამოსაყენებლად არ არის საჭირო რთული ტექნოლოგიური პროცესების ჩატარება.

სატამპონაჟო ხსნარის თვისებები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული სატამპონაჟო ნარევის შემადგენლობაზე. ამიტომ სატამპონაჟო ნარევის კომპონენტების შერჩევის დროს ყურადღებით უნდა იქნას შესწავლილი მათი ფიზიკო – ქიმიური და მექანიკური თვისებები. ჩვენ შემთხვევაში სატამპონაჟო ხსნარისათვის შემსუბუქებული და გაფართოებადი თვისებების მისანიჭებლად (სხვა საექსპლოატაციო თვისებების შენარჩუნებით) შერჩეული იქნა ცემენტის ქარხნის მბრუნავი ლუმლის მტვერი, რომელიც

მიიღება კლინკერის წარმოების დროს და ტყიბულის ქვანახშირის ნაცრის ნარევი. ცემენტის წარმოების მტვრის რაოდენობა საქცემენტის საწარმოებში დაახლოებით ას ტონას აღწევს წელიწადში. ენერგეტიკის სამინისტროს მონაცემებით 2007 წლიდან კვლავ აქტუალური გახდება ტყიბულის რეგიონში ნახშირის სათბობზე მომუშავე ელექტროსადგურის მშენებლობის საკითხი. ამიტომ ამ საწარმოების ნარჩენების გამოყენება ხელს შეუწყობს მათ უტილიზაციას და მიმდებარე გარემოს ეკოლოგიურ სისუფთავეს.

ცნობილია, რომ პორტლანდცემენტის კლინკერი ძირითადად მიიღება მბრუნავ ღუმელში. ღუმელიდან გამავალ ნამწვ აირებს თან მიაქვთ მტვრის დიდი რაოდენობა, მტვერს იჭერენ ჯერ მტვერდამჭერ საკანში, ხოლო შემდეგ ელექტროფილტრში. მტვერი ძირითადად შეიცავს საწყისი ნედლეულის ნარევს, ხოლო მცირე რაოდენობით – კლინკერის მინერალებს და ტუტემეტალთა ოქსიდებს ან სულფატებს. მტვრის ნაწილაკები, ისევე როგორც ქვანახშირის ნაცრის, წარმოადგენენ მიკროსფეროებს (მკს). მათ გააჩნიათ დაბალი კუთრი წონა და შედარებით მაღალი ზედაპირული სიმტკიცე.

ჩვენს მიერ შერჩეული დანამატის მეორე კომპონენტი ტყიბულის ქვანახშირის ნაცარია. მისი შერჩევა განაპირობა მისმა ფიზიკო – მექანიკურმა თვისებებმა. უპირველესად ყოვლისა ესაა მისი ნაწილაკების სფერული ფორმა, რაც ამცირებს ჩაჯდომის დეფორმაციას. შემავსებელი ძალიან მსუბუქია, მისი წონა შეადგენს ამჟამად არსებული მინერალური შემავსებლების წონის 25%-ს, მდგრადია მჟავების და ტუტეების მიმართ, განაპირობებს მაღალ მდგრადობას ეროზიის მიმართ და სითხეების და გაზების შეუღწევადობას. ნ. ჯიჯეიშვილის, მ. დგებუაძის და სხვ. მიერ შესწავლილია ტყიბულის ნახშირისა და დაყალიბებული კოქსის წვის შედეგად წარმოქმნილი ნაცრების და ნახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურის ნაცრების ქიმიური შედგენილობა [101]. იხ. ცხრ. III. 1.

შედგენილობა %	ნაცარი		
	ტყიბულის ნახშირი	დაყალიბებული კოქსის	თეს-ის
SiO <sub>2</sub>	47,1	52,2	49,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,4	33,6	28,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,24	4,5	3,4
FeO	3,43	–	2,4
TiO <sub>2</sub>	1,1	–	1,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; MnO, CaO, MgO, N <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	ნაჩვენები (0,16 ± 0,7)		

ნაცრის ნაწილაკების (მიკროსფეროების) ფიზიკური მონაცემები შემდეგია: ნაწილაკების ზომები 5 – 150 მიკრონი, სიმკვრივე 0,6 – 0,8 გრ/სმ<sup>3</sup>, ნაყარი სიმკვრივე 0,35 – 0,45 გრ/სმ<sup>3</sup>, სისაღე მოოსით 5 – 6, დნობის ტემპერატურა 1300°C, ზედაპირული ტენიანობა 0,3%, pH წყალში 6 – 8, მაქსიმალური. მიკროსფეროები არიან მცირე ზომის ღრუიანი მტკიცე ნაწილაკები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ნაცრის შემადგენლობაში თეს-ში ნახშირის წვის შედეგად. ნახშირის წვის შემდეგ დარჩენილი ნაცარი გადაიტანება წყლით სავსე სპეციალურ სათავსოში, სადაც ხდება მისი დანაწილება მსუბუქ და მძიმე ფრაქციებად. მსუბუქი ფრაქციები (0,4 – 0,7 გრ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივით) ამოტივტივდებიან წყლის ზედაპირზე. ეს არის უნიკალური მასალა, მიკროსფეროები, რომელთა გამოყენება შეიძლება მრეწველობის სხვადასხვა დარგში. მათი გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარებში დანამატის სახით საშუალებას იძლევა გავაუმჯობესოთ მასალის ცვეთამდეგობა, კოროზიამდეგობა, საიზოლაციო თვისებები და სიმსუბუქე.

ცემენტის მტვრის ძირითადი კომპონენტები თითქმის იგივეა, რაც ნაცარში, განსხვავება ტუტე მეტალების ოქსიდების და სულფატების რაოდენობაშია. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს მტვერში თავისუფალი CaO არსებობა. სველ ნაცართან მტვრის შერევის დროს ხდება CaO-ს ჰიდრატაცია და მიიღება ცემენტის მტვრის და ტყიბულის ნახშირის ნაცრის გამომშრალი ნარევი. კლინკერის გამოსაწვავი ღუმლიდან მიღებული მტვრის ქიმიური შედგენილობა შემდეგია: SiO<sub>2</sub> – 13,4%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13,8%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –

2,65%, CaO – 45,5%, CO<sub>2</sub> – 17,05%; თავისუფალი CaO – 5%, MgO – 2,6%. ნაწილაკების ზომები შეადგენს 5 – 60 მკმ-ს.

ცემენტის მტვრის და ნახშირის ნაცრის ნარევეს ერთმანეთში ვურევდით შემდეგი პროპორციით 50/50, 40/40, 60/40 ვინაიდან მიღებული ნარევი წვრილდისპერსიულია და შედგება მიკროსფეროებისაგან, რომლებიც ძირითადად განაპირობებს თვისებებს, შემდგომში ამ ნარევეს მოვიხსენიებთ, როგორც მიკროსფეროებს (მკს).

მიკროსფეროებთან ერთად სატამპონაჟო ნარევეებს, მათთვის ზოგიერთი სპეციფიური თვისებების მინიჭებისათვის (შეკვრის დაწყების დროის გახანგრძლივება) ვუმატებდით ყურძნის ნარჩენებისაგან დამზადებული, ტანინის შემცველ ექსტრაქტს.

ჩვენს მიერ შერჩეული დანამატების ოპტიმალური რაოდენობის დადგენით შესაძლებელია მივიღოთ შემსუბუქებული სატამპონაჟო ნარევეები ადვილად რეგულირებადი თვისებებით. აღნიშნული ექსტრაქტი დადებით გავლენას ახდენს ხსნარის სედიმენტაციურ მდგრადობაზე.

### III. 1. შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარების შემუშავება

სატამპონაჟო ხსნარის ოპტიმალური შედგენილობის შემუსავების დროს გაანალიზებული იქნა ის ფაქტორები, რომლებიც განაპირობებენ სატამპონაჟო ხსნარების სიმკვრივის შემცირებას. ამათგან ჩვენს მიერ გამოყოფილი იქნენ:

- ფენების ჰიდროგახლეჩვის თავიდან აცილების აუცილებლობა, ცემენტის ხსნარის შთანთქმა მისი საპროექტო სიმაღლეზე მიწოდების დროს;
- საბურღი ხსნარის სრულად გამოდენის მაქსიმალური უზრუნველყოფა;
- პროდუქტიულ ფენაში ფილტრატის შეღწევის თავიდან აცილება;
- ცემენტის ქვის და დამაგრ კოლონას შორის ღრეჩოს წარმოშობის თავიდან აცილება ჭაბურღილის ათვისების დროს;
- დაცემენტების დროს ცემენტის ხსნარის სვეტის მთლიანობის რღვევის თავიდან აცილება.

ყოველ ზემოთაღნიშნულ შემთხვევაში აუცილებელია სატამპონაჟო ხსნარის სიმკვრივის შემცირება. გეოლოგიურ პირობებთან და ტექნოლოგიურ თავისებურებებთან დაკავშირებით სატამპონაჟო ხსნარების სიმკვრივის მნიშვნელობები იცვლება 1200 – 1650 კგ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებში.

ზოგადად, მისაღები სატამპონაჟო ხსნარის სიმკვრივე დამოკიდებულია ნარევის კომპონენტების სიმკვრივეზე და მათ ფარდობაზე, წყლის და ნარევის ფარდობაზე (წ/ნ), ასადუღაბეხელი სითხის სიმკვრივეზე. ამ საკითხისადმი მიძღვნილი ფორმულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წყლის და ნარევის ფარდობის გაზრდით ხსნარის სიმკვრივე მცირდება, მაგრამ ის დამოკიდებულია ინგრედიენტების სიმკვრივეზე. წყლის და ნარევის ფარდობა მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო მაღალია მყარი კომპონენტების სიმკვრივე. იმ შემთხვევაში, როცა დანამატების სიმკვრივე ნაკლებია ადუღაბეხის სითხის სიმკვრივეზე, მაშინ წ/ნ ზრდა იწვევს ხსნარის სიმკვრივის ზრდას. ამასთან დაკავშირებით მიგვაჩნია, რომ შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალებისათვის ხსნარის სიმკვრივის რეგულირება რაციონალურია არა მარტო წ/ნ ფარდობის გაზრდით (გამოყენებული დანამატების ზღვრებში) არამედ ნაკლები სიმკვრივის დანამატებზე გადასვლით.

ეს მნიშვნელოვანია კიდევ იმიტომ, რომ რაც მეტია წყალცემენტის ფარდობა და მყარი ნაწილაკების სიმკვრივე და ზომები, მით მეტი სითხე გადაიტუმბება ცემენტის სუსპენზიის ქვედა ფენებიდან ზედა ფენებში და თან წარმოქმნის არხებს. შემსუბუქებულ სატამპონაჟო ხსნარებში სედიმენტაცია უფრო რთული პროცესია, ვიდრე ჩვეულებრივ სატამპონაჟო ხსნარებში. ეს დაკავშირებულია ხსნარის მრავალკომპონენტურობასთან და წყალ/ნარევის ფარდობის მაღალ მნიშვნელობასთან. შემსუბუქებულ სატამპონაჟო სუსპენზიებში ხანდახან წყალგაცემასთან ერთად ერთდროულად ხდება ცემენტის ნაწილაკების დალექვა და შემამსუბუქებელი დანამატების ამოტივტივება.

სხვადასხვა ავტორების ნაშრომთა ანალიზის და ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური მდგრადობა შეიძლება ვარეგულიროთ შემდეგი მეთოდებით:

- წყლის და ნარევის ფარდობის და მყარი ფაზის ნაწილაკების დისპერსულობის შემცირების ხარჯზე;
- შერევის ინტენსივობის და ხანგრძლივობის ხარჯზე;
- შემამსუბუქებელი დანამატების ამოტივტივების თავიდან ასაცილებლად, მათი ზედაპირების მოდიფიცირების ხარჯზე, ხოლო მიკროსფეროების გამოყენების შემთხვევაში სფეროს მყარი გარსის სიმკვრივის და სიმტკიცის რეგულირების ხარჯზე;
- ხსნარის სტრუქტურის წარმოქმნის დროის შემცირების (მინიმუმამდე დაყვანის) ხარჯზე;
- სტრუქტურის კარკასის მაფორმირებელი, დასაარმატურებელი შემამსუბუქებელი დანამატების გამოყენების ხარჯზე

სატამპონაჟო ხსნარების დიდი წყალგაცემა პროდუქტიული შრის ერთ-ერთი დამაბინძურებელია. საწარმოო გამოცდილება, ლაბორატორიული გამოკვლევები გვიჩვენებენ, რომ სატამპონაჟო ხსნარების წყალგაცემა მინიმალური უნდა იყოს და უახლოვდებოდეს იმ საბურღი ხსნარების წყალგაცემას, რომლებზედაც იხსნებოდა პროდუქტიული ფენა და არ უნდა აღემატებოდეს 40 - 50 სმ<sup>3</sup>/30 წთ-ში.

ამჟამად გამოყენებული სატამპონაჟო მასალების დიდ უმრავლესობას ახასიათებს ჩაჯდომა. ისინი ჩაჯდომით მყარდებიან შეუღწევადი ქანების და მილთაშორისი სივრცის ინტერვალში. მოცემულ მომენტში მხოლოდ რამდენიმე შემსუბუქებული ცემენტია ცნობილი, რომლებიც ჩაჯდომის გარეშე მყარდებიან.

ბუნებრივია, რომ მილგარეშე სივრცის საიმედო ჰერმეტიული კომპლექსის შექმნა შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალებით შესაძლებელია, თუ მათ გამაფართოებელ თვისებებს მივანიჭებთ დანარჩენი ტექნოლოგიური თვისებების შენარჩუნების შემთხვევაში.

გამაფართოებელი ცემენტების გამოყენების შემთხვევაში მილგარეშე სივრცის ჰერმეტიულობის აუცილებელი პირობა გამოიხატება განტოლებით:

$$K \cdot X_0 \leq \frac{\Delta V}{(P_x)} \leq K \cdot (P_{\infty} - P_1)$$



V

სადაც  $\Delta V/V(P_x)$  – გაფართოების სიდიდეა %,  $P_x$  წნევის დროს;  $K$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჭაბურღილის და მილის დიამეტრს; ცემენტის ქვის და ცემენტის რგოლის გარემომცველი მასალების ზედაპირების დრეკადობის მოდულს;  $X_0$  – ზღვრული წნევაა, რომლის ქვემოთ კონტაქტები ჰერმეტიულობას კარგავენ;  $P_0$  – სამაგრი მილის თელვის წნევაა;  $P_1$  – სამაგრ კოლონაში სითხის სვეტის წნევაა;  $P_x$  – ჰიდრავლიკური წნევაა, რომლის დროსაც მიმდინარეობს გაფართოება.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ რაც უფრო მცირეა ცემენტის ქვის დრეკადობის მოდული  $E_0$ , მით მეტია კოეფიციენტი  $K$ . ეს ადასტურებს იმას, რომ რაც უფრო მტკიცეა ცემენტის ქვა, მით ნაკლები გაფართოების აუცილებელი სიდიდეა საჭირო ჰერმეტიულობის უზრუნველსაყოფად. ამავე დროს, რაც უფრო მცირეა დრეკადობის მოდული, მით უფრო «ელასტიურია» ცემენტის ქვა და მით უფრო დიდი უნდა იყოს მისი გაფართოების სიდიდე.

ნ. ხ. კარიმოვის და სხვათა [47, 48, 49, 56, 57] ადრე ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა 1820 – 2000 კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივის ცემენტის ხსნარის ჰიდრავლიკური წნევის გავლენა შემსუბუქებული ცემენტების გაფართოების სიდიდეზე. დადგენილია, რომ ეს სიდიდე ძალიან მგრძობიარე ჰიდრავლიკური წნევის მიმართ დამძიმებულ ცემენტებთან და ნორმალური სიმკვრივის ცემენტებთან შედარებით და მცირდება 30 – 60%-ით და უფრო მეტად. რაც უფრო ნაკლებია ცემენტის ხსნარის სიმკვრივე, მით მეტ გავლენას ახდენს წნევა გაფართოების სიდიდეზე.

დადგენილი კანონზომიერებანი გვიჩვენებენ, რომ შემსუბუქებულ სატამპონაჟო მასალებს უნდა გააჩნდეს დრეკადელასტიური თვისებები საკმარის მექანიკურ სიმტკიცესთან ერთად, ხოლო მექანიკური თვისებების გაუარესების შემთხვევაში ცემენტის გაფართოება უნდა შეიცვალოს უკუდამოკიდებულებით, ე. ი. ქვის სიმტკიცის შემცირებით მისი გაფართოება უნდა გაიზარდოს [29].

ცემენტის ქვის გაფართოების სიდიდის ნორმირების დროს აუცილებელია აგრეთვე გავითვალისწინოთ სატამპონაჟო მასალების ჰიდრატაციის დროს კოლონაში წნევის ცვლილება ჭაბურღილში ტემპერატურის მერყეობისას. ჩავთვალოთ, რომ სტრუქტურის წარმოქმნის პერიოდში და გამყარების საწყის პერიოდში ცემენტის ქვა ფართოვდება  $\Delta l$

სიდიდით და შემზღუდველ ზედაპირებთან ქმნის წნევას  $N$ . შემდგომში წნევა კოლონაში მცირდება ტემპერატურის ცვლილების გამო ( $N_t$  სიდიდით) და ჩამწნეხი სითხის წყლით შეცვლის დროს ( $N_p$  სიდიდით). ამას მივყავართ საკონტაქტო წნევის  $N_p + N_t$  სიდიდით შეცვლისკენ. საკონტაქტო წნევის ასეთი დაცემის კომპენსირება რომ მოახდინოს, ცემენტი უნდა გაფართოვდეს  $\Delta L_p$  და  $\Delta L_t$  სიდიდით. გარდა ამისა ჭაბურღილის მუშაობის დროს ხდება წნევის რელაქსაცია კონტაქტზე. რელაქსაციის კომპენსირებისათვის საჭიროა კიდევ გაფართოება  $\Delta L_y$  სიდიდით. აქედან ცემენტის ქვის გაფართოების საერთო საჭირო სიდიდე იქნება:

$$\Delta L = \Delta L_p + \Delta L_t + \Delta L_y$$

შედეგად, სამაგრ კლონაზე ცემენტის ქვის მოთხოვნილი წნევის შესანარჩუნებლად აუცილებელია უზრუნველყოთ მისი შესაბამისი გაფართოება. საერთო შემთხვევაში გადიდების ოპტიმალური სიდიდის და კონტაქტზე საკმარისი წნევის მქონე შემსუბუქებული გამაფართოებელი დანამატების შერჩევაზე, რომელთა გაფართოების სიჩქარე დაკავშირებულია საბაზო შემკვრელის სტრუქტურის წარმოქმნის და გამყარების სიჩქარესთან. ამასთან ერთად აუცილებელია დაცემენტების დროის გათვალისწინება.

ცემენტის ხსნარის მრავალი თვისება განისაზღვრება მისი ქიმიური ბუნებით და მიკროსტრუქტურით. მიკროსტრუქტურა დამოკიდებულია როგორც მყარი, ისე არამყარი ფაზის ბუნებაზე, ე. ი. ფორიან სტრუქტურაზე.

არსებობს ცემენტის ქვის სიმტკიცესა და ფორიანობას შორის ანალიტიკური დამოკიდებულება. იგი გამოიხატება ნახევრადემპირიული ფორმულით:

$$\sigma = \sigma_0 (1 - \varepsilon)^n,$$

სადაც,  $\sigma$  - სიმტკიცის ზღვარია;  $\sigma_0$  თეორიული სიმტკიცეა;  $\varepsilon$  - ფორიანობის კოეფიციენტი;  $n$  - ემპირიული კოეფიციენტი.

1450 კგ/მ<sup>3</sup> და უფრო ნაკლებ სიმკვრივემდე სატამპონაჟო მასალების შემსუბუქება ძირითადად მიიღწევა წყალ-ცემენტის ფარდობის გაზრდით 0,7 – 1,5-მდე. ამასთან ქვის

სიმტკიცე და შეღწევადობა გამყარების ადრეულ სტადიაზე მნიშვნელოვნად უარესდება. სიმტკიცე რამდენჯერმე მცირდება, ფორიანობა და შეღწევადობა კი 2 – 3 - ჯერ იზრდება. ამავე საზღვრებში მცირდება გაფართოების სიდიდე. დაბალი სიმტკიცე და მაღალი შეღწევადობა იწვევს ცემენტის ქვის კოროზიამდეგობის შემცირებას. ამიტომ შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალებისაგან მიღებული ცემენტის ქვის კოროზიამდეგობის ასამაღლებლად აუცილებელია შევამციროთ ფორიანობა, შეღწევადობა და ფორების ზომები. დიდი ზომების კაპილარული სივრცე და ფორები შეიძლება ამოვავსოთ ცემენტში წვრილად დაფხვნილი დანამატების და ფორიან სივრცეში დისპერსული კრისტალების წარმოქმნილი დანამატების შეყვანით.

ცემენტის ქვის სიმტკიცის გაზრდა შესაძლებელია სატამპონაჟო ხსნარის მაგნიტური დამუშავების შემდეგ. ასეთი ზემოქმედება საშუალებას იძლევა ავამაღლოთ შემსუბუქებული ცემენტის ცალკეული ინგრედიენტების აქტივობა მიმდინარე რეაქციების რიგითობისაგან დამოკიდებულებით.

სამშენებლო პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ კომპონენტად კაჟმიწიანი დანამატების შეყვანა მნიშვნელოვნად ამაღლებს ცემენტის ქვის სიმტკიცეს. ამ მოვლენის თეორიული ასპექტი მდგომარეობს იმაში, რომ თავისუფალი კირის კაჟმიწით შეკვრა ამცირებს თხევადი ფაზის ტუტიანობას და ქმნის ხელსაყრელ პირობებს კალციუმის დაბალფუძიანი ჰიდროსილიკატების წარმოქმნისათვის. ამავე დროს კაჟმიწაშემცველი მასალები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან თავიანთი აქტივობით. ასე მაგალითად, კირის შესაკვრელად ყველაზე აქტიურ მასალად ითვლება კაჟმიწა, შემდეგ მოდიან დიატომიტი, თეს-ის ნაცარი და ქვიშა. კერძოდ, ნაცარს შეუძლია შეკვრას 300 – 350 მგ/ლ კირი, ხოლო ჩვეულებრივ ქვიშას 92 მგ/ლ.

სატამპონაჟო ხსნარის მაგნიტური დამუშავების დროს ჰიდრატაციის სიჩქარის მაჩვენებელი შეიძლება იყოს ცემენტის ხსნარის თხევად ფაზაში, მისი გამყარების პროცესში კირის ან საერთოდ ელექტროლიტის კონცენტრაციის შეცვლა. მაგნიტური დამუშავების ცემენტის და ნაცართან და დიატომიტთან და კაჟმიწასთან მისი ნარევის გამყარების პროცესზე გავლენის კვლევამ გვიჩვენა, რომ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის კონცენტრაცია თხევად

ფაზაში ჰიდრატაციის 3 – 4 სთ-ის შემდეგ სხვადასხვაა არა მარტო სხვადასხვა ნარევებისათვის, არამედ ერთი და იგივე შედგენილობის ნარევებისათვის, დამაგნიტების რეჟიმისაგან დამოკიდებულებით. დამაგნიტება იწვევს კირქვის შეკვრის სიჩქარის ზრდას ჰიდრატაციის საწყის სტადიებზე და მით მეტია, რაც უფრო ინტენსიურია დამაგნიტების რეჟიმი. ოპტიმალური შედეგი მიიღება, როცა მაგნიტური ველის დამაბულობა მუშა არეში ერთგვაროვანია და 0,18 ტესლას შეადგენს.

ჩატარებულმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ შემსუბუქებული სატამპონაჟო მასალების მისაღები გამოკვლეული შემსუბუქებული დანამატებიდან თავისი ფიზიკო – ქიმიური თვისებებით და მინერალოგიური შედგენილობით ყველაზე უფრო ხელსაყრელია მკს, რომელიც წარმოადგენს ნახშირის ნაცრის და კლინკერის გამოწვის მტვრის ნარევს. მკს წვრილდისპერსული ფხვნილია ( 10 – 15 მკმ), რომელიც შეიცავს მიკროსფეროებს.  $\text{SiO}_2$  და  $\text{Al}_2\text{O}_3$  შემცველობის გამო, მისგან მიღებულ ქვას გააჩნია თერმო და კოროზიული მდგრადობა. მკს-ში თავისუფალი  $\text{CaO}$  და  $\text{MgO}$  არსებობა ხელს უწყობს ქვის გაფართოებას. ტენიანი წვრილდისპერსული მკს  $15 + 25^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე შედის ქიმიურ რეაქციაში კალციუმის ჰიდროქსიდთან და წარმოქმნის კალციუმის ჰიდროსილიკატებს. მკს პორტლანდცემენტთან ერთად გამოყენების დროს, ეს უკანასკნელი კალციუმის ჰიდროქსიდის მომწოდებელი ხდება. თავის მხრივ კალციუმის ჰიდროქსიდი ურთიერთქმედებს მკს-ში მყოფ აქტიურ კაჟმიწასთან ან ალუმინოსილიკატთან გამყარების პროდუქტების წარმოქმნით. მკს, განსხვავებით სხვა შემამსუბუქებელი დანამატებისაგან, გაცილებით ნაკლები წყალი სჭირდება. გარდა ამისა იგი შეიცავს შემოლხობილ ცარიელ ბურთულებს, რომლებიც ხელს უწყობენ ცემენტის შემსუბუქებას წყლის და ნერევის დაბალი შეფარდების შემთხვევაში. მკს შედგება წვრილი თანაბარი შუშისმაგვარი ნაწილაკებისაგან. მას გააჩნია უნარი ცემენტის ქვაში შეავსოს სიცარიელები და კაპილარული ფორები და ამავე დროს გააუმჯობესოს ხსნარის რეოლოგიური თვისებები.

რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგები გვიჩვენებენ, რომ ცემენტის და მკს ნარევის ქვა შეიცავს თავისუფალ კაჟმიწას ( $\text{SiO}_2$ ) და შეუკვრელი მკს ნაწილს. ყოველივე ამას მიყვაროთ ქვის შეღწევადობის გადიდების და სიმტკიცის შემცირებისკენ. თავისუფალი

SiO<sub>2</sub> და მკს –ს ნარჩენი შეიძლება შევკრათ ცემენტის რაოდენობის გაზრდის ხარჯზე, მაგრამ ამ დროს იზრდება ხსნარის სიმკვრივე. ხსნარის სიმკვრივის შენარჩუნებით SiO<sub>2</sub>-ის და მკს-ს ნარჩენის შეკვრისთვის უფრო ეკონომიურია ნარევის შედგენილობაში კირქვის შეყვანა შემდეგ შეფარდებამდე CaO/SiO<sub>2</sub> 0,9.....1,6 მკს-ის კომპონენტის – ნაცრის მიღებისას.

იმისათვის, რომ ცემენტის გამყარების დროს წარმოქმნილი კაპილარული ფორები შევსებული იქნას აქტიური მკს ნაწილაკებით და Ca(OH)<sub>2</sub> კრისტალებით, მიღებული ნარევი წვრილად უნდა იქნას დაფხვნილი.

შემუშავებული შემსუბუქებული გამაფართოებელი სატამპონაჟო ნარევი მრავალკომპონენტურები არიან და ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან დაფქვის სიწმინდით, გრანულიმეტრული შედგენილობით, სარეაქციო აქტივობით და სიმკვრივით. წინასწარი კვლევებით დადგენილია, რომ შემამსუბუქებელი დანამატი (მკს), ცალკე უნდა იქნას დაფქვილი, ხოლო მისი შერევა ხდება შემკვრელის და სხვა დანამატებთან ერთდროული დამუშავების დროს. დანამატი – ყურძნის ნარჩენების ტანინიანი ექსტრაქტი, მიეცემა პირდაპირ ხსნარში არევის პერიოდში. სატამპონაჟო ხსნარი ჩატუმბვის წინ განიცდის მაგნიტურ დამუშავებას.

კირისა და მკს ნარევს შემდეგნაირად ვამზადებდით: ბუნებრივი ტენიანობის ნაცარს (30%) შეურევდით ჩაუმქრალ კირს (აქტივობა 65%) და კლინკერის გამოწვის მტვერს. ნარევის ტენიანობა დაგვყავდა 3%-მდე. მომზადებული კირისა და მკს-ის ნარევი, CaO/SiO<sub>2</sub>-ის ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობებით შეგვყავდა პორტლანდცემენტში. ამ მეთოდით მიღებული სატამპონაჟო ნარევის თვისებები მოცემულია ცხრ. III. 2-ში. უნდა აღინიშნოს, რომ ცხრ. III. 2 აღნიშნული სატამპონაჟო ნარევებში შეყვანილი არ არის ყურძნის ნარჩენების ტანინიანი ექსტრაქტი და არ არის მაგნიტური დამუშავება. ცხრ. III. 2 მოცემული შედეგებიდან ჩანს, რომ პორტლანდცემენტის და მკს დამატება 20 – 160°C ტემპერატურის ინტერვალში იწვევს ქვის სიმტკიცის გადიდებას. ამასთან 20 – 75°C ტემპერატურის ინტერვალში ოპტიმალური სიმტკიცე მიღებულია, როცა CaO/SiO<sub>2</sub> – 1,6.....0,9.

ცემენტის, მკს და კირის ნარევის თვისებები																		
ნარევის შედგენილობა %			C/S	წყ/ც	მკგ/მ <sup>3</sup> მკ	წყალგაცემა %	სიმტკიცე, მპა, °C T-ზე											
ცემენტი	მკს	კირი					ლუნვაზე						კუმშვაზე					
							22°	75°	100°	120°	140°	160°	22°	75°	100°	120°	140°	160°
70	21/I	9	1,6	0,55	1640	1,4	2,4	4,7	5,2	5,7	6,3	5,7	4,2	9,4	10,0	11,2	12,7	12,0
60	28/I	12	1,5	0,6	1600	1,2	2,3	4,5	5,2	6,1	6,5	6,0	3,7	9,1	10,3	12,5	13,1	12,3
50	35/I	15	1,4	0,65	1580	0,2	2,0	4,3	4,7	5,2	6,5	6,2	3,5	8,6	9,4	10,0	13,5	13,1
40	42/II	18	1,3	0,65	1500	0,8	1,9	4,2	4,6	5,7	6,8	7,0	3,2	8,4	9,2	11,4	13,8	14,1
30	49/II	21	1,26	0,70	1490	0,5	1,8	3,7	4,5	5,6	6,7	7,0	3,0	7,5	9,0	11,3	13,4	14,2
50	40/II	10	1,15	0,65	1520	1,2	1,8	5,2	5,7	6,3	7,2	8,0	3,6	10,0	11,4	12,6	15,1	16,3
40	48/III	12	1,0	0,65	1500	1,5	1,7	4,7	5,5	6,7	7,5	8,2	3,0	8,2	10,6	14,0	15,7	16,8
30	56/III	14	0,90	0,70	1480	1,3	1,5	4,2	5,3	6,9	7,7	8,2	3,0	8,2	10,6	14,0	15,7	16,8

შენიშვნა: I – მტვრის და ნაცრის ფარდობა 50/50, II – 60/40, III – 40/60.

CaO/SiO<sub>2</sub> სიდიდის შემდგომი შემცირება იწვევს ცემენტის ქვის სიმტკიცის რამდენადმე შემცირებას, თუმცა იგი რჩება სტანდარტის მოთხოვნამდე. გამყარების ტემპერატურის ზრდა 75-დან 160°C ტემპერატურამდე 15 – 25%-ით ზრდის ცემენტის ქვის სიმტკიცეს ინგრედიენტების ყველა ფარდობის შემთხვევაში. ამავე დროს თავიდან აცილებულია ქვის ჩაჯდომა. გამყარების პროდუქტების ფაზური შედგენილობა მთლიანად მიეკუთვნება თერმოდინამიკურად მდგრად ნაერთებს. ხსნარის სიმკვრივე მდებარეობს 1480 – 1640 კგ/მ<sup>3</sup>-ის ზღვრებში. ამასთან წყალგაცემა ტრადიციულ შემსუბუქებულ ხსნარებთან შედარებით სამჯერ მცირდება. ჩვენი აზრით, ყველაფერი ეს დაკავშირებულია

იმასთან, რომ ცნობილ შემსუბუქებულ ცემენტებთან შედარებით ცემენტ – მკს – კირის ნარევეს წყალმობმარება 1,5 – 1,8-ჯერ ნაკლებია. ეს დადებითად მოქმედებს მიღებული ცემენტის ქვის პარამეტრებზე.

კირის იმ ნაწილის ხარჯზე, რომელიც ჩაუმქრალი რჩება, მოცემული შედგენილობები გამყარებისას ფართოვდებიან 0,2 – 0,25%. ზოგიერთ შემთხვევაში გამაფართოებელ სატამპონაჟო ნარევეს მოეთხოვება უფრო მაღალი სპეციალური თვისებები. მოცემულ სატამპონაჟო მასალებს, თვისებების გასაუმჯობესებლად იგივე პირობებში ვუმატებდით ყურძნის ნარჩენების ტანინიან ექსტრაქტს (ნტე) 1-დან 5%-მდე, ხოლო მიღებულ სატამპონაჟო ხსნარისათვის საჭირო წყალს ვუტარებდით მაგნიტურ დამუშავებას.

### III. 2. შემავსებლების გავლენა ცემენტის სტრუქტურის ფორმირებაზე

შესწავლილ იქნა მკს გავლენა ცემენტის გამყარების სტრუქტურაზე ნორმალური ტენიანობის (ნტდ) და თერმოტენიანობის (თმტ) პირობებში. სტრუქტურის მოდიფიცირების დროს მიმდინარე პროცესების შესასწავლად ჩატარებული იქნა დიფერენციალურ-თერმული ანალიზი და კვლევები ელექტრონული მიკროსკოპით.

კვლევების ჩატარების დროს დასმული იყო ამოცანა შეგვეჩია მკს ოპტიმალური დოზირების დიაპაზონი შემსუბუქებული გაფართოებადი სატამპონაჟო ნარევებისათვის, დაგვედგინა მკს-ის გავლენის მექანიზმი, შეგვესწავლა გამყარების პირობების გავლენა მკს-ს დამატებით მიღებული ცემენტის ქვის სიმტკიცეზე.

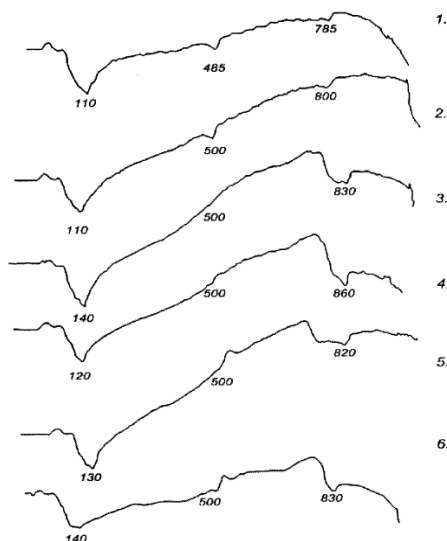
მკს დანამატებიანი ცემენტის ქვის მიკროსტრუქტურაზე გამყარების პირობების გავლენის შესასწავლად სხვადასხვა შედგენილობის სატამპონაჟო ხსნარებიდან ვამზადებდით 3x3x3 სმ ზომის ნიმუშებს. ნიმუშების გამყარება მიმდინარეობდა როგორც ნორმალურ-ტენიან პირობებში, ისე თერმოტენიანობით დამუშავების გამოყენებით.

სტრუქტურის მოდიფიცირების დროს მიმდინარე პროცესების გავლენის შესასწავლად კვლევები ტარდებოდა დიფერენციალურ-თერმული ანალიზის (დთა) გამოყენებით.

ცემენტის ქვის დთა – თერმოგრამების ხარისხობრივი ანალიზის შედეგები მოცემულია სურ. III. 1.

ცემენტის ქვის სინჯები, რომლებიც შეიცავენ მკს (3-6), ხასიათდებიან ადსორბციულ – შეკრული წყლის რაოდენობის გაზრდით, ვინაიდან ხდება ენდოთერმული პიკების გადანაცვლება  $11^{\circ}\text{C}$ -დან.

ცემენტის ქვის იმ სინჯებზე (1, 2), რომლებიც არ შეიცავენ მკს-ს, აშკარად მოჩანს ენდოთერმული პიკები, რომლებიც დამახასიათებელია  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის არსებობის დროს. მკს-ის შემცველ სინჯებში ეს ეფექტი არ აღინიშნება. ეს მიუთითებს მკს-ის ჰიდრავლიკურ აქტივობაზე, რომელიც გამოიხატება კალციუმის თავისუფალი დაბალფუძიანი ჰიდროსილიკატების შეკვრაში ( $700 - 800^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დიაპაზონში).



სურ. III. 1. დიფერენციალურ – თერმული ანალიზის თერმოგრამები

1 – საკონტროლო შედგენილობა (მკს-ის გარეშე) 28 დღე-ღამეში ნორმალური ტენიანობის (ნტდ) პირობებში გამყარებისას; 2 – საკონტროლო შედგენილობა (მკს-ის



გარეშე) 28 დღე-ღამეში თერმოტენიანობის პირობებში (თტდ) გამყარებისას; 3 – შედგენილობა მკს-ით ( $n/c=\text{const}$ ) 28 დღე-ღამეში ნტდ გამყარების დროს; 4 – შედგენილობა მკს-ით ( $n/c=\text{const}$ ) 28 დღე-ღამეში თტდ გამყარების დროს; 5 – შედგენილობა მკს-ით და მუდმივი პლასტიურობით 28 დღე-ღამეში ნტდ გამყარების დროს; 6 – შედგენილობა მკს-ით და მუდმივი პლასტიურობით 28 დღე-ღამეში თტდ გამყარების დროს.

3 და 4 შემადგენლობაში ეს ეფექტი არ აღინიშნება. შესაძლებელია ამის მიზეზი იყოს  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის ორგანული ნაერთების დაუმწვარი ნარჩენების ენდოთერმული და ეგზოთერმული პიკების ნაწილობრივი თანხვედრა, რაც გამოწვეულია მათი გამოვლინების ტემპერატურების მსგავსებით.

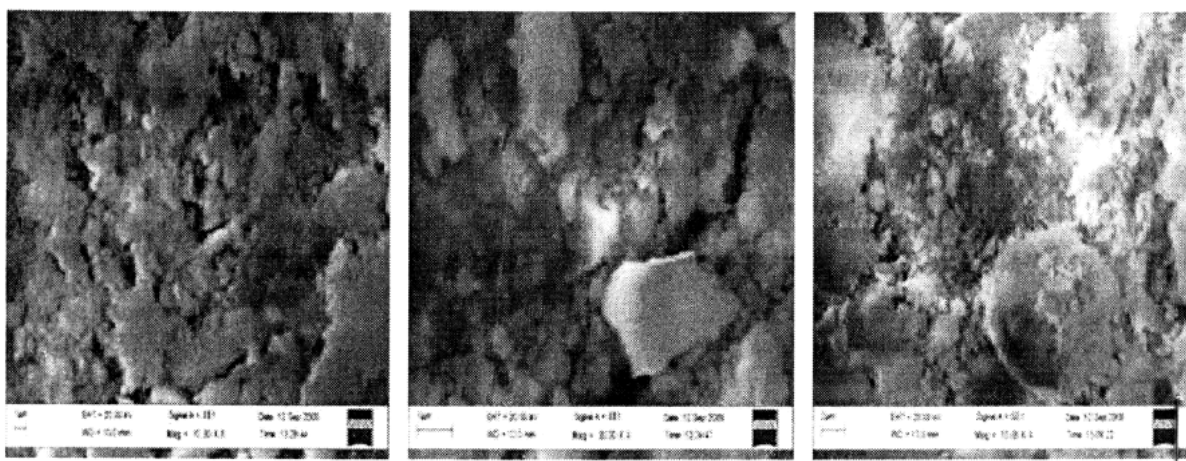
მაქსიმალური ეფექტი აღინიშნება თტდ გამოყენების დროს. ეს შეიძლება აიხსნას იმით, რომ თტდ პროცესის მიმდინარეობისას ჰიდრატაციის პროდუქტების დიდი რაოდენობა შედის რეაქციაში მკს-თან.

მკს-ის ჰიდრავლიკური აქტივობის საბოლოოდ დასადასტურებლად ჩატარებული იქნა ცემენტის ქვის სხვადასხვა შედგენილობის სტრუქტურული კვლევა ელექტრონულ მიკროსკოპზე. სინჯები მზადდებოდა მკს – დანამატით და დანამატის გარეშე.

№1.

№2.

№3.



სურ. III. 2. ნორმალურ – ტენიანობით დამუშავებული ცემენტის ქვის და მკს-ს შემცველი ცემენტის ქვის მიკროსტრუქტურა. x10000

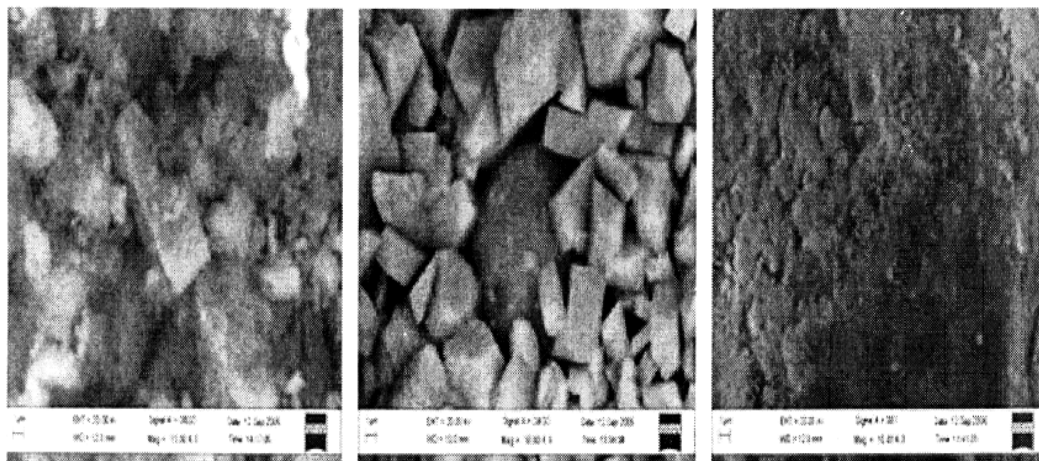
1 – ნტდ, მკს – 0%; 2 – ნტდ, მკს – 15% (ნ/ც=const); 3 – ნტდ, მკს – 15% (ნ/ც=const).

ჩვეულებრივი ცემენტის ქვის და ცემენტის მასიდან 15% მკს-ის შემცველი ცემენტის ქვის ტეხების ანალიზი გვიჩვენებს, გამყარების პირობებისგან დამოკიდებულებით მიკროსტრუქტურის განვითარების თავისებურებებს ნორმალურ – ტენიან პირობებში გამყარების დროს, როცა წყალ/ცემენტის ფარდობა მუდმივია, შეიმჩნევა ბზარების (სურ. III. 2. №2), ხოლო მუდმივი პლასტიურობის მქონე ნიმუშებში (სურ. III. 2. №3) ბზარები პრაქტიკულად არ შეინიშნება, ისევე როგორც მკს-ის შემცველობის გარეშე დამზადებულ ცემენტის ქვის სინჯში (სურ. III. 2. №1).

№4.

№5.

№6.



სურ. III. 3. თერმო – ტენიანობით დამუშავებული ცემენტის ქვის და მკს-ის შემცველი ცემენტის ქვის მიკროსტრუქტურა. x10000

4– თტდ – მკს 0%; 5 – თტდ – მკს 30% (ნ/ც=const); 6 – თტდ – მკს 15% (ნ/ც=const).

სურ. III. 3. № 5 ნიმუშებს (ხისტი ნარევი) თერმული ტენიანობით დამუშავების დროს ახალწარმოქმნილ ნაწილაკებს არ გააჩნიატ სწორი ფორმა, მაშინ როცა სურ. III. 3. № 6 ნიმუშები (მოძრავი ნარევი) სწორი ფორმის კრისტალებიდა შედგებიან. ეს სწორი ფორმის

კრისტალები მკს-ის ზედაპირებზე წარმოიქმნებიან, რაც ძალიან კარგად მოჩანს  $\times 10000$  გადიდების პირობებში.

კვლევების შედეგების ანალიზიდან შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ მკს ეფექტური შემავსებელი (დანამატია), რომელსაც გააჩნია ჰიდრავლიკური აქტივობა. თერმული ტენიანობით დამუშავება ადიდებს მკს-ის ეფექტიანობას, რადგან ხელს უწყობს კალციუმის დაბალფუძიანი სილიკატების წარმოქმნას.

### III. 3. სედიმენტაციური მდგრადობის გასაუმჯობესებლად შერჩეული დანამატები

ჭაბურღილების ბურღვის დროს სატამპონაჟო ხსნარის ტიპის შერჩევას ერთ-ერთი ცენტრალური ადგილი უჭირავს. ჭაბურღილის დაცემენტება ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი რგოლია ჭაბურღილის გაყვანის ტექნოლოგიური პროცესისა, მისი საშუალებით შეიძლება ჭაბურღილის ლულის გამაგრება ცემენტის ქვის მჭიდრო შეჭიდებით, როგორც სამაგრ კოლონასთან, ისე ჭაბურღილის კედლებთან.

იმ მრავალი მოთხოვნებიდან, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს სატამპონაჟო ხსნარი უნდა იყოს ადვილად გასატუმბი, მშვიდ მდგომარეობაში და სედიმენტაციურად მდგრადი.

როგორც I თავში იყო აღნიშნული მილგარეშე სივრცეში ფორმირებულ ცემენტის ქვაში არხების არსებობის განმაპირობებელი ძირითადი ფაქტორია სატამპონაჟო ხსნარის სედიმენტაციური არამდგრადობა. ეს განსაკუთრებით მაშინ ხდება, როცა ხსნარს გააჩნია მაღალი წყალშემცველობა.

სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური მდგრადობის ასამაღლებლად შემოთავაზებულია სხვადასხვა ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებანი. მრავალი მათგანი დაფუძნებულია სატამპონაჟო ხსნარში ასადულებებელი თავისუფალი წყლის წილის შემცირებაზე. ასეთებია: დაბალი წყალშემცველობის მქონე სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურების შემუშავება, სატამპონაჟო ხსნარში ისეთი მასალების შეყვანა, რომლებშიაც

ხდება ასადულაბებელი წყლის ნაწილის ადსორბირება, აქტივაციის სხვადასხვა მეთოდებით (ულტრაბგერითი, ქიმიური, ელექტრომიური და სხვ.) ხსნარის მყარი ნაწილაკების კუთრი ზედაპირის გადიდება და სხვ.

მიუხედავად ამ მიმართულებით კვლევების არეალისა სედიმენტაციური მდგრადობის პრობლემა დღესაც აქტუალურია. უპირველესად ეს დაკავშირებულია თავად სედიმენტაციის პროცესის სირთულეებთან დახრილი და ჰორიზონტალური ლულების მქონე ჭაბურღილების რიცხვის გაზრდასთან, სედიმენტაციური მდგრადობის, სატამპონაჟო ხსნარის და მისგან ფორმირებული ქვის სხვა არანაკლებ მნიშვნელოვან მაჩვენებლებთან ურთიერთმოქმედებაზე.

სატამპონაჟო ხსნარებში სედიმენტაციური მდგრადობის ამალღების ერთ-ერთი პერსპექტიული და ეფექტური ტექნოლოგიური მეთოდია ხსნარის შემკვრელის ნაწილაკების ჰიდრავლიკური აქტივობის გაზრდა ზედაპირული აქტიური ნივთიერებებით (ზან-ით). სედიმენტაციური მდგრადობის ამალღების მეორე მიმართულებაა ასადულაბებელი წყლის ნაწილის შეკვრა წყალში გახსნის უნარის მქონე პოლიმერებით.

არის ამ საკითხის გადაჭრის სხვა გზებიც. ესენია სატამპონაჟო ხსნარში წყალშემკვრელი მინერალური დანამატების შეყვანა, სატამპონაჟო ხსნარში წყლის შემცველობის შემცირება პლასტიფიკატორების საშუალებით, წვრილბოჭკოიანი მინერალების (აზბესტი, წვრილად დაფხვნილი პოლიეთილენი და სხვ.) შეყვანა სატამპონაჟო ხსნარის ადრეულ სტადიაზე.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია სატამპონაჟო ხსნარების სედიმენტაციური მდგრადობის ამალღების ეფექტური მიმართულება – სატამპონაჟო ხსნარების გამყარების ადრეულ ეტაპზე თავისუფალი წყლის შეკვრა წყალში გახსნის უნარის მქონე პოლიმერებით და მაგნიტური წყლის გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარის დასამზადებლად. ამასთან შესაყვანი რეაგენტები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ მოთხოვნილებებს: მათ უნდა ჰქონდეთ  $Ca^{+2}$  იონების მიმართ მაღალი მარილმდგრადობა და გარემოს pH –ის მაჩვენებელი – 12, შერჩეული პოლიმერები უნდა იყვნენ შეთავსებადი გამოყენებული

საბურღი ხსნარების და მათ ფუძეზე წარმოქმნილი ფილტრაციული ქერქის მიმართ. ჩვენს მიერ ჩატარებული წინასწარი კვლევების საფუძველზე სატამპონაჟო ხსნარების წყალგაცემის შემამცირებელ რეაგენტად გამოყენებული იქნა ამ თვისებების მქონე ოქსიეთილცელულოზა (ოეც). გამოკვლეულ იქნა ფირმების Hoechst (მარკა ტილოსი), Powder (მარკა ნატროსოლი) და ვლადიმირის (რუსეთი) ქარხანა პოლიცელის მიერ გამოშვებული ოეც – I (მარკა სულფაცილი).

ოქსიეთილცელულოზა ცელულოზის ეთილენის ჟანგთან რეაქციის პროდუქტია. ამ დროს კატალიზატორად მწვავე ნატრიუმი გამოიყენება. ანჰიდროგლუკოზის ყოველი ნარჩენის სამი ჰიდროქსილური ჯგუფი აქტივირდება მწვავე ნატრიუმით. ამის შემდეგ ხდება ამ ჯგუფების ეთერიფიკაცია ეთილენის ჟანგით, რასაც მივყავართ ცელულოზის ჰიდროსილიკატური ეთერის მიღებამდე. ეთილენის ჟანგი რეაგირებს როგორც ცელულოზის ჰიდროქსილურ ჯგუფებთან, ისე ოქსიეთილცელულოზის პირველად ჰიდროქსილურ ჯგუფებთან. ამ შემთხვევაში პოლიმერიზაციის პროცესი მიმდინარეობს გვერდითი ჯაჭვების წარმოქმნით. ყოველივე ამის გამო, ცელულოზის არსებული წარმოებისაგან განსხვავებით, მიღებული ოქსიალკილური ცელულოზა ხასიათდება ჰიდროქსილური ჯგუფების მაკრომოლეკულურ ცელულოზის ელემენტარულ რგოლში ჩანაცვლების მაღალი ხარისხით (ჩხ), არამედ ეთილენის ჟანგის მოლეზის რიცხვით, რომლებიც მიერთებული არიან წარმოქმნილი ოეც-ს ჰიდროქსილთან. მოლეზის ჩანაცვლების ხარისხი (მხ) განსაზღვრავს ოქსიეთილენის მოლეზის იმ რიცხვს, მიუერთდებიან ანჰიდროგლუკოზის ყოველ ნარჩენს. წყალში კარგად გახსნის უნარის მქონე ოეც-ს უნდა ჰქონდეს  $m_x = 1,5 - 2,5$ ;  $n_x = 0,7 - 1,0$ .

ოეც-ს მარკები ერთმანეთისაგან ძირითადად განსხვავდებიან წყალში გახსნით, წყალხსნარების სიბლანტით, თავისუფალი ეთილენის ჟანგის შემცველობით. მათ ფუძეზე დამზადებული ხსნარები მდგრადი არიან ტემპერატურის ზემოქმედების მიმართ. ისეთი მარილები, როგორც არიან ქლორიდები, ნიტრატები, ბორატები და ბიქრომატები არ აძევენ ხსნარიდან ოქსიეთილცელულოზას. გამოძევებული თვისებები გააჩნიათ სულფატებს, ფოსფატებს, კარბონატებს, სულფიტებს. მათი ხსნარების სიბლანტე

დამოკიდებულია pH – ზე და მაქსიმუმს აღწევს როცა pH=8. როცა pH ამ მნიშვნელობაზე მეტი ან ნაკლებია ხსნარების სიბლანტე დანამატის მცირდება. ხსნარის სიმკვრივე მცირედ არის დამოკიდებული დანამატის შემცველობაზე. ასე მაგალითად, ოეც-ს 1% ხსნარის სიმკვრივე ტოლია 1000,3 კგ/მ<sup>3</sup>-ის; ზედაპირული დაჭიმულობა 63,6 დინ/სმ<sup>2</sup>. კვლევების ჩატარებისათვის გამოყენებული იყო სულფაცელის 6 საცდელი პარტია (61, 62, 63, 64, 65, 66), ნასტროლის 4 მარკა (№1, №2, №3, №4) და ტოლოსის 4 მარკა (T1, T2, T3, T4). საწყის ეტაპზე შესწავლილ იქნა მტკნარ წყალში და კალციუმის ქლორიდის 40%-იან ხსნარში პოლიმერების 1%-იანი ხსნარების ბლანტკლასტიური და ფილტრაციული თვისებები. ცხრ. III. 3-ში მოყვანილია ამ კვლევების შედეგები.

ცხრ. III. 3

ტილოსის, სულფაცელის, ნიტროსოლის 1%-იანი წყალხსნარების  
რეოლოგიური და ფილტრაციული თვისებები

ოეც	პლასტიური სიბლანტე (η), მპა/ს		დენადობის ზღვარი (τ0) დპა		წყალგაცემა (φ30), სმ <sup>3</sup> ΔP=0,1 მპა-ის დროს	
	ტექნიკურ წყალზე	40% CaCl <sub>2</sub> –ის წყალხსნარზე	ტექნიკურ წყალზე	40% CaCl <sub>2</sub> –ის წყალხსნარზე	ტექნიკურ წყალზე	40% CaCl <sub>2</sub> –ის წყალხსნარზე
ტილოსი						
T-1	33,0	5,0	62,0	102,0	20,0	14,0
T-2	46,0	52,0	183,0	84,0	6,6	6,0
T-3	21,0	43,0	14,0	24,0		
T-4	7,0	20,0	0	3,0	8 წთ-ში 5	18 წთ-ში 50
სულფაცელი						
C-1	8,0	17,0	5,0	6,0	45,0	15,0
C-2	9,0	15,0	1,0	5,0	36,0	14,0
C-3	9,0	15,0	0	4,0	25,0	13,0
C-4	5,0	11,5	0,5	3,5	11,5	12,0
C-5	9,0	22,0	2,5	8,0	14,5	12,0
C-6	16,0	31,5	7,5	18,0	24,5	28,5
ნიტროსოლი						
№-1	32,0	37,0	70,0	70,0	22,0	27,0
№-2	11,0	26,0	14,0	10,0	21 წთ-ში 50	

ტილოსის და ნატროსოლის მარკის ოქსილეთილცელულოზა კარგად იხსნება როგორც მტკნარ წყალში, ისე კალციუმის ქლორიდის გაჯერებულ ხსნარში. ამ უკანასკნელში შეიმჩნევა სიბლანტის გაზრდა და ფილტრაციის შემცირება (გარდა ნასტროლის N -1 და N - 2 მარკებისა). ტოლოსის T-1 და T-2 მარკების ხსნარები უფრო ბლანტია, ხოლო T-3 და T-4-ს ნაკლებად ბლანტი. ნატროლი მიეკუთვნება დაბალი სიბლანტის რეაგენტებს. ხსნარებს N-2-ის ფუძეზე სიბლანტე და დენადობის ზღვარი დანარჩენებზე დაბალი აქვთ. N - 1 ნაკლებად მდგრადია  $Ca^{+2}$  მარილების ზემოქმედების მიმართ და როგორც შედეგი, გაჩნია ფილტრაციის უფრო დიდი მაჩვენებელი კალციუმის ქლორიდის გაჯერებულ ხსნარში.

სულფაცელი მტკნარ წყალში და მინერალიზირებულ არეში ნაკლები სიჩქარით იხსნება. C-1, C-2, C-3 მარკის ოეც-ის გასახსნელად საჭიროა არევა 3 - 4 სთ-ის განმავლობაში, C-4 და C-6 მარკის ოეც-სთვის გახსნისთვის 24 სთ-ია საჭირო, (პერიოდული არევით), C-5 მარკის სულფაცელი ორივე არეში 2-სთ-ის განმავლობაში.

გახსნის სიჩქარის გასადიდებლად შესაძლებელია ხსნარის ტუტით (NaOH) დამუშავება შეფარდებით - სულფაცელი: NaOH 10:(5-8). C-1, C-2, C-3 და C-5 პარტიის სულფაცელის ხსნარების რეოლოგიური პარამეტრები პრაქტიკულად ერთნაირია. პარტია C-4 ნაკლებად ბლანტია, პარტია C-6 კი მაღალი სიბლანტით ხასიათდება. ტექნიკურ წყალზე მომზადებული სულფაცელის ხსნარებს (I ჯგუფი) გააჩნიათ 2-ჯერ უფრო დაბალი პლასტიური სიბლანტე და 2-3-ჯერ უფრო მაღალი ფილტრაციის მაჩვენებლები, ვიდრე მინერალიზირებულ წყალში მომზადებულ ხსნარებს. C-4 და C-6 მარკის სულფაცელები არ არიან მდგრადი მარილების მიმართ და ამიტომ ისინი არ არიან რეკომენდებული სატამპონაჟო ხსნარების მოსამზადებლად.

N-1 და N-2 რეაგენტების გამოყენების შემთხვევაში ემატება პლასტიფიკატორი - ლინგოსულფანატი 0,1 %. სატამპონაჟო ხსნარების ფიზიკო - მექანიკურ თვისებებზე ოქსიეთილცელულოზის გავლენის კვლევის შედეგები (როცა წყალი - მყარის ფარდობა 0,5-ის ტოლია) მოცემულია ცხრ. III. 4.

ცხრ. III. 4 მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ: - მშრალი სახით სულფაცელის დამატება ფილტრაციის მაჩვენებელს ამცირებს მხოლოდ 2 საათის განმავლობაში არევის შემდეგ. თუ იგივე რაოდენობის სულფაცელს დავამატებთ ხსნარის სახით, მაშინ ფილტრაციის მაჩვენებლის შემცირება მიიღწევა 1 სთ-ის შერევის შემდეგ, რაც დაკავშირებულია რეაგენტის ხსნადობასთან. სულფაცელის ყველა პარტიისათვის ფილტრაციის მაჩვენებლის შემცირება სხვადასხვანაირად ხდება. ფილტრაციას ყველაზე უფრო ეფექტურად ამცირებს C-1 მარკის სულფაცელი. მისი ოპტიმალური კონცენტრაციაა 0,8 – 1,2 %. უფრო მცირე რაოდენობა ვერ უზრუნველყოფა ფილტრაციის მაჩვენებლის შემცირებას მოთხოვნილ სიდიდემდე, ხოლო უფრო დიდი ამცირებს ხსნარის მოძრაობის უნარს. ფილტრაციის მაჩვენებლის მცირე სიდიდეების შემთხვევაში, სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის დრო ხანგრძლივდება, ხოლო მიღებული ცემენტის ქვის სიმტკიცე მცირდება. ამიტომ რეკომენდირებულია შეკვრის დროის ამჩქარებლის – კალციუმის ქლორიდის 2 – 3%-ის რაოდენობით გამოყენება. ამ დროს შეკვრის დრო მცირდება, სიმტკიცის მაჩვენებლები არ უარესდებიან, ფილტრაციის მაჩვენებელი კი 1,5 – 2-ჯერ მცირდება. ნასტროლის მარკის ოქსიეთილცელულოზის N-1 პარტიები კარგად იხსნებიან ცემენტის ხსნარებში და

ცხრ. III. 4

ოქსიეთილცელულოზის გავლენა სატამპონაჟო  
ხსნარების თვისებებზე

ცემენტი	ოც	CaCl <sub>2</sub>	ფილტრატო სმ/30 წთ PP=0,7 მმ	განწეულობა	სიმკვრივე კგ/მ <sup>3</sup>	შეკვრის დრო სთ-წთ		სიმტკიცე ლუნვაზე 48 სთ-ის შემდეგ, მპა	გასქელების დრო სთ-წთ
						დასაწყისი	დასასრული		
სულფაცელი									
100	0,9 (C-1)	2,0	33,0	130	1840	8-15	24-00	4,38	6-20
100	1,0 (C-1)	3,0	12,0	150	1840	8-20	10-35	3,9	6-40



100	1,0 (C-2)	3,0	15,0	180	1860	6-30	8-10	3,5	4-50
100	1,0 (C-3)	3,0	12,5	170	1850	6-05	7-45	3,7	4-50
100	0,8 (C-5)	2,0	60,0	210	1840	>8-00	>10-00	3,4	8-45
100	1,0 (C-5)	2,0	25,0	170	1840	>8-00	>10-00	2,3	10-00
ნიტროსოლი									
100	0,7 (N-2)	2,0	11,5	215	1800	5-00	6-50	4,5	2-30
100	0,5 (N-1)	2,0	27,0	160	1810	5-50	8-00	4,75	1-30
ტილოსი									
100	0,5 (N-1)	3,0	15,0	180	1840	6,50	8-50	2,9	2-30
100	0,3 (N-1)	3,0	22,0	220	1850	4-40	6-30	4,8	3-30
100	0,3 (N-3)	2,0	21,0	180	1830	6-25	8-25	3,9	5-00
100	0,3 (N-2)	2,0	52,0	190	1840	7-00	9-00	2,9	4-50
100	0,7 (N-4)	2,0	72,0	200	1830	>8-00	>10-00	2,6	8-40

ამასთან მნიშვნელოვნად ამცირებს მათ ფილტრაციის მაჩვენებელს. N-1 და N-2 პარტიის რეაგენტები არ ახდენენ გავლენას სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის ვადებზე, აუმჯობესებენ გამყარებული ცემენტის ქვის თვისებებს სიმტკიცეზე. მაგრამ სატამპონაჟო ხსნარის N-1 რეაგენტით დამუშავება იმდენად ასქელებს და ამცირებს დენადობის მაჩვენებელს, რომ საჭიროებს პლასტიფიკატორის გამოყენებას. პლასტიფიკატორად რეკომენდებულია ტექნიკური ლინგოსულფატის 0,1%-ის გამოყენება. N-2 მარკის ნიტროლი უფრო ნაკლებად ასქელებს სატამპონაჟო ხსნარს. შეკვრის დროის, ხსნარის მოძრაობის უნარი და ცემენტის ქვის სიმტკიცის რეგულირებისათვის გამოკვლეული იქნა ჭაბურღილების დაცემენტების დროს გამოყენებული ტრადიციული რეაგენტები – შეკვრის დროის დასაჩქარებლად  $\text{CaCl}_2$  და ეთილენსილიკატის კონდენსატი, პლასტიფიკატორად ლინგოსულფატი. კვლევების შედეგებიდან შეიძლება შემდეგი დასკვნის გაკეთება: ეთილენსილიკატის კონდენსატი ნასტროლის დანამატებთან შეთავსებით აღიდეგს ცემენტის ქვის სიმტკიცეს, მაგრამ ამასთან მცირდება სატამპონაჟო ხსნარის წყლის დაჭერის უნარი, წარმოიქმნება არაერთგვაროვანი ხსნარი, შეკვრის დრო არ პასუხობს სტანდარტის მოთხოვნებს. დანამატები  $\text{CaCl}_2$ -თან შეთავსებით საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ საკმაოდ მაღალი ხარისხის სატამპონაჟო ხსნარი, ფილტრაციის დაბალი მნიშვნელობით და კარგი

მოძრაობის უნარით. ნიტროლის დანამატი  $\text{CaCl}_2$  და ეთილენსილიკატის კონდესატთან სეთავსებით ადიდებს სატამპონაჟო ხსნარის წყლის დაჭერის უნარს.

ტილოსის ყველა ტიპის დანამატები ადვილად იხსნებიან სატამპონაჟო ხსნარებში. მათი შეყვანა შეიძლება როგორც გახსნილ, ისე მშრალ მდგომარეობაში. ხსნარის კონცენტრაციაზე გავლენის თვალსაზრისით ყველაზე კარგი შედეგი იქნა მიღებული დანამატის ფაფის სახით შეყვანის დროს. ტილოსის დანამატები კი ფილტრაციის მაჩვენებლებს მნიშვნელოვნად ამცირებენ. დანამატების 2 – 3%-ის  $\text{CaCl}_2$ -თან ერთად გამოყენების დროს მცირდება შეკვრის დრო, იზრდება წარმოქმნილი ცემენტის ქვის სიმტკიცე (48 სY-იანი სიმტკიცე შეესაბამება დანამატის გარეშე ცემენტის ქვის სიმტკიცეს). ტილოსის ყველა შესწავლილი და გამოკვლეული მარკა შეიძლება გამოვიყენოთ ჭაბურღილის ცემენტირებისათვის შემდეგი კონცენტრაციებით: T-2 – 0,3 – 0,5%, T – 3 – 0,5%, N -4 – 0,7%. T-1 მარკის ტილოსი ისეთივე ეფექტს იძლევა, როგორც T-2, რომელიც გამოიყენება შეკვრის დროის დამაჩქარებლებთან ერთად. T-3 მარკის ტილოსი ეფექტურად ამცირებს წყალგაცემას და ამავე დროს არ ამცირებს ცემენტის ქვის სიმტკიცის მახასიათებლებს, ხოლო  $\text{CaCl}_2$  დანამატი ზრდის ცემენტის ქვის 48 სთ-იან სიმტკიცეს 3,9 მპა-მდე. T-4 ეფექტურად ამცირებს ცემენტის ხსნარის ფილტრაციის მაჩვენებელს, მაგრამ ძალიან ზრდის შეკვრის დროს. მისი შეთავსება შეკვრის დროის დამაჩქარებელთან  $\text{CaCl}_2$ -თან ეფექტურად ზრდის ხსნარის რეოლოგიურ თვისებებს, წარმოქმნილი ცემენტის ქვის სიმტკიცეს და ამცირებს შეკვრის დროს.

ჩატარებული კვლევების შედეგების საფუძველზე შეიძლება გამოვიტანოთ შემდეგი დასკვნა: სატამპონაჟო ხსნარების წყალგაცემის შემცირების და მათი რეოლოგიური და სტრუქტურულ – მექანიკურ თვისებებზე გავლენის თვალსაზრისით ყველაზე უფრო ეფექტურია ოქსიეთილცელულოზა – ტილოსი N-1 და N-2.

### დასკვნები III თავის მიხედვით

1. დადგენილია, რომ ეფექტური სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურების შერჩევა კონკრეტულ გეოლოგიური პირობებისათვის, მიზანშეწონილია დასაბუთდეს სატამპონაჟო ხსნარების შემსუბუქების, გაფართოების უნარიანობის, შეკვრის ვადების რეგულირების კომპლექსური შეფასების საფუძველზე.
2. დასაბუთებულია მიზანშეწონილობა და ეფექტურობა სედიმენტაციური მდგრადობის ასამაღლებლად სატამპონაჟო ნარევი (ოქსიეთილცელულოზის ფუმეზე) წყალხსნადი მაღალმოლეკულარული ნაერთების შეყვანა. ოქსილმეთილცელულოზის პოლიმერების ჯგუფიდან შერჩეულია ტილოსის მარკის პოლიმერი 0,3 – 0,5%-ის რაოდენობით.

#### **თავი IV შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარის შემუშავება და შედგენილობის ოპტიმიზაცია**

შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარის შემუშავება და შედგენილობის ოპტიმიზაცია ორ ეტაპად ჩავატარეთ.

პირველ ეტაპზე შესწავლილი იყო კალციუმის ოქსიდის (2,5; 5,0 და 7,5%) და ყურძნის ნარჩენების ტანინიანი ექსტრაქტის (ნტე) (2,0 და 4,0%) დანამატების გავლენა ნორმალური სიმკვრივის (სიმკვრივე, განდინება, ხსნარის შეკვრის დრო, სიმტკიცე და სატამპონაჟო ქვის მოცულობითი ცვლილებები) სატამპონაჟო ხსნარის ძირითადად ფიზიკო – მექანიკურ პარამეტრებზე 20°C ტემპერატურაზე. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგენილი იქნა, რომ CaO-ს 2,5-დან 7,5%-მდე დამატება უმნიშვნელო გავლენას ახდენს ცემენტის ქვის სიმტკიცეზე და შეკვრის დროზე. სატამპონაჟო ქვის გაფართოება 72 სთ-ის შემდეგ არ აღემატება 0,19%. ყველაზე უფრო კარგი შედეგები იქნა მიღებული სატამპონაჟო ხსნარში 4% ნტე-ის დამატებით.

კვლევების მეორე ეტაპზე განსაზღვრული იქნა მკს-ის (10 – 15%) და კალციუმის ოქსიდის (8 – 15%) რაოდენობის გავლენა სატამპონაჟო ხსნარის სიმკვრივეზე და შეკვრის

დროზე, მისგან ფორმირებული სატამპონაჟო ქვის სიმტკიცეზე და გაფართოებაზე. კვლევების შედეგები მოცემულია ცხრ. 1.

მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სატამპონაჟო ხსნარს მკს-ის 10-დან 15%-მდე, CaO-ს 8,0-დან 15%-მდე სასაზღვრო მნიშვნელობებით, როცა წყალ ცემენტის ფარდობა 0,6 – 0,7-ია აქვს სიმკვრივე 1550 – 1400 კგ/მ<sup>3</sup> და ხასიათდება მისგან წარმოქმნილი ქვის მნიშვნელოვანი გაფართოებით.

ამასთან დადგენილია, რომ კირის დანამატის რაოდენობის ზრდით ცემენტის ქვის გაფართოება პირველი სამი დღე-ღამის განმავლობაში ინტენსიურად იზრდება და სტაბილურობას აღწევს გამყარების მეშვიდე დღეს. ამ დროის განმავლობაში ცემენტის ქვის გაფართოება გამყარების 20°C ტემპერატურის დროს 0,15-დან 0,35%-მდეა, ხოლო 0°C ტემპერატურაზე 0,10-დან 0,99%-მდე (სურ. 1).

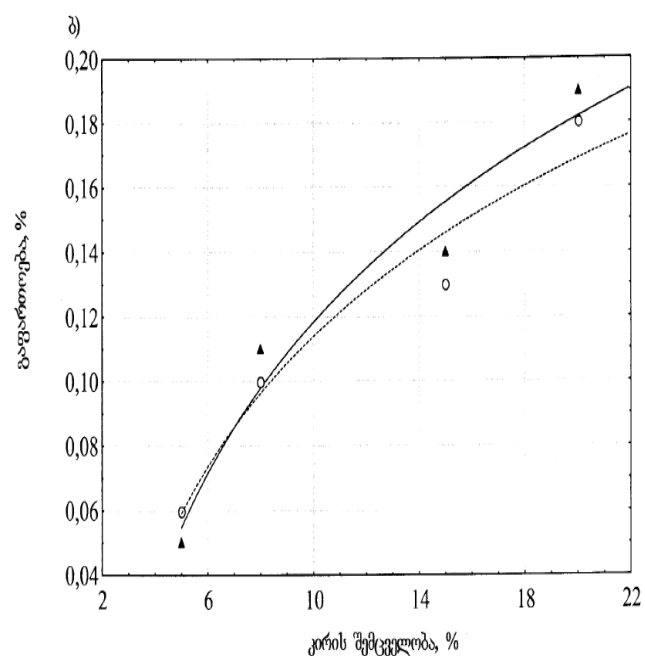
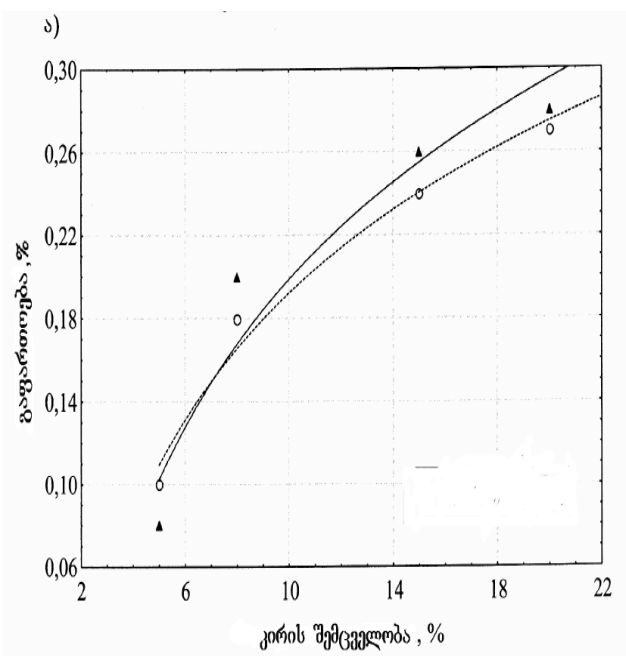
ცემენტის ქვის მნიშვნელოვანი გაფართოება აღინიშნება შემკვრელის წონიდან 8 - 20% კირის დამატების შემთხვევაში. მაგრამ სატამპონაჟო ხსნარში კირის შემცველობის 15%-ზე მეტით გაზრდის შემთხვევაში მცირდება ცემენტის ქვის სიმტკიცე ღუნვაზე, ხოლო მისი 8%-ზე ნაკლები შემცველობის შემთხვევაში მცირდება სატამპონაჟო ქვის გაფართოების ეფექტი. გამყარების ტემპერატურა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სატამპონაჟო ქვის შეკვრის დროზე, სიმტკიცეზე და გაფართოებაზე. დადგენილია, რომ წყალშემცველობის სიდიდე არ ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას წარმოქმნილი ცემენტის ქვის გაფართოებაზე.

ცხრ. IV. 1

შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარის ოპტიმალური შედგენილობა

1	სატამპონაჟო ხსნარის შედგენილობა	სატამპონაჟო ხსნარის და ქვის თვისებები
---	---------------------------------	---------------------------------------

	პორტლანდცემენტი %	მკს %	CaO %	ნტე %	სიმკვრივე კგ/მ <sup>3</sup>	განდინება	შეკვრის დრო		ცემენტის ქვის სიმტკიცე, მპა სთ-ის შემდეგ			ცემენტის ქვის გაფართოებაზე, % სთ-ის შემდეგ		
							დაწყება	დასრულება	48	72	336	72	91	336
20° C ტემპერატურის დროს														
1	82	10	8	1	1540	0,22	2-15	3-50	3,2	4,4	4,8	0,20	0,25	0,25
2	75	10	15	1	1500	0,21	2-35	3-40	2,6	3,9	4,4	0,26	0,35	0,35
3	77	15	8	1	1420	0,23	2-05	3-50	2,4	3,2	3,8	0,18	0,25	0,25
4	70	15	15	1	1410	0,23	2-10	3-10	1,8	2,2	2,8	0,24	0,30	0,30
0° C ტემპერატურის დროს														
1	82	10	8	1	1540	0,22	5-45	7-10	1,3	2,8	3,2	0,11	0,14	0,14
2	75	10	15	1	1500	0,21	6-30	7-20	1,6	2,5	3,0	0,14	0,16	0,16
3	77	15	8	1	1420	0,23	6-15	7-40	1,3	2,1	2,5	0,11	0,14	0,14
4	70	15	15	1	1410	0,23	6-40	7-45	1,2	2,2	2,8	0,13	0,15	0,16



სურ. IV. 1. კირის დანამატის გავლენა სატამპონაჟო ქვის გაფართოებაზე გამყარებიდან 72 სთ-ის შემდეგ

ა – 20<sup>0</sup> C ტემპერატურაზე; ბ – 0<sup>0</sup> C ტემპერატურაზე.

▲-მკს 10% ; ◦-მკს 15%

განგარიშებული იქნა შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარის ძირითადი პარამეტრების ემპირიული დამოკიდებულებები. მათი მნიშვნელობა მოცემულია ცხრ. IV. 2.

გამოკვლეული იქნა შემოთავაზებული შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარიდან ფორმირებული ცემენტის ქვის დრეკადობის მოდულის ცვლილება დროში (336 სთ) 20<sup>0</sup>C და 0<sup>0</sup>C ტემპერატურებზე. ნაჩვენებია, რომ გამოსაკვლევი პარამეტრი იცვლება ლოგარითმული დამოკიდებულებით (სურ. IV. 2). გამოსაკვლევი სიდიდის

ცხრ. IV. 2

ემპირიული დამოკიდებულებანი

პარამეტრი	რეგრესიის განტოლებები	ორელიაციის კოეფიციენტი
სიმკვრივე სკ, კგ/მ <sup>3</sup>	სკ = 1771 _ 21 ამ _ 3,57 კრ	0,99
შეკვრის დასაწყისი TiC	20 <sup>0</sup> C ტემპერატურაზე: T = 14325 + 150 ამ - 150 კრ 0 <sup>0</sup> C ტემპერატურაზე: T = 16200 + 240 ამ + 300 კრ	0,98      0,97
შეკვრის დასარული TiC	20 <sup>0</sup> C ტემპერატურაზე: T = 24150 - 60 ამ - 300კრ 0 <sup>0</sup> C ტემპერატურაზე: T = 22061 + 330 ამ + 64, 28 კრ	0,98      0,98

სიმტკიცე ღუნვაზე 48 სთ-ის გამყარების შემდეგ $n_L$ , მპა	$20^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე: $n_L = 5,49 - 0,16 \text{ ამ} - 0,086 \text{ კრ}$ $0^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე: $n_L = 1,68 - 0,04 \text{ ამ} + 0,014 \text{ კრ}$	0,99      0,99
ქვის მოცულობითი დეფორმაცია 72 სთ-ის გამყარების შემდეგ $V$ , %	$20^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე: $V = 0,171 - 0,004 \text{ ამ} + 0,0086 \text{ კრ}$ $0^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე: $V = 0,094 - 0,001 \text{ ამ} + 0,0036 \text{ კრ}$	0,97      0,97

შენიშვნა : ამ - ალუმინოსილიკატის მიკროსფეროების დანამატი %, კრ - კირის დანამატი %

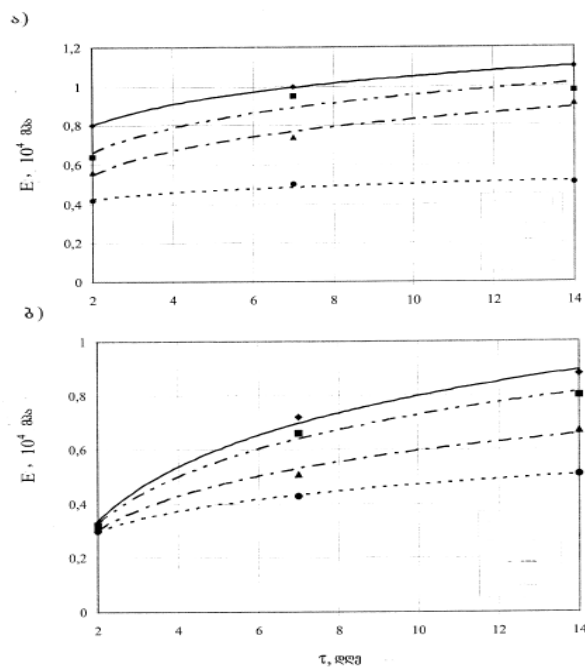
მინიმალური მნიშვნელობა სასაზღვრო პირობების არეალში შეადგენს 8000 მპა, რაც აკმაყოფილებს დაბალ ტემპერატურაზე ( $\sim 0^{\circ}\text{C}$ ) გამოსაყენებლად გათვალისწინებული სატამპონაჟო ხსნარებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს

შემუშავებული შემსუბუქებული სატამპონაჟო ხსნარიდან ფორმირებული ცემენტის ქვის დაბალ ტემპერატურებზე თვისებების შესაწავლად დამატებით იქნა ჩატარებული ცდები, რომლის შედეგების ანალიზით დადგენილი იქნა, რომ ცემენტის ქვის გამოკვლეული ნიმუშები ინარჩუნებენ თავიანთ საექსპლოატაციო თვისებებს დაბალ ტემპერატურებზეც ( $\sim 0 - 5^{\circ}\text{C}$ ). სურ. IV. 3.

სატამპონაჟო ნარევის ოპტიმიზაციას ვახდენდით  $2^2$  ტიპის ორფაქტორიანი გეგმით. შემავალ პარამეტრებად მიღებული იქნა კალციუმის ოქსიდი და ამ-ი. გამოსასვლელ ფუნქციად მიღებული ნა განზოგადებული პარამეტრი. ოპტიმიზაციის კერძო პარამეტრები ფასდებოდა ჰარინგტონის სკალით. სატამპონაჟო ნარევის კომპონენტების ოპტიმალური რაოდენობის შეხამება ხორციელდებოდა ბოქს – უილსონის მეთოდით.

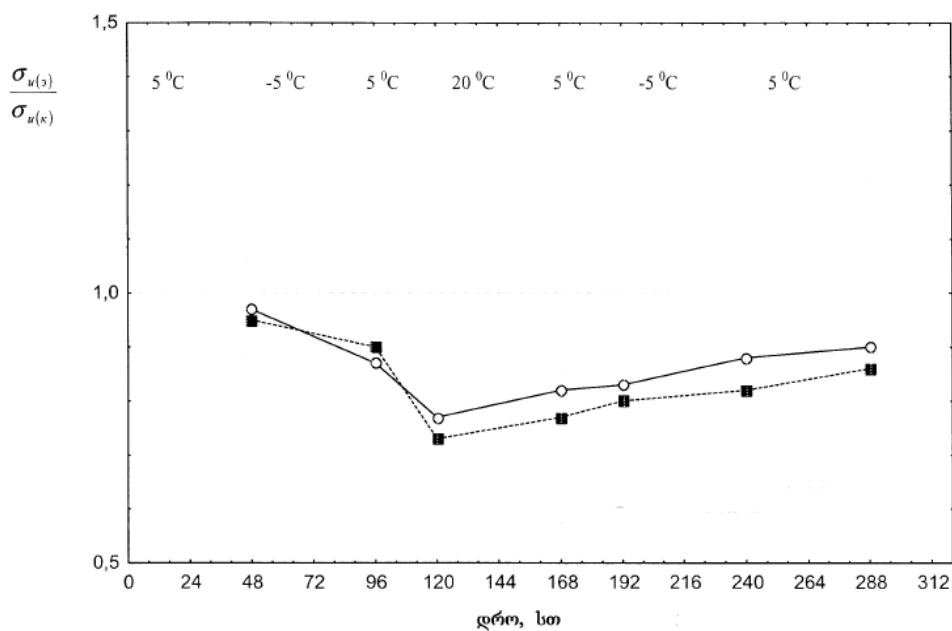
ყოველივე ამის შედეგად შემუშავებული იქნა შემსუბუქებული გამაფართოებელი სატამპონაჟო ნარევის შემდეგი შედგენილობა, %:

პორტლანდცემენტი (70 – 80%); მკს (11 – 15%); CaO (12 – 15%); წ/ც – 0,7 (% ნტე).



სურ. IV. 2. სატამპონაჟო ქვის დრეკადობის მოდულის ცვლილება დროში ა –  $20^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე; ბ –  $0^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე.

შედგენილობები: ◆-1, ■-2, ▲-3, ●-4





სურ. IV. 3. შემსუბუქებული სატამპონაჟო ქვის მედეგობა დაბალ

ტემპერატურებზე (კირქვის დამატებით)

○-მკს 10%; ■-მკს 15%

#### IV. 1. მაგნიტური ველითა და ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტით სატამპონაჟო ხსნარების ხარისხის გაუმჯობესება

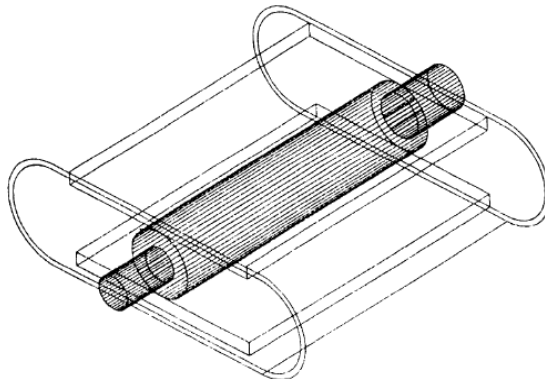
წყლის მაგნიტურ დამუშავებას უკვე გასული საუკუნის დასაწყისში იყენებდნენ. პროცედურის სიმარტივემ (სითხის ნაკადის მოდინება მაგნიტის პოლუსებს შორის) განაპირობა მისი გამოყენება ფართო მიზნებისათვის. ამიტომ მაგნიტური დამუშავება გამოიყენება არა მარტო მარილების წყალხსნარებისათვის, არამედ ნავთობის, ძრავების საწვავების, პოლიმერების ხსნარების, ცემენტის და საბურღი ხსნარების ხარისხის ასამაღებლად.

მაგნიტური დამუშავების მექანიზმი ახსნილია სამუშაოში [108]. აღმოჩნდა, რომ მაგნიტური დამუშავების შემდეგ იზრდება კოლოიდური ნაწილაკების მინარევების რაოდენობა. ვინაიდან ფერომაგნიტური რკინის კოლოიდური ნაწილაკები ყოველთვის იმყოფებიან ტექნოლოგიურ წყალში, გამოითქვა ჰიპოთეზა, რომ მაგნიტურ ველში იცვლება ფერომაგნიტური ნაწილაკების ზომები [109, 110]. ამ ავტორების აზრით ფერომაგნიტური რკინის ნაწილაკები ბუნებაში ძირითადად არსებობენ დაახლოებით 1 მიკრონის სიგრძის ღერძის მაგვარი კრისტალების სახით. ეს მიკროკრისტალები ერთმანეთს ეკვრებიან და წარმოქმნიან აგრეგატებს, რომლებიც შეიცავენ ასობით და ათასობით ნაწილაკებს. მაგნიტური ველის ზემოქმედებით აგრეგატები იმსხვრევიან ფრაგმენტებად, ანუ გაცილებით მცირე ზომის აგრეგატებად და ცალკეულ ნაწილაკებად. სწორედ ესენი ცვლიან ხსნარის თვისებებს. აგრეგატების მსხვრევას უპირველესად ყოვლისა მივყავართ მყარი ნაწილაკების რაოდენობის მრავალჯერ გადიდებას. ისინი კი ხდებიან კრისტალიზაციის და გაზწარმოქმნის ცენტრები. გარკვეული დროის გავლის

შემდეგ, თუ ნაწილაკები არ დაიხარჯებიან ქიმიურ და ფიზიკურ პროცესებში, აგრეგატები ისევ წარმოიქმნიან. წყალს აღარ დაეტყობა მაგნიტური დამუშავების გავლენა.

მაგნიტური დამუშავებისას მექანიზმის ცოდნა საშუალებას გვაძლევს შევიმუშავოთ მაგნიტური ხელსაწყო კონსტრუქციის და მისი გამოყენების ტექნოლოგიის ოპტიმალური პარამეტრები [111].

ვინაიდან სატამპონაჟო ცემენტის ხსნარის მოსამზადებლად გამოყენებული დამაგნიტებულ წყალს განსხვავებული პირობები მოეთხოვება, ამიტომ წყლის დასამაგნიტებლად გამოყენებული უნდა იქნეს ისეთი დანადგარი, რომელიც ახალი მოქმედი ანალოგიური დანადგარებისაგან გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით და ძირითადი მაგნიტური პარამეტრების სტაბილურობით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ამ მიზნით ჩვენს მიერ შემუშავებული იქნა წყლის მაგნიტური დამუშავების ლაბორატორიული დანადგარი (სურ. IV. 4).



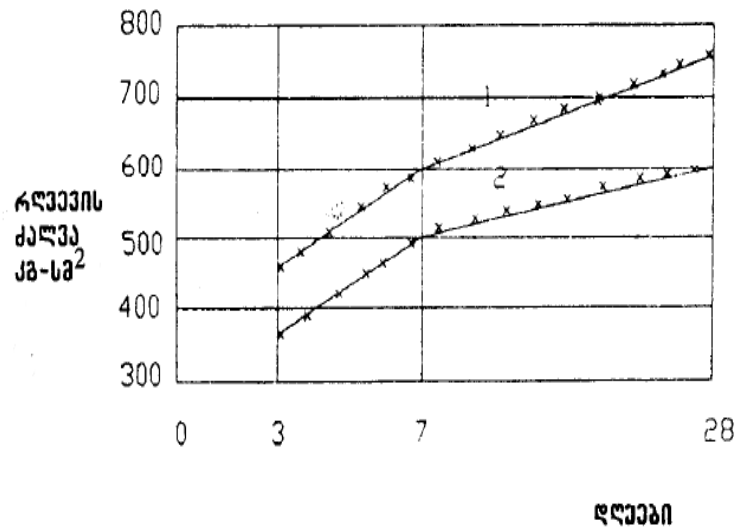
სურ. IV. 4. წყლის მაგნიტური დამუშავების დანადგარის სქემა

დანადგარს აქვს შემდეგი მახასიათებლები:

- მაგნიტური ველის დაძაბულობა მუშა არეში 0,18 ტეს;
- მაგნიტური ველი მუშა არეში ერთგვაროვანია;
- მაგნიტური ნაკადის მიმართულება წყლის ნაკადის პერპენდიკულარულია;
- დასაშვები ტემპერატურული დიაპაზონია – 5<sup>0</sup>-დან +90<sup>0</sup>-მდე.

გამოკვლევულ იქნა წყლის მაგნიტური დამუშავების გავლენა სატამპონაჟო ცემენტისაგან დამზადებული კუბების სიმტკიცეზე და მის ცვლილებებზე დროის განმავლობაში. მიღებული შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მაგნიტურ წყალში გახსნილი ცემენტისაგან დამზადებული კუბის სიმტკიცე სწრაფად იზრდება.

ჩვენ შემთხვევაში მეშვიდე დღეს სიმტკიცე აღწევს ისეთ მნიშვნელობას, რომელიც, ჩვეულებრივ შემთხვევაში, მხოლოდ ოცდამეცხრე დღეს მიიღება.



სურ. IV. 5. ცემენტის კუბების გამყარების სიჩქარე და სიმტკიცე მაგნიტური და ჩვეულებრივი წყლის გამოყენების შემთხვევაში:  
1. მაგნიტური წყლით დამზადებული; 2. ჩვეულებრივი წყლით დამზადებული (მაგნიტური ველის დაძაბულობა შეადგენს 0,18 ტეს)

წყლის დამაგნიტება ხდებოდა მაგნიტური ველის დაძაბულობის სხვადასხვა მნიშვნელობებზე (0,14-დან 0,21 ტეს-მდე). მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა, რომ სატამპონაჟო ბეტონი ყველაზე მაღალ თვისებას იძენს მაშინ, როცა წყლის დამაგნიტების დროს მაგნიტური ველის დაძაბულობა 0,18 ტეს შეადგენს. ბეტონის ხსნარში მაგნიტური წყლის გამოყენება განსაკუთრებით მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბეტონის შეკვრის

დაწყებისა და დამთავრების დროებზე (მცირდება გამყარების დრო), აგრეთვე იზრდება 48 საათიანი სიმტკიცე ლუნვაზე (ცხრ. IV. 3).

ცხრ. IV. 3

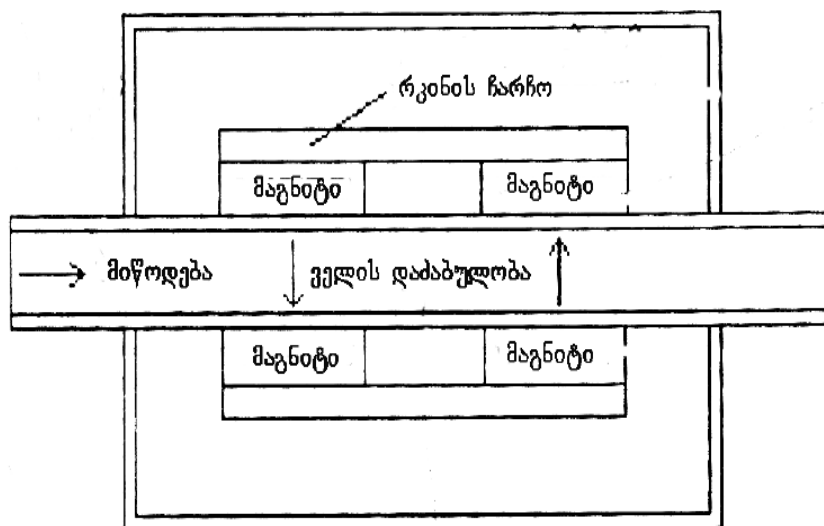
ცემენტის ხსნარის და ქვის მაჩვენებელი	დამუშავებლად	მაგნიტური ველით დამუშავების შემდეგ
წყლის ცემენტის ფარდობა	0,5	0,5
სიმკვრივე, გრ/სმ <sup>3</sup>	1,79	1,81
გადინება	23,5	24,5
ბეტონის შეკვრის დროები, სთ- წთ		
დასაწყისი	8-50	6-30
დამთავრება	11-20	10-25

წყალზე მაგნიტური ველის ზემოქმედებისას მნიშვნელოვანია მაგნიტური ველის მიმართულება. ყველაზე საუკეთესო თვისებები (მაღალი სიმტკიცე, სიმკვრივე და სხვ.) მიიღება, როცა მაგნიტური ნაკადი წყლის ნაკადის პერპენდიკულარულია. ჩატარებული კვლევების დროს მიღებული ბეტონის (ცემენტის ქვის) სხვა თვისებების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ წყლის მაგნიტური დამუშავება ანალოგიურად მოქმედებს ცემენტის გამყარების სხვა მახასიათებლებზეც. მაგალითად, მცირდება მასში ლითონური კონუსის ჩაძირვის სიღრმე, რაც პლასტიკური სიმტკიცის ზრდაზე მიუთითებს; მცირდება ცემენტის გრანულების ზომები და წარმოიქმნება უფრო წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა.

მიღებული შედეგების ანალიზიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ცემენტის ხსნარის დასამზადებლად მაგნიტური წყლის გამოყენება ხელს უწყობს ცემენტის ხსნადობას და ჰიდრატაციას, აყალიბებს შედარებით წვრილმარცვლოვან სტრუქტურას, რომელიც უფრო მტკიცეა, ვიდრე მსხვილმარცვლოვანი. სიმტკიცის ზრდის პარალელურად მცირდება ბეტონის ფორიანობა, რაც აუმჯობესებს მის მდგრადობას დაბალი ტემპერატურის, წყლის და სხვადასხვა რეაგენტების მიმართ, ცხრ. IV. 4.

იმ მიზნით, რომ მაგნიტურ ველს ზემოქმედება მოეხდინა არა მარტო წყალზე, არამედ სატამპონაჟო ხსნარის ყველა კომპონენტზე, გადავწყვიტეთ მაგნიტური ველის

ზემოქმედება მოგვხდინა თავად სატამპონაჟო ხსნარზე, უშუალოდ ჩატუმბვის წინ. ამან გამოიწვია დანადგარის კონსტრუქციაში მცირეოდენი ცვლილებების შეტანა. კერძოდ, დანადგარში ერთის ნაცვლად დამონტაჟდა მაგნიტური ველის ორი წყარო, რამაც გაზარდა მისი ეფექტურობა. მაგნიტური დამუშავების სქემა წარმოდგენილია სურ. IV. 6.



სურ. IV. 6. სატამპონაჟო ხსნარის მაგნიტური დამუშავების სქემა

მაგნიტური დამუშავება საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ ხსნარის კოროზიული აქტივობა, მივიღოთ უფრო ერთგვაროვანი ხსნარი და გავაუმჯობესოთ ცემენტის ქვის ხარისხი. მაგნიტური დამუშავების ტექნოლოგია მარტივია და არ არის დაკავშირებული დიდ მატერიალურ დანახარჯებთან.

ბურღვის პროცესში სატამპონაჟო ხსნარის ძირითადი პარამეტრები ცვლილებებს განიცდიან. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სატამპონაჟო ხსნარის სიბლანტის განსაზღვრული მნიშვნელობების შენარჩუნება ბურღვის სხვადასხვა ინტერვალში. პრაქტიკაში ადგილი აქვს სატამპონაჟო ხსნარის სიბლანტის მომატებას

ცემენტის, მკს, კირის, ნტე ნარევის თვისებები წყლის მაგნიტური დამუშავების შემდეგ

ნარევის შედგენილობა %			ნტე ნარევის მთელი მოცულობიდან	წყ/ც	მკკგ/მ <sup>3</sup> მკ	წყალგაცემა %	სიმტკიცე, მპა, °C T-ზე											
ცემენტი	მკს	კირი					ლუნვაზე						კუმშვაზე					
							22°	75°	100°	120°	140°	160°	22°	75°	100°	120°	140°	160°
75	16 (I)	9	3	0,56	1680	1,2	2,5	4,9	5,6	6,1	6,6	6,2	4,4	9,5	10,3	11,5	12,9	12,3
65	23 (I)	12	2	0,61	1620	1,1	2,4	4,7	5,4	6,3	6,8	6,1	4,1	9,2	10,5	12,6	13,3	12,5
55	25 (I)	15	1	0,67	1590	0,2	2,2	4,5	4,9	5,6	6,6	6,3	3,8	8,8	9,7	10,8	13,6	13,2
45	27 (II)	18	3	0,67	1520	0,7	2,0	4,3	4,7	5,8	6,9	7,2	3,6	8,5	9,5	11,6	13,9	14,4
35	44 (II)	21	2	0,72	1500	0,5	1,9	3,9	4,6	5,7	6,8	7,1	3,3	7,9	9,2	11,4	13,6	14,3
65	35 (III)	10	1	0,65	1490	1,1	1,9	5,3	5,8	6,5	7,4	8,0	3,7	10,2	11,6	12,8	15,2	16,5
45	43 (III)	12	3,0	0,66	1500	1,4	1,8	4,9	5,6	6,8	7,7	8,4	3,9	8,6	10,8	14,5	16,2	17,3
35	51 (III)	14	1,00	0,70	1480	1,2	1,6	4,2	5,4	7,1	7,9	8,6	3,9	8,6	10,9	14,8	16,4	17,5

შენიშვნა - I - მტვრის და ნაცრის ფარდობა 50/50, II - 60/40, III - 40/60

სიბლანტის დასაწევად მთელ რიგ ქვეყნებში გამოიყენება ტანინშემცველი მცენარეების ექსტრაქტები. ჩვენს ქვეყანაში საკმაო რაოდენობითაა ყურძნის წარმოების ნარჩენები, რომლებიც მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავენ ტანინს. მათგან ექსტრაქტის დამზადება და სატამპონაჟო ხსნარებში გამოიყენება მეტად აქტალური საკითხია.

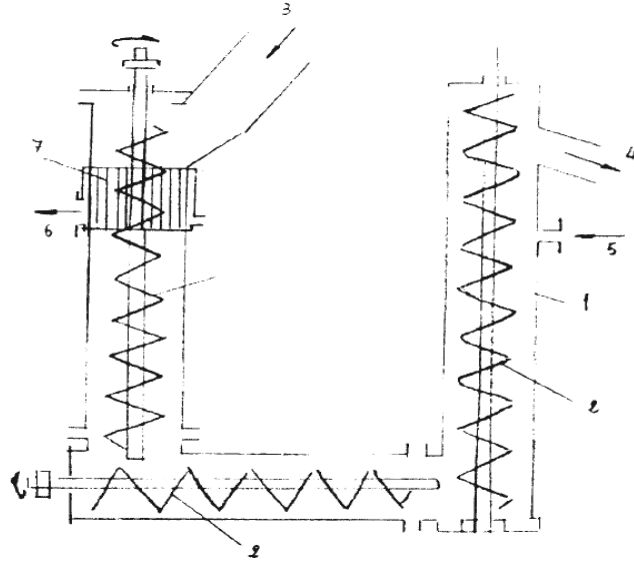
ღვინის წარმოების ნარჩენებისაგან ექსტრაქტის მიღება ხდებოდა უწყვეტი წინააღობის ექსტრაქტორში, რომლის სქემა ნაჩვენებია სურ. IV. 7

აღნიშნული სქემით მყარი ფაზა (ღვინის წარმოების ნარჩენები – ჭაჭა) პერფორირებული შნეკების საშუალებით გადაადგილდება U –სებრ ცილინდრულ ჭურჭელში გამხსნელის (90-95°C გაცხელებული წყლის) მოძრაობის საპირისპიროდ. ექსტრაქტის გამოყვანა ხდება გამომწურავის (ცილინდრული ფორმის ნახვრეტებიანი ფურცელი) საშუალებით.

ექსტრაქტში შემავალი ტანინები ქიმიურად არაერთგვაროვანი ნივთიერებებია და ორგანული ნაერთების რთულ კომპლექსს წარმოადგენს. ტანინის ექსტრაქტს აქვს მჟავა რეაქცია (pH = 4). შემკვრელი თვისებები და ძლიერი მრთრიმლავი მოქმედება. ღვინის წარმოების ნარჩენებიდან მიღებული ტანინი კარგად იხსნება წყალში. ყურძენში ტანინის რაოდენობა დამოკიდებულია ვაზის ჯიშზე. საერთოდ კი წითელ ჯიშებში ტანინის შემცველობა უფრო მაღალია, ვიდრე თეთრებში.

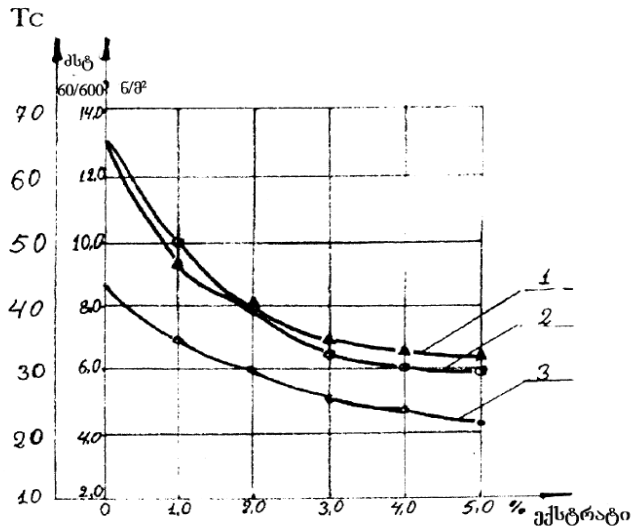
თუ მხედველობაში მივიღებთ იმას, რომ ჭაბურღილების ბურღვისას არადენადი ბლანტი თიხის ხსნარები (რომელთაც აქვთ ძვრის სტატიკური დამაბულობის მკვეთრად მაღალი მნიშვნელობა) ძირითადი მიზეზია ბურღვის დროს წარმოშობილი გართულებების და ავარიების, დიდი თიხის ხსნარების პარამეტრების სტაბილიზაციას და გაუმჯობესების მიზნით მისი ღვინის წარმოების ნარჩენებით ექსტრაქტის დამუშავების შესაძლებლობების გამოკვლევას.

შესწავლილ იქნა ექსტრაქტების ზემოქმედება 1180 კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივის მქონე ცემენტის ხსნარზე და 1890 კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივის დამძიმებული ცემენტის ხსნარზე. ჩატარებული ცდების შედეგების საფუძველზე დადგენილია, რომ ნორმალურ ხსნარში 1, 2, 3, 4 და 5%-ის ექსტრაქტის დამატებით (ცემენტის ხსნარის მოცულობიდან) ხსნარის სიბლანტე და ძვრის სტატიკური ძაბვა (ძსძ) 60 და 600 წამის შემდეგ მკვეთრად მცირდება ტემპერატურის მნიშვნელოვან ინტერვალში. ამასთან, აღნიშნული ნარჩენების ექსტრაქტით პარამეტრების მნიშვნელობების შემცირება მით მეტია, რაც მეტია ექსტრაქტის რაოდენობა ხსნარში.



ნახ. IV. 7. უწყვეტი წინაღდგენის ექსტრატორი.

1 – კორპუსი, 2 – პერფორირებული შნეკები, 3 – მყარი ფაზის ჩასატვრთი, 4 – დამუშავებული ფაზის გამომყვანი, 5 – წყლის მიმწოდებელი, 6 – ექსტრატის გამომყვანი, 7 – გამომწურავი მექანიზმი



სურ. IV. 8. ნორმალური ცემენტის ხსნარების ღვინის წარმოების დამუშავების შედეგები:

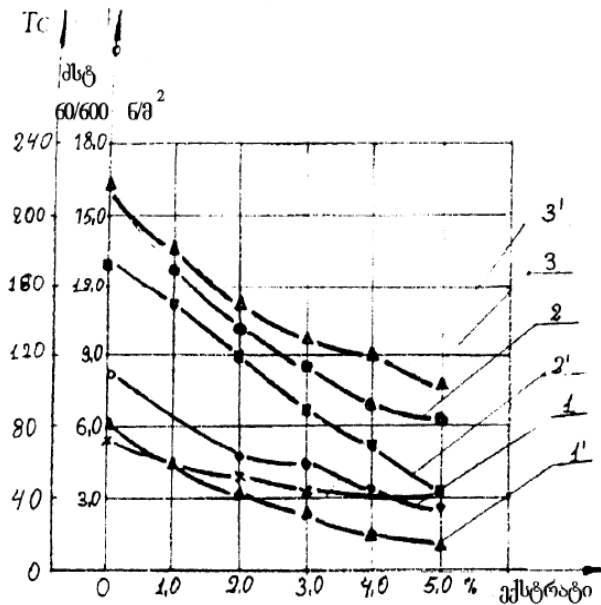
1 – ძსდ 60; 2 – ძსდ 600; 3 – სიბლანტე.



ღვინის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტით ნორმალური ხსნარების დამუშავების შედეგები ნაჩვენებია სურ. IV. 8.

1, 2 და 3 მრუდები შესაბამისად გვიჩვენებს 60 და 600 წმ-ის შემდეგ სტატიკური დაძაბულობის და სიბლანტის შემცირებას ცემენტის ხსნარის მოცულობაში ექსტრაქტის პროცენტული შემცველობის ზრდის შედეგად.

ანალოგიური კვლევები იქნა ჩატარებული დამძიმებული ცემენტის ხსნარების დასამუშავებლად. მიღებული შედეგები მოცემულია სურ. IV. 9. მრუდები 1, 2 და 3 გვიჩვენებს ძვრის სტატიკური დაძაბულობის შემცირებას 60 და 600 წმ-ის შემდეგ დამძიმებულ ხსნარში, ხოლო მრუდები 1', 2' და 3' პარამეტრების შეცვლას 50°C -მდე გაცხელებული ხსნარის მოცულობაში ღვინის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტის პროცენტული ცვლილებების დროს.



სურ. IV. 9. გაუცხელებელი (1-3) და 50°C-მდე გაცხელებული (1'-3')

დამძიმებული ცემენტის ხსნარების ღვინის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტით დამუშავების შედეგები 1 – 1' –მსდ 60; 2 – 2' – მსდ 600; 3 – 3' – სიბლანტე.

მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავამტკიცოთ, რომ ღვინის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი ერთ-ერთი მეტად ეფექტური საშუალებაა სიბლანტის და ძვრის სტატიკური დაძაბულობის მნიშვნელობების შესამცირებლად როგორც ნორმალური, ისე დამძიმებული ცემენტის ხსნარებისათვის. ვინაიდან მეღვინეობა საქართველოში ერთ-ერთი სწრაფად განვითარებადი დარგია, მისი ნარჩენების გამოყენება ქვეყნის ნავთობმომპოვებელ მრეწველობაში ფრიად მიზანშეწონილია.

#### **IV. 2. ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტის კვლევა სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის საწყისის შესანელებლად**

ცემენტის ხსნარის შეკვრის საწყისი დრო საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ დავამზადოთ საჭირო მოცულობის ხსნარი, ჩავტუმბოთ სამაგრი მიღების კოლონაში და გავტუმბოთ მიღვარეშე სივრცეში, სანამ დაიწყებოდეს ცემენტის ხსნარის შეკვრა, ე. ი. უნდა იყოს დენადი ბურღვის სიღრმის ზრდასთან ერთად ნავთობისა და გაზის ჭაბურღილების გამაგრებისას სამაგრი კოლონების სიგრძეებიც მატულობს, რის შედეგადაც იზრდება მიღვარე სივრცის მოცულობები, რომელთა სატამპონაჟო ხსნარით შევსების დროს ხანგრძლივობა დიდდება. ეს კი მოითხოვს ხსნარების შეკვრის საწყისის შენელებას და დენადობის შენარჩუნებას. გარდა ამისა, ქანების თბური ველის ზემოქმედებით სატამპონაჟო პორტლანდცემენტების თვისებები იცვლება. მაღალი სასანგრევო ტემპერატურები იწვევენ ცემენტის ხსნარის შეკვრის დაჩქარებას, შექმნილი ცემენტის ქვის შეღწევადობის გადიდებას და სიმტკიცის შემცირებას. ზემოთაღნიშნულ პირობებში, განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ცემენტების ხსნარის შეკვრის გადიდების რეგულირება. ამ ვადების გახანგრძლივება შეუძლებელია დანამატების გამოყენების გარეშე, ასეთი დანამატების გამოსაძებნად რიგ საზღვარგარეთის ნავთობისა და გაზის სამეცნიერო – საკვლევ ინსტიტუტებსა და ცენტრებში ბოლო ხანებში ჩატარდა სამუშაოები. ასეთი ძებნის შედეგს წარმოადგენს სატამპონაჟო პორტლანდცემენტების შეკვრის ვადების

გაგრძელების შესაძლებლობის გამოვლენა მთელი რიგი ნივთიერებათა ზემოქმედების შედეგად, რომლებიც ეკუთვნიან ქიმიური შენაერთების სხვადასხვა სახეს. [113, 127, 129].

ამ ქიმიური შენაერთების რეაგენტ – შეკვრის შემნელებლების გამოყენების ტემპერატურული პირობები მოყვანილია ცხრ. IV. 5.

შეკვრის ვადების მარეგულირებელი რეაგენტ –შემნელებლების მოქმედების მექანიზმი რთულია და ბოლომდე არაა ნათელი, რაც არ იძლევა შესაძლებლობას შეიქმნას შემნელებლების შერჩევის თეორიულად დასაბუთებული მეთოდიკა.

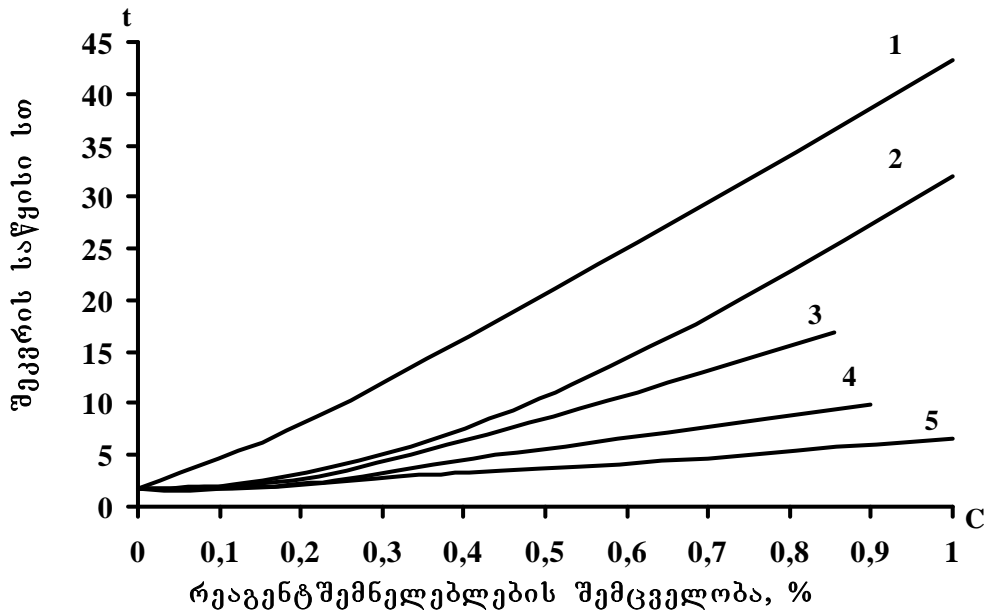
ამა თუ იმ რეაგენტ – შემნელებლების ზეგავლენა პორტლანდცემენტისა და წიდა ცემენტისაგან დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარის შეკვრის ვადების გაგრძელებაზე ნაჩვენებია სურ. IV. 10 გამოკვლევები ჩატარდა 22°C ტემპერატურის დროს პორტლანდცემენტზე და დადგინდა რეაგენტების ეფექტური შემცველობა სატამპონაჟო ხსნარში. ექსპერიმენტები ჩატარდა ლაბორატორიულ პირობებში სატამპონაჟო ხსნარის შეკვრის ვადების განსასაზღვრავი ვიკ-ის ხელსაწყოთა საშუალებით. ჩვენს მიერ რეაგენტ – შემნელებლებად შერჩეული იქნა ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი ПФЛХ, КМЦ, ჰიპანი, სულფანილი.

შეკვრის რეაგენტ – შემნელებლების გამოყენების ტემპერატურული პირობები

ცხრ. IV. 5

ჭაბურღილებში ტემპერატურული პირობები, °C	ცემენტის სახე	რეკომენდირებული რეაგენტები და მათი შერთებები
20 – 75	პორტლანდცემენტი	КМЦ, СДБ, ПФЛХ, ПАА, НЧК, სუნილი, СВК, ეპოქსიდური ფისები, ფურფურული, ჰექსამეტა-ფოსფატი,
75 – 100	- « -	СДБ, ოკზილი, ФХЛС, МА, СВК, Л-7, ПАА, КССБ, ПФЛХ, ფურფუსოლი, სუნილი, КМЦ შარდოვანა, დექსტრინი,
		ჰიპანი, КМЦЭ ОЭЦ, К-4, ოკზილი, ქრომპიკი, СДБ, КССБ, დექსტრინი,

100 – 130	პორტლანდცემენტი და წიდაცემენტი	СДБ+МА, СВК, МА, СВК+СДБ, სუნილი, СДБ+ქრომპიკი, БК, ПФЛХ
130 – 160	წიდაცემენტი	დექსტრინი, КМЦ+ქრომპილი, СДБ+ქრომპილი, МА, ჰიპანი, СВК, ВКК, СДБ+МА, ჰიპანი+ქრომპიკი, ДБФ, БК, ГОГК, МК, ქრომპიკი, ПФЛХ, КССБ, ზორის მჟავა, მეტასი
> 160	- « -	БК+СВК, ТОГК, СВК, ჰიპანი+ქრომპიკი, ოკზილი, ქრომპიკი, ოკზილი+ქრომპიკი, СВК+ქრომპიკი, КССБ, ჰიდროფილური ზან-ები, ტრილონი ნ.



სურ. IV. 10. სხვადასხვა დანამატების ( რეაგენტ – შემნელებლების) გავლენა პორტლანდცემენტის შეკვრის საწყისზე. გამოკვლევები ტარდებოდა 22°C ტემპერატურაზე. 1 – ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი; 2 – ПФЛХ; 3 – КМЦ; 4 – ჰიპანი; 5 – სულფანოლი.

როგორც სურ. IV. 10-დან ჩანს ყველაზე ეფექტურ რეაგენტ – შემნელებელს წარმოადგენს ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი. მისი შემნელებელი ზემოქმედება აიხსნება იმით, რომ ის ცემენტის კლინკერის პროდუქტებთან შეთავსდება მტკიცე მარწუხისებრ კომპლექსებში. ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი წარმოადგენს ბუნებრივ კომპლექსების შემქმნელ რეაგენტს, რომელსაც აქვთ უნარი შექმნას შიგაკომპლექსური შენაერთები. ამრიგად, ის ურთიერთქმედებს ხსნარში შემავალ ალუმინთან და კალციუმთან, როგორც კომპლექსების წარმომქმნელ ცენტრალურ იონთან და ქმნის შიგაკომპლექსურ მარილებს.

ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტებს შეუძლიათ შეთავსდნენ კლინკერის ჰიდრატაციის სხვა პროდუქტებთან და შექმნან ცემენტის მარცვლების ზედაპირზე აფსკი, რომელიც უზრუნველყოფს მათ შემნელებელ მოქმედებას. ასეთი შიდაკომპლექსური მარილების მდგრადობა დამოკიდებულია ციკლების სივრცულ აგებულებაზე: მათში ციკლური შენაერთების წევრთა რიცხვზე, ფუნქციონალური ჯგუფების აქტიურობასა და რაოდენობაზე, რომლებიც შეთავსდება ცენტრალურ იონურ ძალებთან კოვალენტურ, იონურ და კორდინაციულ კავშირებით.

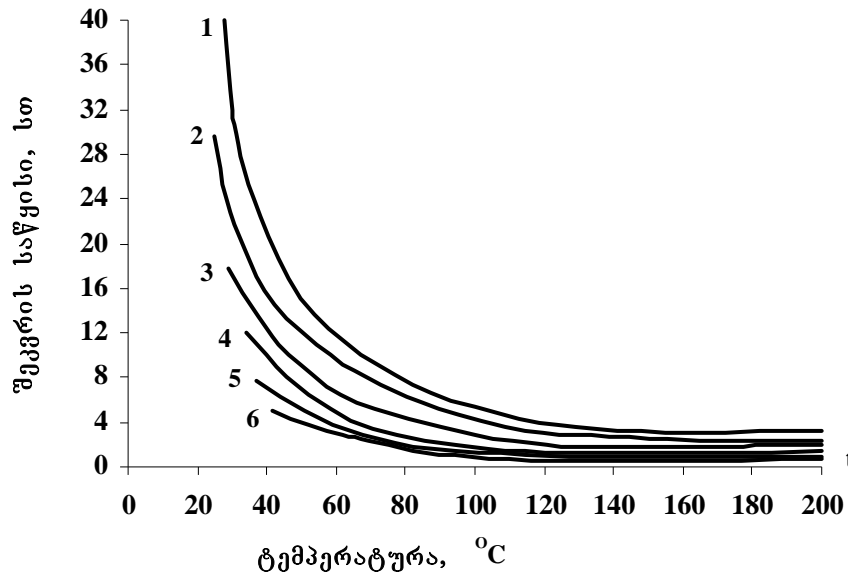
როგორც ცნობილია ყველაზე მდგრადი, თავისუფალი ენერჯის უმცირესი რაოდენობის მქონე კომპლექსურ მარილებს წარმოადგენს ხუთი და ექვსწევრიანი ციკლური შენაერთი.

რადგან ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი შეთავსდება ელემენტების ჰიდრატაციის პროდუქტებთან და შექმნიან მარწუხისებურ შენაერთებს, რომლებშიც შედიან ხუთი და ექვსწევრიანი ციკლები, ამიტომ ყოველივე ეს განსაზღვრავს მათ, როგორც მაღალ ეფექტური შეკვრის შემნელებლებს. ისინი მიეკუთვნებიან პოლიფენოლების ჯგუფს.

ჩვენმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ტემპერატურული პირობების ზემოქმედება ცემენტის ხსნარის შეკვრის საწყის დროზე, როგორც დანამატებთან (რეაგენტ – შემნელებელი) ერთად, ასევე მის გარეშე ატარებს ჰიპორბოლური ფუნქციის ტიპის მრუდხაზოვან ხასიათს (სურ. IV. 11) განშტოებების დახრა და მრუდეების მდებარეობა

მნიშვნელოვან წილად განისაზღვრება შეკვრის მარეგულირებელი დანამატების თერმომდგრადობით. აქედან გამომდინარე შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ რეაგენტ – შემნელებლების გავლენის ხარისხი მათ შემადგენლობებსა და თვისებებზე დამოკიდებულებით სხვადასხვა ტემპერატურის დროს იცვლება. შეკვრის ვადებს სატამპონაჟო ხსნარებისა, რომლებიც განკუთვნილია მაღალი ტემპერატურის მქონე ჭაბურღილების საშუალებით. შედარებით ნაკლები აქტიურობით ახდენს ზეგავლენას ცემენტის ხსნარის შეკვრის შენელებაზე პოლიფენოლური ტყეპიმიური რეაგენტი (ПФЛХ), რომელიც 80 – 100°C და უფრო მაღალი ტემპერატურის დროს კარგავს ცემენტის ხსნარების შეკვრის საწყისის შენელების უნარს და მცირედი აქტიურობით გამოირჩევიან. მაღალი ტემპერატურის პირობებში თითქმის არ აღინიშნება სატამპონაჟო ხსნარების შეკვრის საწყისი ვადების გაგრძელება KMLI-ს და ჰიპანის გამოყენებისას.

პოლიფენოლურ შემნელებლებს მიეკუთვნებიან ბუნებრივი და სინთეტიკური ტანინური პროდუქტები, რომლებიც წარმოადგენენ კოლოიდურ ელექტროლიტებს. ტანინები, რომლებიც შედიან სხვადასხვა მცენარეებში ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ქიმიური აგებულებით და ყველა ისინი არიან ფენოლური ხასიათის მრავალატომიანი შენაერთები. ჭაბურღილების ბურღვისას გამოყენებული სინთეტიკური ტანინები (ПФЛХ, სინტანი, ПЛ, სქელიფისის ფენოლმჟავები და სხვ) მიეკუთვნებიან სულფირებულ პოლიფენოლებს. ყველა ზემოაღნიშნული შენაერთი შეიცავს ფენოლურ ჰიდროჟანგეულს, რის გამოც ისინი წარმოადგენენ მარწუხისებური კომპლექსშემქმნელ ნივთიერებებს. ამრიგად, სატამპონაჟო ხსნარის შეკვრის შენელების ეფექტი ხორციელდება იმ პროცესების შედეგად, რომელიც მიმდინარეობს ფაზების გაყოფის ზედაპირზე ცემენტის ნაწილაკებისა და რეაგენტ – დანამატებს შორის და განპირობებულია ალუმინატების შეკავშირებითა და ჰიდრატაციის პროდუქტებზე დამცავი აპკებისა და ადსორბციული შრეების წარმოქმნით, რომლებიც შეკავებულია ვანდერ – ვაალსის ძალებით.



სურ. IV. 11. რეაგენტ – შემნელებლების ზემოქმედება პორტლანდცემენტისა

და წიდიანი ცემენტის შეკვრის საწყის დროზე. წნევა შეადგენს 100 კგ/სმ<sup>2</sup>.

1 – ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი; 2 – ПФЛХ; 3 – КМЦ;

4 – ჰიპანი; 5 – სულფანოლი; 6 – წიდიანი ცემენტის შეკვრა დამატების

გარეშე

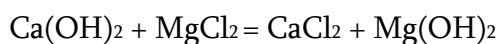
#### IV. 3. მაგნიტური დამუშავების გავლენა სატამპონაჟო ნარევის კოროზიამდეგობაზე

პორტლანდცემენტის კოროზია ცემენტის ხსნარის და ქვის კოროზიის ერთ-ერთი მთავარი მიზეზია. პორტლანდცემენტის კოროზიას იწვევს წყლის და აირების აგრესიული მოქმედება. რიგი დამახასიათებელი ნიშნების მიხედვით არჩევენ კოროზიის შემდეგ სამ სახეს.

I სახის კოროზიას ადგილი აქვს მტკნარი წყლის ზემოქმედების დროს, როდესაც ცემენტის ქვის შემადგენელი იხსნება და თან გააქვს წყალს. მტკნარ წყალში გახსნისავენ განსაკუთრებული მიდრეკილება აქვს კალციუმის ჟანგის ჰიდრატს, რომელიც გამოიყოფა სამკალციუმიანი სილიკატის ჰიდროლიზის დროს. ცემენტის ქვიდან  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის გახსნა და

გამოტანა იწვევს ახალი ულუფის დაშლას, რასაც თანდათან მოყვება ცემენტის ქვის რღვევა.

II სახის კოროზიას ადგილი აქვს ისეთი წყლების მოქმედების დროს, რომლებიც შეიცავენ ცემენტის ქვასთან რეაქციაში შემსვლელ ნაერთებს. ამ დროს წარმოშობილი რეაქციის პროდუქტები ან ადვილად ხსნადი არიან და მიყვებიან წყალს, ან გამოიყოფიან მჭიდი თვისებების არმქონე ამორფული მასის სახით. ასეთი სახის კოროზიის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ მაგნიუმის მარილების შემცველი წყლების მოქმედება ცემენტის ქვაზე



პორტლანდცემენტის გამყარების დროს გამოყოფილი კალციუმის ჟანგის ჰიდრატის და მაგნიუმის ქლორიდის ურთიერთქმედების დროს წარმოიქმნება კალციუმის ქლორიდი, რომელიც ძალიან კარგად იხსნება წყალში და ადვილად გაიტანება წყლის მიერ და მაგნიუმის ჟანგის ჰიდრატი, რომელიც წარმოადგენს ამორფულ ნალექს.

III სახის კოროზია წარმოიქმნება ცემენტის ქვის ფორებში ისეთი ნაკლებხსნადი მარილების წარმოქმნით, რომლებიც შემდეგ გამოკრისტალდებიან მოცულობის გადიდებით. ამ დროს ისინი არღვევენ ფორების კედლებს, ვინაიდან ისინი ეწინააღმდეგებიან მათ კრისტალიზაციას. ამ სახის კოროზიის ტიპური მაგალითია ცემენტის ქვაზე სულფატური წყლების ზემოქმედება. გოგირდმჟავა კალციუმი, ურთიერთქმედებს რა სამკალციუმიან ალუმინატთან წარმოქმნის კალციუმის ჰიდროსულფატ – ალუმინატს, რომელიც კრისტალდება წყლის 31 მოლეკულასთან და მოცულობაში იმატებს 2,5-ჯერ. კალციუმის ჰიდროსულფატალუმინატის წარმოქმნა იმდენად სახიფათოა ცემენტის ქვისათვის, რომ მას ზოგჯერ «ცემენტის ბაცილასაც» უწოდებენ.

მჟავა და ტუტე სითხეების გავლენა ცემენტის ქვაზე სხვადასხვანაირია. მჟავა წყლები დაბალი კონცენტრაციის დროსაც კი ავლენენ აგრესიულ თვისებებს, მჟავას  $\text{Ca(OH)}_2$ -თან აქტიური რეაქციის შედეგად. სუსტი ტუტეები ვერ ახდენენ უარყოფით



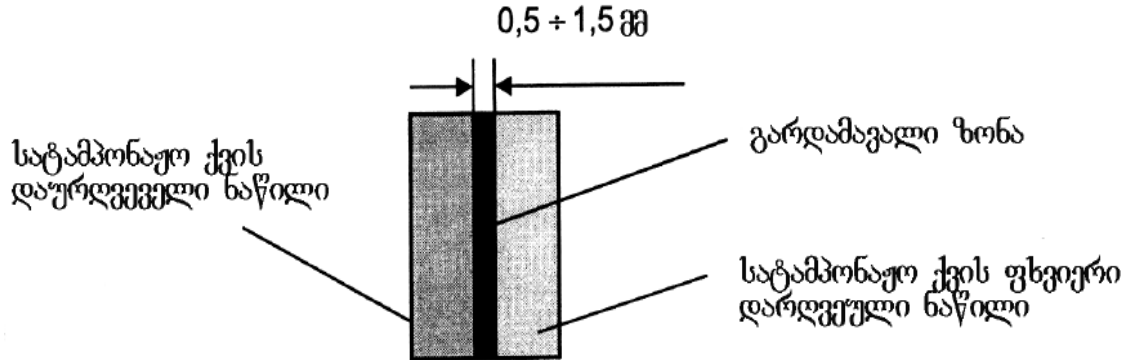
გავლენას ცემენტის ქვაზე, მაგრამ ტუტის კონცენტრაციის მატების შედეგად იწყება კაჟმიწის ( $\text{SiO}_2$ ) გახსნა, რაც ცემენტის ქვის რღვევას იწვევს.

ცემენტის ქვის ნიმუშებზე კოროზიული პროცესების შესწავლის დროს მკვლევართა ყურადღება ძირითადად მიპყრობილი იყო მასალის პირველადი სტრუქტურის კვლევაზე და სხვადასხვა ფაქტორების გავლენით მის ცვლილებებზე. ამავე დროს არ იყო გათვალისწინებული, რომ აგრესიული ნივთიერებების ზემოქმედების პროცესში ნიმუშის პირველადი სტრუქტურა ან მთლიანად ირღვევა (კოროზიის I და II სახე) ან მნიშვნელოვნად იცვლება (კოროზიის III სახე). მრავალი ავტორის სამუშაოებში [115, 116, 117] აღნიშნულია, რომ საექსპლოატაციო ჭაბურღილების, მათ შორის სამაგრი მილების და ცემენტის ქვის კოროზია დამოკიდებულია სულფატალმდგენელი და სხვა ბაქტერიების მოქმედებაზე. ეს კი თავის მხრივ იწვევს ჭაბურღილში წყლის ნაადრევ დაშლას, ჭაბურღილის ექსპლუატაციის გართულებას და ფენებიდან ნავთობის მოპოვების შემცირებას.

მიკროორგანიზმების ზემოქმედების უარყოფითი გავლენის შესამცირებლად ჩატარებული ღონისძიებების უმრავლესობა მიმართულია ჭაბურღილის შიგნით არსებული დანადგარების კოროზიის ინგიბიტორებით დამუშავებისაკენ [116, 117] მაგრამ შრეებთან უშუალო კონტაქტშია ჭაბურღილის სამაგრი კოლონები, რომელიც შეიცავს სისტემას: სამაგრი მილები – ცემენტის ქვის და კონტაქტური ზონის ტექნოლოგიურ გაერთმთლიანებას.

სატამპონაჟო ქვის ფენებში მიკროორგანიზმების შეღწევის პირველ წყაროდ ითვლებიან: საბურღი ხსნარის ფილტრატი, ტექნოლოგიური სითხეები და შრეებში ჩაჭირხნული წყალი გამყარების მომენტში. ფოროვანი წნევის დაწევის სტადიაზე, სიმტკიცის მატების დაწყებისას [118, 119]. სურ. IV. 12. მოცემულია ცემენტის ქვის რღვევის სქემა. ლუნვაზე გამოცდის შემდეგ ნიმუშების ჭრის სიბრტყეში მოჩანს სამი ფენა: ზემოქმედების გარეთა მხრიდან მურა ფერის ფხვიერი დარღვეული ნაწილი, შავი ფერის გარდამავალი ნაწილი, სისქით 0,5 – 1,5 მმ და მთლიანი ნაწილი. გარდამავალი ზონა

მტკიცედ არის დაკავშირებული ცემენტის ქვის მთლიან ნაწილთან და ადვილად სცილდება დარღვეულ ფხვიერ ფენას.



სურ. IV. 12. ჭაბურღილში ცემენტის ქვის ბიოქიმიური კოროზიის გამარტივებული სქემა

შესწავლილი იქნა სატამპონაჟო ხსნარის მაგნიტური დამუშავების გავლენა ცემენტის ქვის კოროზიამდეგობაზე. მაგნიტური დამუშავების ხელსაწყო და მისი პარამეტრები აღწერილი იყო თავში. მაგნიტური ველით დამუშავების მექანიზმი დაფუძნებულია ცემენტის ხსნარში რკინის შემცველი ნაწილაკების (დაახლოებით 5%) აქტივაციაზე და დისპერგირებაზე, ხსნარიდან ჰიდროსილიკატების კრისტალების ზრდის ცენტრების დამატებითი რაოდენობის შექმნაზე და ამის შედეგად ქვის წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის ჩამოყალიბებაზე. ეს ნაწილაკები ამრავლებენ ჰიდროსილიკატების ცენტრების რიცხვს და შესაბამისად აუმჯობესებენ ხსნარის მატამპონირებელ თვისებებს. საერთო ჯამში კი იზრდება დაცემენტების ხარისხი.

ცხრ. IV. 6. მოყვანილია ლაბორატორიულ პირობებში პორტლანდცემენტის ПЦТ 11 – 50,  $\nabla/\text{ც} = 0,5$  ფარდობისას და ჩვენს მიერ შემუშავებული დანამატით მიღებული სატამპონაჟო ნარევის თვისებებზე მაგნიტური დამუშავების გავლენა. ნიმუშების გამოცდა

წარმოებდა ხელსაწყოზე KII – 3, t = 50°C ტემპერატურის და P = 15 მპა წნევის პირობებში. მაგნიტური დამუშავება წარმოებდა III თავში აღწერილი ხელსაწყოს საშუალებით.

ცხრ. IV. 6

მაგნიტური დამუშავების გავლენა სატამპონაჟო ხსნარის და ცემენტის ქვის ფიზიკო - მექანიკურ თვისებებზე

ცემენტის ტიპი ნიმუშის ზომა	სიმკვრივე გრ/სმ <sup>3</sup>		დენადობა, სმ		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა		სტაბილუობა %	
	არამაგნიტ	მაგნ. დამუშ.	არამაგნიტ	მაგნ. დამუშ.	არამაგნიტ	მაგნ. დამუშ.	არამაგნიტ	მაგნ. დამუშ.
ПЦТ 11 – 50 Ø 18 20x20x100	1,72 1,72	1,80 1,80	15,5 14,0	15,5 14,0	6,15, 24,40	6,36 25,1	95	100
შემსუბუქებული ცემენტი Ø 18 20x20x100	1,55 1,55	1,62 1,62	20 20	20 20	4,65 14,45	4,92 20,75	90	100

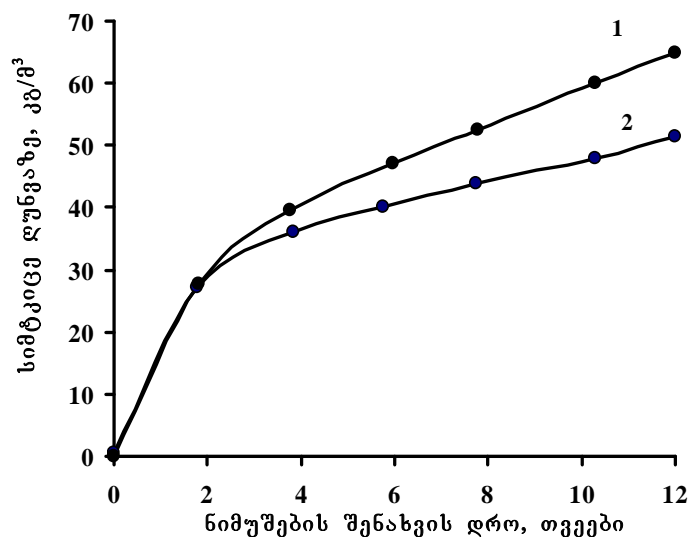
მაგნიტური დამუშავებით მიღებული და ჩვეულებრივი ცემენტის ხსნარების შედარება აშკარად გვიჩვენებს მათ შორის არსებულ განსხვავებას. ჩვეულებრივ ცემენტის ხსნარს სითბოს ინტენსიური გამოყოფის დროს და სტრუქტურის წარმოქმნის სიჩქარის გადიდებისას უნვითარდება მსხვილმარცვლოვანი დენდრიტული სტრუქტურა. მაგნიტური დამუშავებით მიღებულ ცემენტის ხსნარში, მასში უფრო წვრილი და მრავალრიცხოვანი კრისტალიზაციის ცენტრების და ერთგვაროვანი სტრუქტურის წარმოქმნის გამო დენდრიტული სტრუქტურის წარმოქმნა არ ხდება.

ცხრ. IV. 6. ჩანს, რომ მაგნიტური დამუშავება რამდენადმე ადიდებს სატამპონაჟო ხსნარების სიმკვრივეს და ამის შედეგად ცემენტის ქვის სიმტკიცეს. ეს ხდება მაგნიტური

დამუშავების სედეგად უფრო ერთგვაროვანი და წვილმარცვლოვანი სტრუქტურის წარმოქმნის ხარჯზე. ხსნარის სტაბილურობა 100%-ს შეადგენს ე. ი. სედიმენტაციურ წყალგაცემად ადგილი არ აქვს.

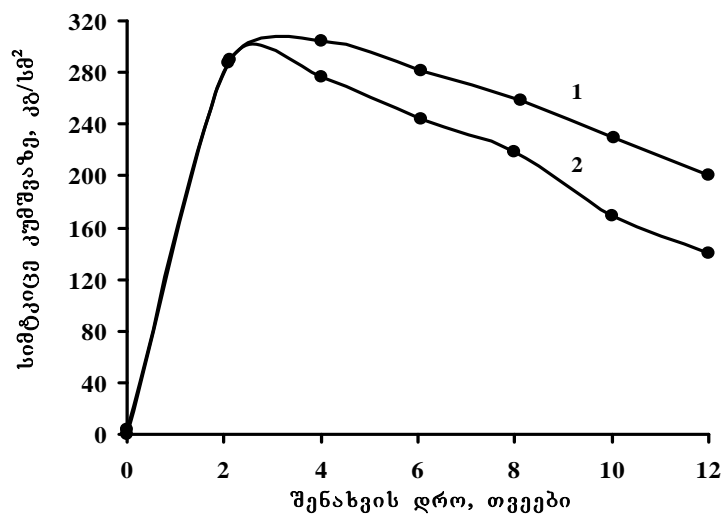
ვინაიდან ჭაბურღილის საექსპლოატაციო პერიოდი 10 – 20 და მეტ წელს შეიცავს ამიტომ ცხადია, რომ კოროზიული მედეგობის კვლევის მეთოდები დაჩქარებული უნდა იყოს. კოროზიის პროცესის დასაჩქარებლად იყენებენ ორ მეთოდს: 1 - ბუნებრივთან შედარებით რამდენჯერმე იზრდება აგრესიული არის კონცენტრაცია; 2 – დიდდება ნიმუშის მორეაგირე ზედაპირი. ხშირად ხდება ორივე მეთოდის შერწყმა. აგრესიულ გარემოდ ხშირად შეირჩევა  $MgSO_4$ -ის 3%-იანი ხსნარი, რომელიც იწვევს როგორც მატერიალურ, ისე სულფატურ კოროზიას.

შემუშავებული შემსუბუქებული 1,42 – 1,52 გრ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის ცემენტის ხსნარებიდან მზადდებოდა 1,1x4x16 სმ ზომის პრიზმები და 2x2x2 სმ ზომის კუბები. ხსნარის ნახევარს უტარდებოდა მაგნიტური დამუშავება, მეორე ნახევარი კი ჩვეულებრივ მდგომარეობაში იმყოფებოდა: ორივე ნახევრიდან დამზადებულ ნიმუშებს ვათავსებდით მჭიდროდ თავდახურულ ექსიკატორში,  $MgSO_4$ -ის 30%-იან ხსნარში. ხსნარის მოცულობის ფარდობა ნიმუშების მოცულობასთან იყო 5:1. ექსიკატორში ხსნარს ყოველ ორ კვირაში ვცვლიდით. ვადის გასვლის შემდეგ ნიმუშებს ვცვდიდით როგორც ღუნვაზე, ისე კუმშვაზე. კვლევების შედეგები მოცემულია სურ. IV. 13 და IV. 14 როგორც დიაგრამებიდან ჩანს, აგრესიულ გარემოში ყოფნის ორი თვის შემდეგ ნიმუშების სიმტკიცე ღუნვაზე და კუმშვაზე მაგნიტური ველით დამუშავებულ ხსნარში ყოფნით მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივ ხსნარში. ეს ერთხელ კიდევ ადასტურებს იმას, რომ სატამპონაჟო ხსნარის მაგნიტური დამუშავება ეფექტურ გავლენას ახდენს მის როგორც ფიზიკო – მექანიკურ თვისებებზე, ასევე კოროზიულ მედეგობაზე. თვალსაჩინოა აგრეთვე მაგნიტური დამუშავების გავლენა ცემენტის ქვის მიკროსტრუქტურაზე. ცემენტის ხსნარის მაგნიტური დამუშავებით მიღებული ცემენტის ქვის მიკროსტრუქტურა გაცილებით უფრო წვრილმარცვლოვანია, რაც ჩვენი აზრით ძირითადად გამოწვეულია ხსნარში არსებული რკინის ნაერთების დაშლა – დაწვრილმანებით. სურ. IV. 15.



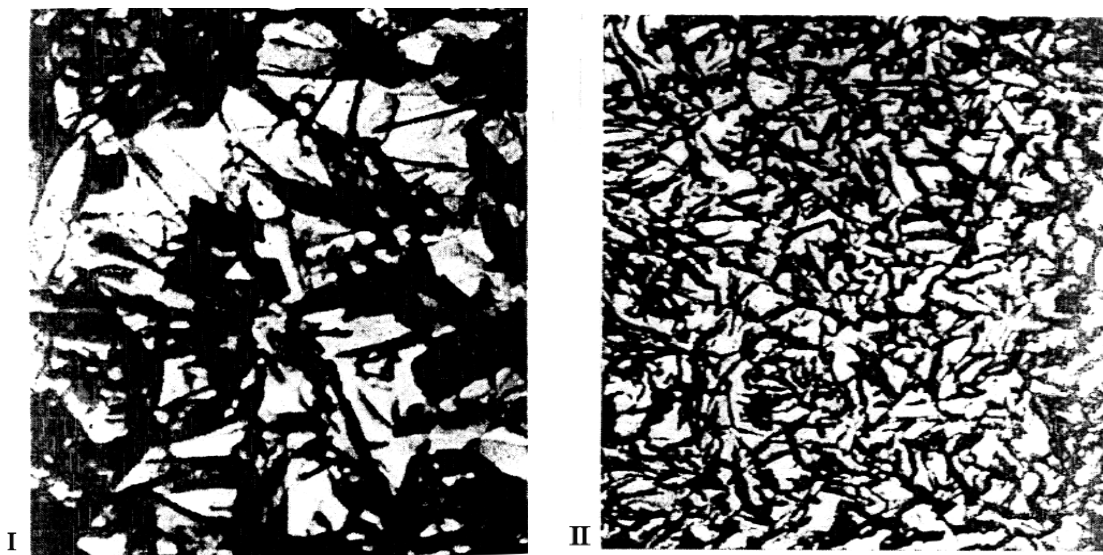
სურ. IV. 13. შემუშავებული სატამპონაჟო ნარევის ცემენტის ქვის სიმტკიცის ცვლილება ღუნვაზე, შენახვის დროისგან დამოკიდებულებით.

1 – მაგნიტური დამუშავებით; 2 – ჩვეულებრივი.



სურ. IV. 14. შემუშავებული სატამპონაჟო ნარევის სიმტკიცის ცვლილება კუმშვაზე, შენახვის დროისგან დამოკიდებულებით.

1 – მაგნიტური დამუშავებით; 2 – ჩვეულებრივი.



სურ. IV. 15. სატამპონაჟო ქვის მიკროსტრუქტურა (გადიდება x 1000)

I – ჩვეულებრივი; II – ცემენტის ხსნარის მაგნიტური დამუშავებით.

#### IV. 4. ცემენტის ქვის დინამიკური დეფორმირების მათემატიკური მოდელი

ჭაბურღილის აგების მნიშვნელოვანი მომენტია ჭაბურღილის ლულის დამაგრება სამაგრი კოლონით და ჭაბურღილის კედლებსა და სამაგრ კოლონას შორის არსებული სივრცის ცემენტის ხსნარით შევსება. ნავთობის ჭაბურღილის მიღებულ სამაგრზე მოქმედებს სხვადასხვა დინამიკური დატვირთვები, რომლებიც ძირითადად მოდებულია დაცემენტებული სამაგრი კოლონის შიგა ზედაპირზე. დატვირთვა ხდება ჭაბურღილის გაგანივრების მიზნით, მასზე ინტენსიური აფეთქებითი სამუშაოების ჩატარების დროს. ამ დროს გამოყენებული მძლავრი პერფორატორები მუშაობისას იყენებენ აფეთქების ენერგიას სამაგრის პერფორაციის მიზნით. ამ ენერგიის მნიშვნელოვანი ნაწილი (50 – 80%), გარდა სასარგებლო მუშაობისა (სამაგრში პერფორაციული ნახვრეტების შექმნა),

ზემოქმედებს სამაგრი კოლონის ცემენტის გარსაცმზე და შემდეგ ქანებზე დარტყმითი ტალღების სახით.

ამასთან დაკავშირებით, მეტად აქტუალურია ჭაბურღილის სამაგრის შემდგენებისა და ქანებზე მოცემული დარტყმითი დინამიკური დატვირთვის ზემოქმედებით აღძრული ძაბვებისა და დეფორმაციების განსაზღვრის ამოცანა.

ჭაბურღილში მიმდინარე მაღალი სიჩქარით დატვირთვის პროცესის უშუალო გაზომვა ან მათი მოდელირება ლაბორატორიულ პირობებში დიდ ტექნიკურ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია დარტყმითი დინამიკური დატვირთვის ქვეშ მყოფი ჭაბურღილის სამაგრის და გარემომცველი ქანების მათემატიკური მოდელი.

მოდელში განიხილება ვერტიკალური ცილინდრული გვირაბის ნაწილი, რომელიც შედგება ლითონური სამაგრი მილის, მილგარეშე ცემენტის რგოლის და გარემომცველი ქანებისაგან. ვვარაუდობთ, რომ სამაგრი მილის შიგა ზედაპირზე მოქმედებს რაღაც დერძსიმეტრიული წნევა.

ლაგრანჟის ცვლადების დიფერენციალური განტოლებების სისტემას კერძო წარმოებულებში, რომელიც აღწერს ჭაბურღილის სამაგრის და გარემომცველი ქანების დაძაბულ – დეფორმირებულ მდგომარეობას შემდეგი სახე აქვს:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial \omega}{\partial z} + \frac{u}{r} = 0$$

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial \rho}{\partial r} + \frac{\partial S_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial S_{rz}}{\partial z} + \frac{S_{rr} - S_{\theta\theta}}{r}$$

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} = - \frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\partial S_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial S_{rz}}{\partial r} + \frac{S_{rz}}{r}$$

$$\frac{\partial r}{\partial t} = u, \quad \frac{\partial Z}{\partial t} = \omega$$

$$\frac{\partial S_{rr}}{\partial t} = 2\mu \left( \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{1}{3\rho} \frac{\partial P}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial S_{rz}}{\partial t} = 2\mu \left( \frac{\partial \omega}{\partial z} + \frac{1}{3\rho} \frac{\partial P}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial S_{\theta\theta}}{\partial t} = 2\mu \left( \frac{v}{r} + \frac{1}{3\rho} \frac{\partial P}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial S_{rz}}{\partial t} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial r} \right)$$

სადაც  $\rho$  გარემოს სიმკვრივეა;  $v$ ,  $\omega$  - სიჩქარის ვექტორის კომპონენტებია კოორდინატების (გვირაბის რადიუსზე) და (ჭაბურღილის სიმეტრიის ღერძი) ღერძების პროექციაში;  $P$ - წნევა;  $\mu$ - ძვრის მოდული;  $t$ - დრო.

ძაბვის ტენზორი ჩაწერილია სფერული და დევიატორული შემდგენების დაშლის სახით:

$$\sigma_{ij} = -P\delta_{ij} + S_{ij} \quad (I = \hat{1}, 3; j = \hat{1}, 3),$$



3

სადაც,  $P = 1/3 \sum \sigma_{ij}$  ძაბვის სფერული, ჰიდროსტატიკური შემდგენია;

$$i=1$$

$S_{ij}$  – ძაბვის დევიატორული შემდგენი;  $\Theta_{ij}$  – კრონკერის სიმბოლო,

$$\Theta_{ij} = \begin{cases} 1, I = j \\ 0, I \neq j \end{cases}$$

ვთვლით, რომ ძაბვები გაჭიმვის დროს დადებითია და შეკუმშვის დროს უარყოფითი.

განტოლებათა სისტემა აღწერს ცილინდრილური ვერტიკალური გვირაბის, ფოლადის სამაგრი კოლონის და მილისგარე ტამპონაჟური ქვის დრეკად მოქმედებას კოლონის შიგნით აფეთქებითი იმპულსის მოქმედების დროს.

დრეკადობის ზღვარს ზემოთ დაძაბულ – დეფორმირებული მდგომარეობის გაანგარიშებისათვის ვიყენებთ მიზესის კრიტერიუმს

$$S^2_{rr} + S^2_{zz} + S^2_{bb} + 2S^2_{rz} \leq 2/3Y^2_0$$

გარემოს მდგომარეობის განტოლება არჩეულ იქნა შემდეგი სახით:

$$P = -K \ln(\rho/\rho_0),$$

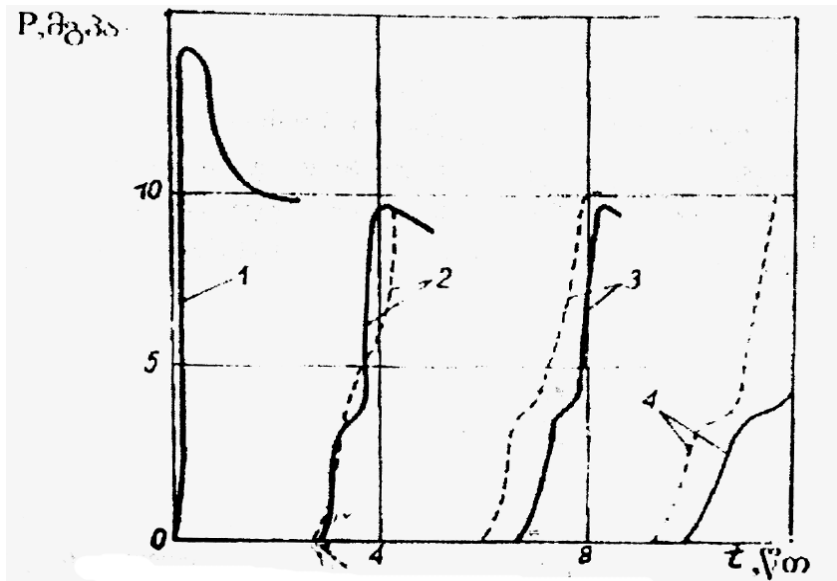
სადაც  $\rho_0$  გარემოს საწყისი სიმკვრივეა;  $\rho$  – მიმდინარე სიმკვრივე;  $K$  – მასალის მოცულობითი სიმკვრივის მოდული.

განტოლებათა მოცემულ სისტემაზე საწყისი და სასაზღვრო პირობების დამატებით და მისი ამოხსნით გვექნება სრული ინფორმაცია სამაგრის ან გარემომცველი ქანის ყოველ წერტილში ძაბვების, დეფორმაციების, სიჩქარეების და გადაადგილებების შესახებ დროის სასურველ მომენტში. ამ ინფორმაციის საფუძველზე შეიძლება სხვადასხვა მასალის რღვევისა და დასკდომის პროგნოზირება დინამიკური დატვირთვის დროს.

მოცემული სისტემების სირთულის გამო, მის ამოსახსნელად იყენებენ რიცხვით სასრულ – სხვაობით მეთოდს. ამ სისტემის ამოხსნის უფრო გასამარტივებლად ჩვენ მიერ გამოყენებულ იქნა დრეკად – პლასტიკური მეთოდი.

დინამიკური დატვირთვისას ცემენტის ქვის და ქანების ტიპის მასალებისათვის, დრეკად – პლასტიკური მეთოდის გამოყენების მართებულობის შესამოწმებლად, ჩატარებულ იქნა შემოთავაზებული მეთოდით მიღებული შედეგებისა და მარმარილოს ბლოკის აფეთქებითი დატვირთვის ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგების შედარება (მარმარილოს ცემენტის ქვის ანალოგიური მექანიკური თვისებები აქვს).

მოქმედი დატვირთვები გათვლებსა და ექსპერიმენტებს შორის 5%-ს არ აღემატება.



სურ. IV. 16. მარმარილოს ბლოკის სხვადასხვა წერტილებში დაძაბული მდგომარეობა აფეთქებით დატვირთვის დროზე დამოკიდებულებით -----ექსპერიმენტალური მონაცემები; - - - - - გაანგარიშებული მრუდები; 1 – დატვირთული ზედაპირი; 2, 3, 4 – დატვირთული ზედაპირიდან 0,01, 0,021, 0,031 მ-ით დაშორებული წერტილები .....

მოცემულ სურათზე საკმარისი სიზუსტითაა აღწერილი მარმარილოში დარტყმითი ტალღის ორფრონტიანი სტრუქტურა. ეს ყველაფერი ადასტურებს აფეთქებით დატვირთული ცემენტის ქვის და გარემომცველი ქანის ტიპის მყიფე მასალებისათვის დრეკად – პლასტიკური მოდელის სისწორეს.

#### IV. 4. 1. ცემენტის ქვის ადგეზიის განსაზღვრა

ჭაბურღილის დაცემენტებისას ცემენტის ქვა კარგად უნდა იყოს შეჭიდებული სამაგრ კოლონასთან და ჭაბურღილის კედლებთან. ცემენტის ქვას, რომ ჰქონდეს მაღალი შეჭიდების უნარი, სატამპონაჟო ხსნარს უნდა ჰქონდეს მაღალი დასველებისა და კოლმოტაციის უნარი და მისი გამაგრების შედეგად მიიღება ადგეზიური თვისებების მქონე ცემენტის ქვა.

ადგეზია ეს არის კავშირი ან ურთიერთქმედება ორი სხვადასხვა სახის კონტაქტში მყოფ სხეულების ზედაპირებს შორის. ამრიგად, ადგეზია არის «შეწებება» ეს არის პროცესი, რომელიც იწვევს სხეულების დაახლოებას და მათ შორის შეკავშირების დამყარების ეს მოვლენა წარმოჩინდება კონტაქტში მყოფი მყარი სხეულების ზედაპირებს შორის. ადგეზიის ძალა ფასდება ერთი სხეულის მეორისაგან მოწყვეტით. ეს ძალა შეიძლება განისაზღვროს უშუალოდ ექსპერიმენტის საშუალებით [128].

სითხის ადგეზიის მუშაობა გამოითვლება შემდეგი ტოლობით:

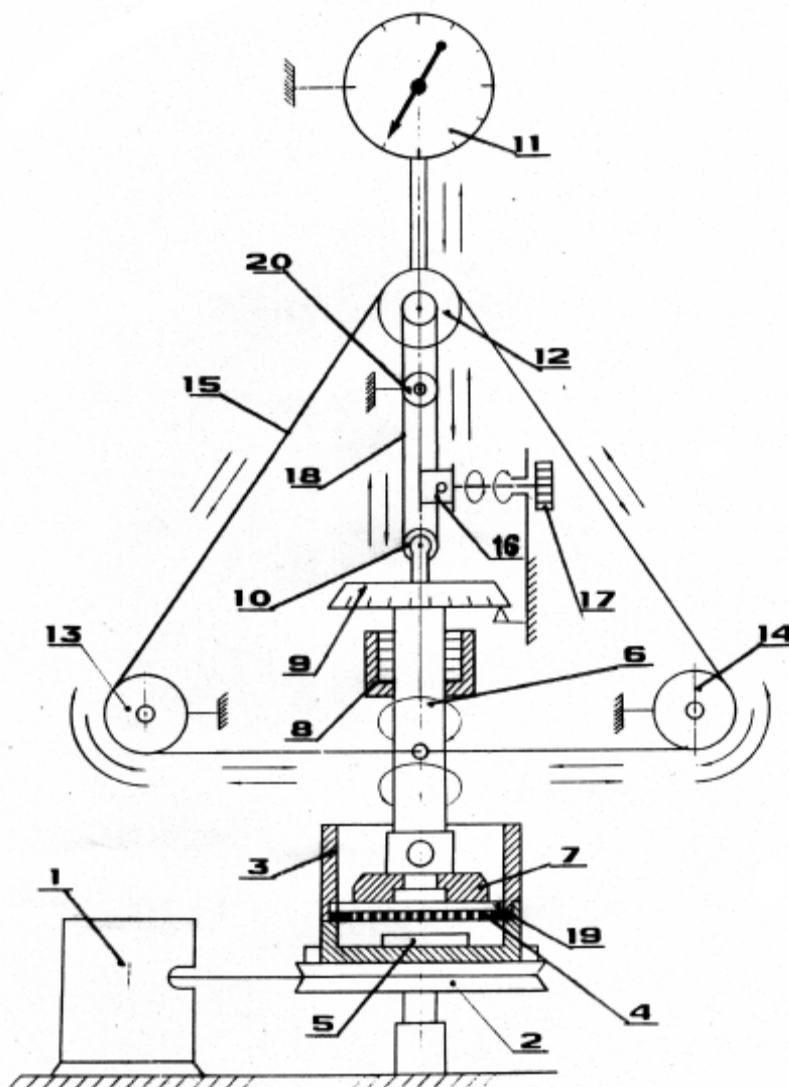
$$W_s = \sigma_t (1 + \cos \Theta)$$

სადაც,  $\sigma_t$  – სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა;

$\Theta$  - მყარი ზედაპირის დასველების კიდურა კუთხე.

ჩვენს მიერ სატამპონაჟო ხსნარის გამაგრებისას მიღებული ცემენტის ქვის ადგეზიის ძალის განსაზღვრა წარმოებს ხახუნის ძაბვებისა და კონტაქტური წებვადობის (ადგეზიის) განმსაზღვრელი მოწყობილობის დახმარებით (სურ. IV. 17).

კონტაქტური წებვადობის გაზომვა წარმოებს 7 ეტალონური რგოლის მოწყვეტის მეთოდით 19 გამოცდის ობიექტიდან, რაც წარმოებს 16 ჯალამბარის დახმარებით, რომელიც 17 მქნევარას ბრუნვისას მოჭიმავს ჩაკეტილ 18 ძალოვან სიმს და მოიყვანს წინსვლით მოძრაობაში 11 დინამომეტრის 12 ძალოვან ბლოკს.



სურ. IV. 17. ხახუნის ძაბვისა და კონტაქტური წებვადობის (ადგეზიის) საზომი ხელსაწყო.

1 – ძრავა; 2 – მაგიდა; 3 – ცილინდრული ჭიქა; 4 – საკონტაქტო დისკი; 5 – გამაცხელებელი ელემენტი; 6 – ლილვი; 7 – საზომი რგოლი; 8 – დოლი; 9 – გრადუირებული ლიმბი; 10 – გორგოლაჭი – საკიდი; 11 – დინამომეტრი; 12 – ბლოკი; 13, 14 – გორგოლაჭი; 15, 18 – ძალოვანი სიმი; 16 – ჯალამბარი; 17 – მქნევარა; 19 – საცდელი ობიექტი; 20 – გორგოლაჭი.

სატამპონაჟო ხსნარს ჩავასხამთ ჭიქაში 3 და დავახურავთ ეტალონურ რგოლს. მას შემდეგ რაც სატამპონაჟო ხსნარი გამაგრდება ცემენტის ქვად ეტალონურ რგოლს 7 მოვწყვიტავთ ცემენტის ქვისგან ზემოთაღწერილი მოწყვეტის მეთოდით.

ცემენტის ქვას, რომ ჰქონდეს მაღალი ადგეზიური ძალები, ჩვენს მიერ შემუშავებული რეცეპტურის მიხედვით პორტლანდცემენტისაგან დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარი დამუშავებული იქნა შემდეგი დანამატებით:

ალუმოსილიკატური მიკროსფეროები – 5 – 10%

პოლიმერული დანამატი სულფოცელი – 0,3 – 0,5%

სულფანოლი - 1%

ალუმოსილიკატები მიკროსფეროები სატამპონაჟო ხსნარს დაემატება შემავსებლების სახით, პოლიმერული დანამატი სულფოცელი ქმნის სამაგრ კოლონის კედელსა და ჭაბურღილის ლულის ზედაპირზე პოლიმერულ აფსკს, რომელიც ემსახურება სატამპონაჟო ქვის შეჭიდულობის გაზრდას სამაგრ კოლონისა და ჭაბურღილის კედლებზე. ამავე პროცესს აძლიერებს სულფანოლი. მისი დამატებით საგრძნობლად იზრდება სატამპონაჟო ხსნარის დასველებადობის უნარი.

შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარის დასველებადობა განისაზღვრება დასველების კიდურა კუთხით  $\Theta$ . ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტების სერია მინის ზედაპირზე ხსნარის დასველების კიდურა კუთხის  $\Theta$  გასაზომად.

#### დასველების კიდური კუთხის გაზომვა

დასველების კიდურ კუთხეს, რომელიც შედის ადგეზიის და დასველების მუშაობის გამოსათვლელ ფორმულაში პოლულობენ მყარ ზედაპირზე დაწვეთებული სითხის წვეთის ძირითადი ზომების  $h$  სიმაღლისა და ფუძის უდიდესი  $d$  დიამეტრის მიხედვით (სურ. IV. 18)

$$\cos \Theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{d^2}$$

$$(d/2)^2 + h^2$$

როდესაც  $d/2 < h$  სარგებლობენ უფრო მარტივი ფორმულით

$$\cos \Theta = 1 - \frac{h}{d/2}$$

წვეთის  $h$  და  $d$  პარამეტრები გაიზომება დანადგარის საშუალებით (სურ. IV. 19), რომლის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს კატეტომეტრი (KM – 6 –ის ტიპის), საზომი უჯრედი – კიუვეტი და გასანათებელი მოწყობილობა, რომელიც უზრუნველყოფს წვეთისა და საკვლევი ზედაპირების კონტრასტული გამოსახულების მიღებას.

გაზომვები ჩატარებული იქნა შემდეგნაირად. საზომ უჯრედ – კიუვეტს 8 აყენებენ მეტალურ დამჭერზე 9. 16 ქვესადგომზე უჯრედში ათავსებენ საცდელ ფირფიტას და 13 ტრანსფორმატორის ტუმბლერის მობრუნებით რთავენ 12 განმანათებლის ნათურას. ნათურა უნდა ჩაირთოს მხოლოდ გაზომვების დროს. დახრახნიან 2 ხრახნს კატეტომეტრის 4 ურიკის უკანა მხარეს და ურიკას აყენებენ იმნაირად, რომ 6 ობიექტივი იმყოფებოდეს მიახლოებით ფირფიტის დონეზე. 2 ხრახნის საზომი ურიკის დამაგრების შემდეგ 1 მიკრომეტრული ხრახნის დახმარებით უფრო ზუსტად აყენებენ 5 დასანახ მილს ვერტიკალურად, ამის შემდეგ 7 მაფოკუსირებელი ხრახნის გადაადგილებით იმოძრავებს 9 დამჭერიწინ და უკან, აგრეთვე 10 ხრახნის საშუალებით ის გადაადგილდება მარჯვნივ ან მარცხნივ, რის შედეგად მიიღება 3 ოკულარ – მიკრომეტრში ფირფიტის პროფილის მკვეთრი გამოსახულება, შემდეგ კიუვეტის რგოლურ ჩაღრმავებაში ასხავენ 1 მლ გამოსაკვლევ სითხეს, მიკროშპრიცის ან პიპეტის დახმარებით ამ სითხის წვეთს ფრთხილად ათავსებენ ფირფიტის კიდეზე ობიექტივის მხარეზე და კიუვეტს დახურავენ 15 სახურავით. წარმოებული შედეგების მისაღებად აუცილებელია მიახლოებით ერთნაირი ზომის სითხის წვეთები, ისე რომ ფუძის დიამეტრი არ აღემატებოდეს 2 – 3 მმ მოთავსდეს ფირფიტის ზედაპირის კიდეზე.

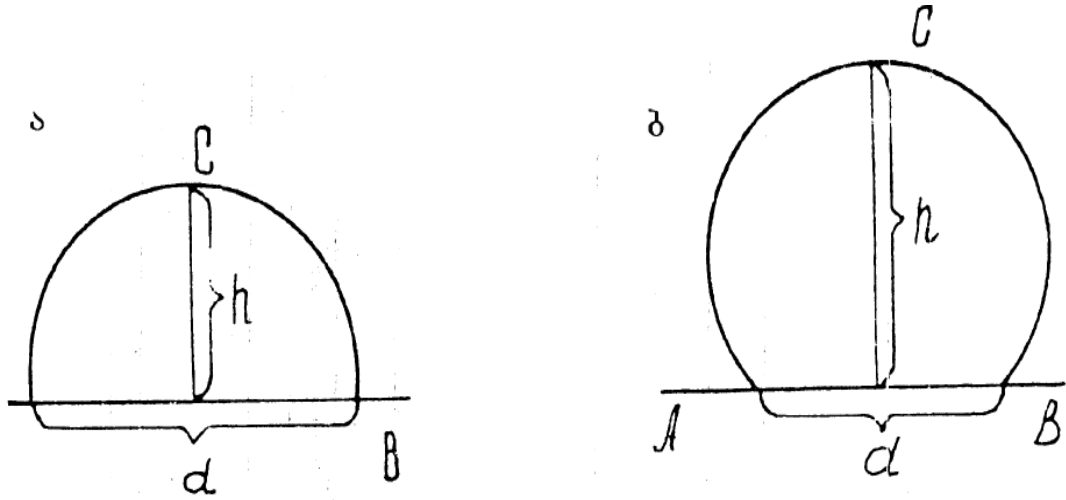
$h$  და  $d$  პარამეტრებს განსაზღვრავენ 3 ოკულარ – მიკრომეტრის დახმარებით. ხრახნული ოკულარ – მიკრომეტრის ოკულარის ფოკალურ (ფოკუსის) სიბრტყეში

დაყენებულია: უძრავი ოკულარული სკალა, რომელსაც აქვს 8 დანაყოფი და სკალა ჯვარედინითა და ინდექსით. ეს უკანასკნელი წარმოდგენილია ორი პარალელური შტრიხის (ხაზის) სახით, რომელიც მოთავსებულია ჯვარედინზე. მოძრავი სკალა მოძრაობაში მოდის მიკრომეტრული ხრახნის დოლის ბრუნვით.

1, 7 და 10 ხრახნების დახმარებით ისე ათავსებდნენ წვეთს, რომ ის მთლიანად მდებარეობდეს ოკულარის მხედველობის არეში 0 და 8 დანაყოფებს სორის. წვეთის ფუძის დიამეტრის გასაზომად 1 კატეტომეტრის მიკრომეტრული ხრახნის ბრუნვით გადაადგილებენ ოკულარ – მიკრომეტრის ჯვარედინს ვერტიკალურად და შეათავსებენ ჯვარედინ ფირფიტის გამოსახულებასთან (წვეთი – ფირფიტის ზედაპირის დაყოფის საზღვართან).

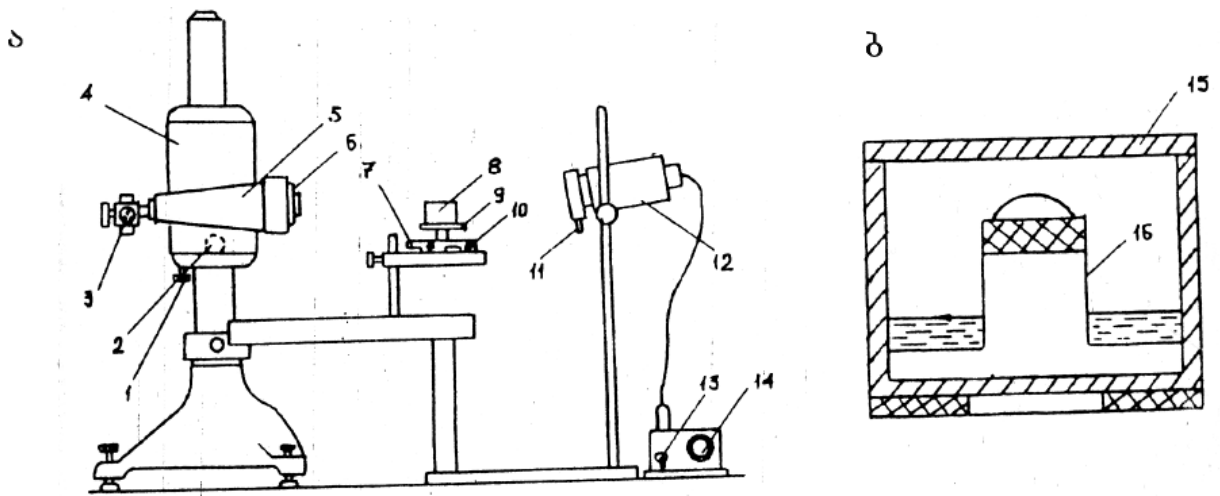
3 ოკულარ – მიკრომეტრის დოლის ბრუნვით ჯვარედინის ცენტრი გადააქვთ წვეთის მარცხენა კიდურა წერტილზე (სურ. IV. 18. A წერტილი) და მიკრომეტრის სკალის მიხედვით აითვლიან დანაყოფის რიცხვს  $n_1$ , რომელიც შეესაბამებს მის მდებარეობას ოკულარ – მიკრომეტრში. შემდეგ საათის ისრის საწინააღმდეგოდ დოლის ბრუნვით ჯვარედინს შეათავსებენ წვეთის მარჯვენა კიდურა წერტილში ( სურ. IV. 18. B წერტილი). მიკრომეტრის სკალის მიხედვით აფიქსირებენ მის მდებარეობას ( $n_2$ ). გამოითვლიან სხვაობას ფორმულით  $\Delta n = n_2 - n_1$ , რომელიც განსაზღვრავს წვეთის ფუძის  $d$  დიამეტრს.

წვეთის სიმაღლის განსაზღვრისას ოკულარის ჯვარედინს თავდაპირველად შეუთავსებენ წვეთის ფუძის შუაგულს მისი გადაადგილებით დოლის იმ მდებარეობამდე, რომელიც შეესაბამება  $(n_1 + n_2)/2$  დანაყოფს. შემდეგ ოკულარ – მიკრომეტრს აბრუნებენ ტუბუსის მილის გარშემო  $90^\circ$  – ით და დოლის დახმარებით ჯვარედინის ცენტრს დაამთხვევენ წვეთის წვეროს (სურ. IV. 18. C წერტილი) ჩაიწერენ ანათვალს მიკრომეტრის სკალის მიხედვით. ამის შემდეგ დოლის ბრუნვით ჯვარედინს დაამთხვევენ ფირფიტის ზედაპირი – სითხე დაყოფის საზღვარის გამოსახულებასთან.  $h$  სიმაღლეს პოულობენ ჩვენებათა სხვაობით ( $n_1 - n_2$ ). გაზომვები ტარდება 5-ჯერ და შემდეგ პოულობენ საშუალო არითმეტიკულს.



სურ. IV. 18. სქემა, რომელიც ნათელს ჰვენს კიდურა კუთხეების განსაზღვრას.

ა -  $\Theta > 90^\circ$  კუთხისათვის; ბ -  $\Theta < 90^\circ$  კუთხისათვის.



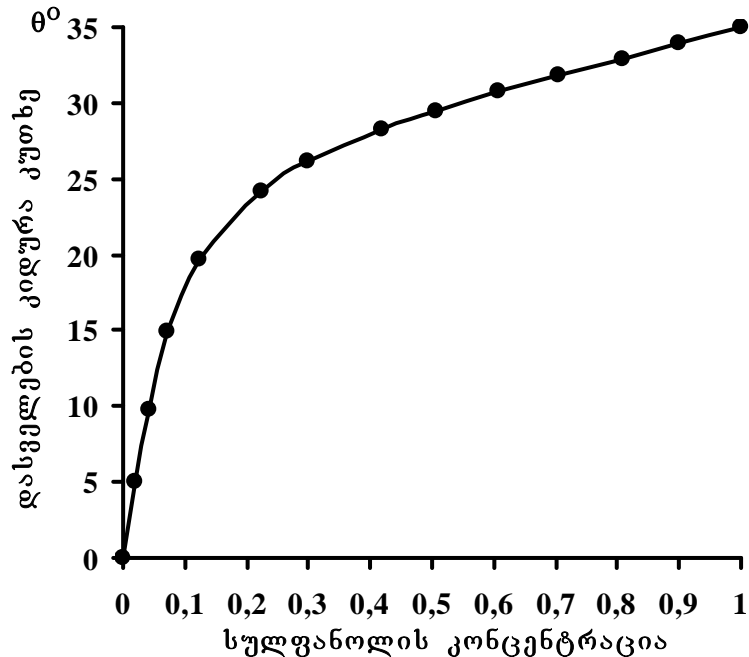
სურ. IV. 19. კიდურა კუთხეების გასაზომი დანადგარისა (a) და უჯრედი კიუვეტის (b)

სქემა



1, 7, 10 – სარეგულირებელი ხრახნები; 2 – ურიკის აწევის (დაწევის ხრახნები); 3 – ოკულარ – მიკრომეტრი; 4 – ურიკა; 5 – დასანახავი მილი; 6 – ობიექტივი; 8 – საზომი უჯრედი; 9 – დამჭერი; 11 – გამნათებლის დიაფრაგმა; 12 – გამნათებელი; 13 – ტრანსფორმატორის ჩართვის ტუმბლერი; 14 – ძაბვის სარეგულირებელი სახელური; 15 – კიუვეტის სახურავი; 16 – სადგარი.

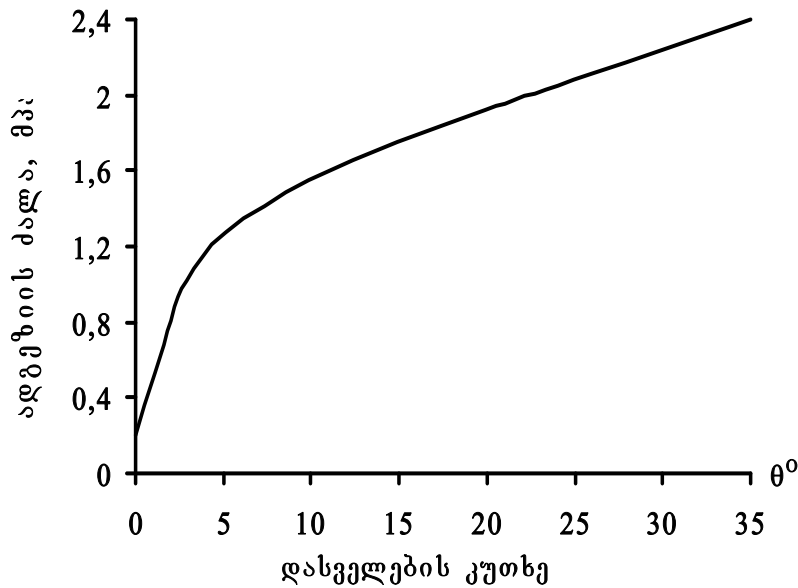
დადგინდა ხსნარის დასველების კიდურა კუთხის  $\theta^{\circ}$  დამოკიდებულება სულფანოლის კონცენტრაციასთან (სურ. IV. 20).



სურ. IV. 20. შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარის დასველების კიდურა კუთხის დამოკიდებულება სულფანოლის კონცენტრაციასთან.

შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარის შეკვრის საწყისის დაჩქარებისა და სედიმენტაციური მდგრადობის ასამაღლებლად, აგრეთვე ცემენტის ქვის სიმტკიცის გასაზრდელად ხსნარს ვამუშავებთ მაგნიტური ველით. ყოველივე ეს კი საგრძნობლად აუმჯობესებს ცემენტის ქვის ადგიური თვისებებს.

სურ. IV. 21 ნაჩვენებია სატამპონაჟო ხსნარის ადგეზიური ძალის გრაფიკული დამოკიდებულება ამავე ხსნარის დასველების კუთხეზე.



სურ. IV. 21. ცემენტის ქვის ადგეზიის ძალის დამოკიდებულება სატამპონაჟო ხსნარის დასველების კიდეურა კუთხესთან  $\theta^\circ$ .

სურ. IV. 21–დან ჩანს, რომ სატამპონაჟო ხსნარში სულფანოლის დამატებით 1%-ით იზრდება ხსნარის მიერ მინის დასველების კიდეურა კუთხე  $\theta^\circ = 35^\circ$ , ხოლო ამ ხსნარის გამაგრებისას მიღებული ცემენტის ქვის ადგეზიის ძალა მატულობს 2,4 მპა-მდე.

#### IV. 5. ცემენტის მტვრის რენტგენოგრაფიული შესწავლა

მშრალი მეთოდი კლინკერის წარმოების დროს ნამწვ აირებს თან მიაქვთ მტვრის დიდი რაოდენობა, რომელიც ძირითადად შეიცავს ნედლეულის ნარევს. ცემენტის მტვრის

სატამპონაჟო ნარევი დანამატის სახით გამოყენების შესაძლებლობის შესწავლის მიზნით ჩატარებული იქნა მისი რენტგენოფაზური ანალიზი.

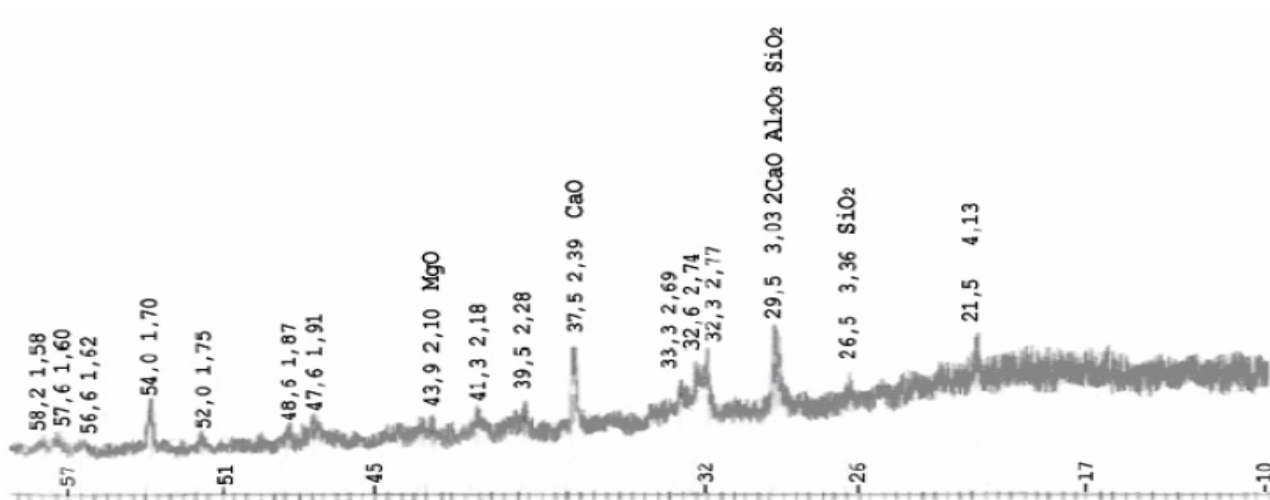
რენტგენოფაზური ანალიზის ჩასატარებლად ფხვნილებისათვის ვიყენებდით დეზაი – შერერის ანუ ფხვნილის მეთოდს. დიფრაქტოგრამებს ვიღებდით HZG-4A-2 ტიპის გერმანული წარმოების (ფირმა Carl Zeiss Jena) ავტომატურ, ორწრიან დიფრაქტომეტრზე, რომელიც აღჭურვილია მართვისა და ინფორმაციის დამუშავების პროგრამით.

**დიფრაქტომეტრიული გადაღების პირობები.** გონიომეტრი HZG 4/A-2; გამოსხივება – სპილენძი ( $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ ) ფილტრი – ნიკელი; ძაბვა – 38 კვ; ანოდური დენი – 10 მპა; დიაპაზონი –  $10^3$  იმპ/წთ; ნიმუშის  $\omega$  კუთხური სიჩქარე –  $1^\circ/\text{წთ}$ ; გადაღების  $2\theta$  კუთხური შუალედი  $10 \div 61^\circ$ ; პროგრამა – MEAS1 (უწყვეტი გადაღება);

გადაღება მოხდა ნიმუშის ბრუნვის პირობებში.

*გადაღებულია:* უწყვეტი გადაღების რეჟიმით დიფრაქტოგრამა სურ. IV. 22 პიკებზე მითითებულია შესაბამისი  $2\theta$ -ს კუთხური მნიშვნელობები, კრისტალოგრაფიული სიბრტყეთა შორისი მანძილები –  $d(hkl)$  და ფაზის გვარობა.

**დიფრაქტომეტრიული გადაღებით მიღებული შედეგები.** გადაღებული დიფრაქტოგრამით ჩანს, რომ ფხვნილი მრავალფაზიანია და ყველა ფაზა კრისტალური თვალსაზრისით ფორმირებულია ცუდად (ამის მიზეზი შესაძლებელია იყოს მათი მაღალი დისპერსულობის ხარისხი; ხოლო მარცვლის მოჩვენებითი დიდი ზომები შეიძლება განაპირობა გრანულირებამ. მაღალი დისპერსულობა განაპირობებს არასასურველი ხარისხის დიფრაქტოგრამის გადაღებას). დიფრაქტოგრამით მიღებული მონაცემებით დათვლილი კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეთა შორისი მანძილები  $d(hkl)$  მოცემულია ცხრ. IV. 7.



სურ. IV. 22. უწყვეტი გადაღების რეჟიმით მიღებული დიფრაქტოგრამა  
ფაზის გვარობა მითითებულია მხოლოდ მაქსიმალური ინტენსივობის პიკებზე

ცხრ. IV. 7 საკვლევ ობიექტში არსებული კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეთაშორისი მანძილები

GTU. RCSR. T. 386682

02.09.2006

Silicate

#	2Q(Grad)	d(Ang)	1/d ^ 2
1	21,5	4,128	.058
2	26,5	3,359	.088
3	29,5	3,024	.109
4	32,3	2,768	.13
5	32,6	2,743	.132
6	33,3	2,687	.138
7	37,5	2,395	.174
8	39,5	2,278	.192
9	41,3	2,183	.209
10	43,0	2,1	.226
11	43,4	2,082	.23
12	47,6	1,908	.274
13	48,6	1,871	.285

14	52,0	1,756	.324
15	54,0	1,696	.347
16	56,6	1,624	.379
17	57,6	1,598	.391
18	58,2	1,583	.398

Lambda

1,54

Repete – R, Continue – C, End – E

საკვლევ ფხვნილში მოსალოდნელი იყო  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{CaO}$  და  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ფაზების ინდივიდუალურად არსებობა. თუმცა, როგორც გადაღებული დიფრაქტოგრამიდან და შესაბამისი ცხრილის ანალიზით ვხედავთ ფხვნილში ძირითადი ფაზებია: I –  $\text{CaO}$  და II –  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ . I ფაზის შესაბამისი პიკების კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეთა შორის მანძილებია (d): 2,77; 2,39; 1,70 (Å), რაც კარგ თანხვედრაშია ინტერნაციონალური ცნობარების მონაცემებით (ASTM 1985 4 – 0777). II ფაზის შესაბამისი პიკების d: 3,02; 2,39; 2,28; 1,91; 1,75 (Å) (Миркин 1961). ამ შემთხვევაში საკითხი შეიძლება სადაოც აღმოჩნდეს. სიბრტყეთა შორის მანძილები ასევე ახლოა € -  $\text{CaSiO}_3$  ფაზასთან (ASTM 1985 34-558). შესაძლებელია  $\text{MgO}$  და  $\text{SiO}_2$  ფაზების (შესაბამისად d – 2,10 და 3,36 Å (მცირე რაოდენობით) დამოუკიდებლად არსებობაც. დანარჩენი დაბალი ინტენსიობის მაქსიმუმების იდენტიფიცირება ვერ ხერხდება. ნაერთში რენტგენოფაზური ანალიზით  $\text{Al}_2\text{O}_3$  და  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ფაზების დამოუკიდებლად არ არსებობამ გამოიწვია ეჭვი და აუცილებელი გახდა ელემენტარული, კონკრეტულად კი რენტგენოფლორესცენციული ანალიზის ჩატარება.

#### **რენტგენოფლორესცენციული ანალიზი.**

ელემენტარული ანალიზისათვის გამოვიყენეთ მოდერნიზებული რენტგენული დიფრაქტომეტრი ДРОН – 3М.

#### **რენტგენოფლორესცენციული გადაღების პირობები.**

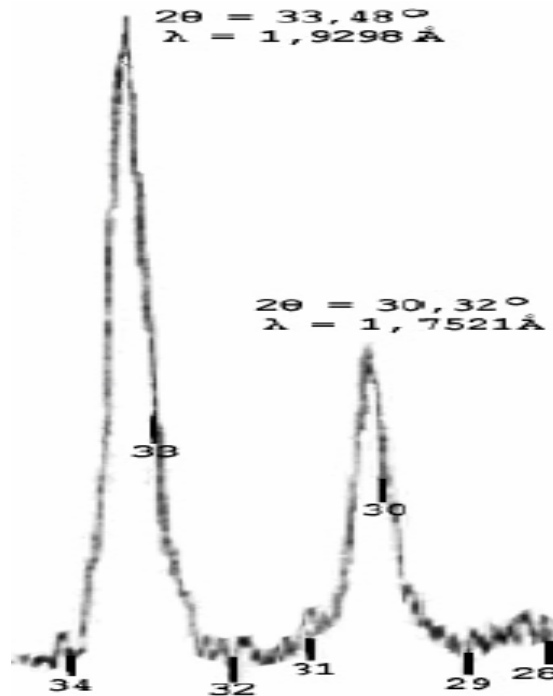
გონიომეტრი – ГУР – 8; გამოსხივება – სპილენძი ( $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ ); ძაბვა – 45 კვ; ანოდური დენი 10 მა; დიაპაზონი –  $10^3$  იმპ/წმ; ნიმუშის  $\omega$  კუთხური სიჩქარე –  $1^\circ/\text{წთ}$ ; გადაღების  $2\theta$  კუთხური შუალედი –  $5 \div 50^\circ$ ; მონოქრომატორი – გრაფიტის მონოკრისტალი.

გადაღებულია: უწყვეტი გადაღების რეჟიმით ერთი დიფრაქტოგრამა სურ. IV. 23. (ამოკვეთილია გადაღების  $2\theta$  კუთხური შუალედი -  $28 \div 34^\circ$ ).

**რენტგენოფლორესცენციული ანალიზით მიღებული შედეგები.**

რენტგენოფლორესცენციული სპექტრის დამუშავებით დადგენილია, რომ მაქსიმუმები, რომლებიც შეესაბამებიან  $2\theta$  კუთხურ მნიშვნელობებს  $30,32$  და  $33,48^\circ$  (სურ. IV. 23) მიღებულია  $\lambda = 1,9298 \text{ \AA}$  ტალღის სიგრძის რენტგენის სხივებით. ისინი კი თავის მხრივ შეესაბამებიან Fe  $K\alpha$  და Fe  $K\beta$  გამოსხივების ტალღის სიგრძეებს ( $\lambda_{K\beta} = 1,75 \text{ \AA}$  და  $\lambda_{K\alpha} = 1,93 \text{ \AA}$ ), რაც მიუთითებს, რომ საკვლევი ფხვნილი უნდა შეიცავდეს რკინის ან მისი რომელიმე ქანგის (დამოუკიდებლად არსებულ) ფხვნილს. დიფრაქტომეტრიული გადაღებით მიღებულ შედეგებში მისი არ გამოჩენის მიზეზი კი უნდა იყოს სპილენძის გამოსხივების რკინის ნაერთების მიერ ძლიერი შტანთქმა ( $\mu/\rho = 354 \text{ სმ}^2/\text{გ}$ ).

ფხვნილის მაგნიტური თვისებებით თუ ვიმსჯელებთ (აღმოაჩნდათ მაგნიტური თვისებები) მოსალოდნელია, რომ იყოს Fe,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ან  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Fe-ის ის არსებობა საეჭვოა, ამიტომ უნდა ვივარაუდოთ, რომ ფხვნილის შემადგენლობა უნდა შეიცავდეს  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ან  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ის მაღალი დისპერსულობის ფრაქციას.



სურ. IV. 23. რენტგენოფლოუორესცენციული დიფრაქტოგრამა.

#### დასკვნები IV თავის მიხედვით

1. გამოკვლეულია ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტის ზემოქმედება სატამპონაჟო ხსნარის ეფექტიანობის ასამაღლებაზე, დადგენილია ამ ექსტრაქტის შემცველობის დამოკიდებულება სატამპონაჟო ხსნარის ძვრის დამაბულობასა და სიბლანტის შემცველობაზე, აგრეთვე შეკვრის საწყის შენელებაზე.
2. გამოვლენილია მაგნიტური ველით დამუშავებისას სატამპონაჟო ხსნარების ეფექტურობის ამაღლება, ამ პროცესით საგრძნობლად ჩქარდება ხსნარების შეკვრის საწყისი დრო, მაგნიტური ველი სხვა დანამატებთან ერთად ზრდის სედიმენტაციურ მდგრადობას, კოროზიამდეგობას და ცემენტის ქვის სიმტკიცეს.
3. განსაზღვრულია მაგნიტური ველით დამუშავების გავლენის დამოკიდებულება შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარებისა და მისგან გამაგრებულ ცემენტის ქვის თვისებებზე.
4. განსაზღვრულია სატამპონაჟო მასალებისა და ნარევების ტიპები და მახასიათებლები, ჩატარებულია ცემენტის ფხვნილის რენტგენოფაზური ანალიზი. დადგენილია მათ საფუძველზე დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარების გამოყენების ეფექტურობა ჭაბურღილების დაცემენტებისას.
5. დადგენილია შემუშავებულ სატამპონაჟო ხსნარების შედგენილობების გამოყენების შესაბამისობა გეოლოგიურ – ტექნიკურ პირობებთან, განსაზღვრულია ხსნარში შემავალი დანამატების რაციონალური კონცენტრაცია.

**თავი V. შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურების დანერგვა**

ჩვენს მიერ ლაბორატორიულ პირობებში შემუშავებული, კონკრეტულ გეოლოგიურ – ტექნიკური პირობების შესაბამისი სატამპონაჟო ხსნარების რეცეპტურები გამიცადა და დაინერგა საველე საწარმოო პირობებში. შემსუბუქებული და გაფართოებადი ცემენტებისაგან დამზადებული, აგრეთვე მაგნიტური ველით დამუშავებული და ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტის დამატებით დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარები გამოყენებულ იქნა ჭაბურღილების დასაცემენტებლად ნინოწმინდის ნავთობშემცველ ფართობებზე.

### V. 1. სატამპონაჟო ხსნარების საწარმოო გამოცდის შედეგები

ნინოწმინდის ნავთობშემცველ ფართობებზე ჭაბურღილების დაცემენტების ეფექტურობის ასამაღლებლად გამოყენებული იქნა შემსუბუქებული და გაფართოებადი სატამპონაჟო ხსნარები. ამ ხსნარების გამაგრებისას მიღებული ცემენტის ქვის თვისებების გაუმჯობესებისათვის სატამპონაჟო ხსნარები წინასწარ დამუშავებულ იქნა მაგნიტური ველით. ხოლო იმ ჭაბურღილების დასაცემენტებლად, სადაც აუცილებელი იყო სატამპონაჟო ხსნარის შეკვრის საწყისის გახანგრძლივება, შეკვრის საწყისის შემნელებლად გამოყენებული იქნა ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტი, რომელიც დაემატა ხსნარს მოცულობის 1%-მდე.

თითოეული ჭაბურღილის დაცემენტების ხარისხის დასადგენად შემოწმებული იქნა დასაცემენტებელი მილგარე სივრცე დაწნეხის გზით, კოლონაში არსებულ გამტუმბავ სითხეს წინასწარ წყლის შეცვლის საშუალებით, დაწნეხისას, კოლონის ნებისმიერ კვეთაში, შიგა წნევა არა ნაკლებ 10%-ით უნდა აღემატებოდეს ჭაბურღილის მოსინჯვის, გამოცდის ან ექსპლოატაციის პერიოდში მოსალოდნელ მაქსიმალურ წნევას. კოლონა ჰერმეტიულად იმ შემთხვევაში იქნება მიჩნეული, როცა გამტუმბავი სითხის წყლით შეცვლისას, ჭაბურღილის პირზე არ შეიმჩნევა ხსნარის გადმოღვრა და გაზის გამოყოფა ან როდესაც კოლონაში შექმნილი წნევის შენარჩუნებით, ეს უკანასკნელი 30 წთ-ის განმავლობაში 0,5



მზა-ის მეტით არ სემცირდება. ყველა შემთხვევაში დაწნების წნევა უნდა იყოს ქვემოთ მოყვანილ მნიშვნელობებზე არა ნაკლები (ცხრ. V. 1)

ცხრ. V. 1.

კოლონას დამეტრი მმ	377-426	273-351	219-245	178-194	168	141-146	114-127
წნევა ჭაბურღილის პირზე, მზა	5	6	7	7,5	9	10	12

ჩვენს მიერ შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების საშუალებით ჭაბურღილების დაცემენტება წარმოებდა ზემოთაღნიშნული ყველა პირობის დაცვით. ე. ი. ჭაბურღილების დაცემენტება ჩატარდა მაღალხარისხოვნად, რადგან ამ სატამპონაჟო ხსნარების შედგენილობები შერჩეული იყო გეოლოგიურ – ტექნიკური პირობების შესაბამისად.

ნინოწმინდის ნავთობშემცველ ფართობებზე გაბურღულია, როგორც ვერტიკალური ასევე ჰორიზონტალური ჭაბურღილები, სადაც საექსპლოატაციო კოლონის შიგა ღრუს პროდუქტიულ ფენასთან დასაკავშირებლად, სატამპონაჟო ხსნარის გამაგრების შემდეგ მასში სპეციალური აპარატების საშუალებით, რომლებსაც პერფორატორებს უწოდებენ, აკეთებენ ნახვრეტებს. იმ უბნის კოორდინატებს, რომლებშიც ნახვრეტები უნდა გაკეთდეს აზუსტებენ კოლონის ჩაშვების წინ ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევების მონაცემების მიხედვით. ამჟამად, ძირითადად იყენებენ სასროლი და ჰიდროაბრაზიული ჭავლიანი მოქმედების პერფორატორებს [124].

ჭაბურღილის დაცემენტების წინ იმისათვის, რომ შენარჩუნებული იქნეს პროდუქტიული ფენის ფორების ბუნებრივი ზომები გამოყენებული სითხე როგორც ვერტიკალური, ასევე ჰორიზონტალური ჭაბურღილების ბურღვისას აკმაყოფილებს შემდეგ მოთხოვნებს: სარეცხი სითხის ფილტრატი არ უწყობს ხელს თიხოვანი ქანების გაჯირჯვებას, ქანებთან ურთიერთქმედების დროს უხსნადი მარილების წარმოქმნას და ჭაბურღილის ლულას ეფექტურად წმინდავს გაბურღული ქანის ნაწილაკებისაგან [125].

ჭაბურღილის ლულის სათანადო სიწმინდის მისაღწევად, კოლონის ჩაშვების წინ ჭაბურღილი ირეცხება კარგად გაწმენდილი სარეცხი სითხით. ამორეცხვის პერიოდის ხანგრძლივობა შეადგენს ერთ-ორ ციკლს.

სატამპონაჟო ხსნარების დასამუშავებლად გათვალისწინებული დანამატები ეკოლოგიურად სუფთაა და ჩვენს მიერ შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების გამოყენება ჭაბურღილების დასაცემენტებლად სრულად აკმაყოფილებს გარემოს დაცვის ყველა მოთხოვნას.

### დასკვნები V თავის მიხედვით

1. დადგენილია, რომ ჩვენს მიერ შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების დანერგვა შპს «კანარგო – ჯორჯიას» და «ფრონტერას» ნავთობშემცველ ფართობებზე საშუალებას იძლევა საგრძნობლად გავზარდოთ ჭაბურღილების დაცემენტების ხარისხი, რაც უზრუნველყოფს კოლონის გარეშე სივრცის მაღალ ჰერმეტიულობას.
2. გამოკვლეულია ჭაბურღილების დაცემენტების ხარისხი შერჩეული სატამპონაჟო ხსნარებით დაცემენტებული კოლონის გარეშე სივრცის ჰერმეტიულობის შემოწმების საშუალებით.
3. განსაზღვრულია, რომ სატამპონაჟო მასალები და სპეციალური დანამატები ეკოლოგიურად სუფთაა, დადგენილია, რომ შერჩეული კომპონენტებისაგან დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარები გარემოს დაცვის მოთხოვნებს მთლიანად აკმაყოფილებენ.
4. ნაშრომში შემოთავაზებული რეკომენდაციები ჭაბურღილის დაცემენტების ხარისხის ამაღლებისათვის, რომლებიც განპირობებულია ეფექტური სატამპონაჟო ხსნარების გამოყენებით დანერგილია ნინოწმინდის ნავთობშემცველ ფართობებზე.

### საერთო დასკვნები

**ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი:**

1. დადგენილია, რომ სატამპონაჟო სითხეების შედგენილობების შერჩევა მიზანშეწონილია დასაბუთდეს სატამპონაჟო სითხეების შემსუბუქების, სედიმენტაციური მდგრადობის, გაფართოების უნარიანობის, შეკვრის ვადების რეგულირების კომპლექსური შეფასების საფუძველზე.
2. გამოვლენილია, რომ სატამპონაჟო ხსნარების მაგნიტური ველით დამუშავება საგრძნობლად აჩქარებს შეკვრის საწყის და სხვა დანამატებთან ერთად ამალეებს სედიმენტაციურ მდგრადობას, კოროზიამდეგობას, ზრდის ცემენტის ქვის სიმტკიცეს და ადგეზიას, განსაზღვრულია მაგნიტური ველის გავლენის დამოკიდებულება სატამპონაჟო ხსნარისა და მისგან გამაგრებული ცემენტის ქვის თვისებებზე.
3. გამოკვლეულია ყურძნის წარმოების ნარჩენების ექსტრაქტის ზემოქმედება სატამპონაჟო ხსნარის ხარისხზე, დადგენილია ამ ექსტრაქტის შემცველობის დამოკიდებულება სატამპონაჟო ხსნარის ძვრის დაძაბულობასა და სიბლანტის შემცირებაზე, აგრეთვე შეკვრის საწყისის შენელებაზე.
4. განსაზღვრულია სატამპონაჟო მასალებისა და ნარევების ტიპები და მახასიათებლები, დადგენილია მათ საფუძველზე დამზადებულ სატამპონაჟო ხსნარების გამოყენების ეფექტურობა, ჩატარებულია ცემენტის ფხვნილის რენტგენოფაზური ანალიზი.
5. დადგენილია შემუშავებული სატამპონაჟო ხსნარების შედგენილობების გამოყენების შესაბამისობა გეოლოგიურ – ტექნიკურ პირობებთან, განსაზღვრულია ხსნარში შემავალი დანამატების რაციონალური კონცენტრაცია.
6. გამოკვლეულია ჭაბურღილების დაცემენტების ხარისხი შერჩეული სატამპონაჟო ხსნარებით დაცემენტებული კოლონის გარე სივრცის ჰერმეტიულობის შემოწმების საშუალებით.
7. განსაზღვრულია, რომ სატამპონაჟო მასალები და სპეციალური დანამატები ეკოლოგიურად სუფთაა, დადგენილია, რომ შერჩეული კომპონენტებისაგან

დამზადებული სატამპონაჟო ხსნარები გარემოს დაცვის მოთხოვნებს მთლიანად აკმაყოფილებენ.

8. ნაშრომში შემოთავაზებული რეკომენდაციები ჭაბურღილის დაცემენტების ხარისხის ამაღლებისათვის, რომლებიც განპირობებულია ეფექტური სატამპონაჟო ხსნარების გამოყენებით, დანერგილია შპს «კანარგო-ჯორჯიის» ნინოწმინდის ნავთობშემცველ ფართობებზე.

### ლიტერატურა

1. А. И. Булатов. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин. Москва, «Недра», 1977.
2. А. И. Булатов. Цементирование глубоких скважин. Москва, «Недра», 1964.
3. А. И. Булатов. Механика цементного камня нефтяных и газовых скважин. Краснодар, 1994.
4. М. К. Сеид-рза, Ш. И. Исмаилов, Л. И. Орман. Устойчивость стенок скважин. Москва, «Бурение», 1964, №11.
5. Н. Г. Середа, Е. М. Соловьев. Бурение нефтяных и газовых скважин. Москва, «Недра», 1988.
6. ი. გოგუაძე. ნავთობის და გაზის ჭაბურღილების ბურღვის ტექნიკა და ტექნოლოგია, მეორე ნაწილი. თბილისი, 2005.
7. А. А. Аббасов. Гидродинамические исследования вопросов движения вязких и вязкопластичных жидкостей. Баку, АН АЗССР, 1967.
8. М. О. Ашрафьян. Повышение качества разобщения пластов в глубоких скважинах. Москва, «Недра», 1982.
9. В. П. Белов. Образование каверн при бурении скважин. Москва «Недра», 1970.
10. А. И. Булатов, В. И. Рябченко, С. С. Сухарев. Основы физико-химии промывочных жидкостей и тампонажных растворов. Москва, «Недра», 1968.
11. А. Х. Мирзаджанзана, А. А. Мирзоян, Г. М. Гевинян и др. Гидравлика глинистых и цементных растворов. Москва, «Недра», 1966.

12. Т. Е. Еременко, Д. Ю. Мочернюк, Н. Г. Гелетий. Влияние реологических свойств и режимов потока на процесс замещения жидкостей при цементировании скважин. Труды УКрНИИпроект, 1962, вып. 9.
13. ბ. აბესაძე. ნავთობის და გაზის ჭაბურღილების ბურღვა. თბილისი, «განათლება», 1993.
14. Г. Х. Варшаломидзе. Проблемы механики бурения нефтяных и газовых скважин. Батуми. АО «Издательство Аджара», 2003.
15. А. И. Булатов, Н. Н. Круглицкий, Н. А. Мариампольский, В. И. Рябченко. Промывочные жидкости и тампонажные растворы. Киев, «Техника», 1974.
16. В. С. Данюшевский, И. Ф. Толстых, В. М. Мильмтеин. Справочное руководство по тампонажным материалам. Москва, «Недра», 1973.
17. А. Г. Шпынова, В. И. Синенькая, В. И. Чих. Электронная стереомикроскопия цементного камня автоклавного твердения. Львов, «Выша школа», 1978.
18. Л. М. Ивачев. Промывочные жидкости и тампонажные смеси. Москва, «Недра», 1987.
19. Н. И. Титков, Н. С. Дон. Технология цементирования нефтяных скважин. Москва, Гостоптехиздат, 1960.
20. А. И. Булатов, В. А. Волошин, Механизм влияния давления на загустевание тампонажных растворов. «Труды КФ ВНИИнефть». Вып. 20, Москва, «Недра», 1970.
21. А. И. Булатов. Замедлители сроков схватывания цементных растворов при тампонажных скважин. «Нефтяное хозяйство», №5, 1957.
22. А. И. Булатов. Тонкость помола и вопросы твердения тампонажных цементов для глубоких скважин. «Труды ВНИИнефть». Вып. 11. Москва, Гостоптехиздат, 1962.
23. Ю. М. Бутт, Л. Н. Рашкович. Твердение вяжущих при повышенных температурах. Москва, Госстройзат, 1961.
24. А. Я. Липовецкий, В. С. Данюшевский. Цементные растворы в бурении скважин. Москва, Гостоптехиздат, 1963.
25. Л. Г. Шпынова, В. И. Чих, М. А. Саницкий, Х. С. Соболев, С. К. Мельник. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня. Львов, «Выша школа», 1981.
26. А. И. Булатов, Г. П. Доманов. Совершенствование технологии цементирования скважин. Краснодарское книжное издательство, 1968.

27. Ю. М. Бутт, Г. Н. Дудеров, М. А. Матвеев. Общая технология силикатов. Москва. Стройиздат, 1976.
28. А. И. Булатов, Д. Ф. Новохатский. Тампонажные шлаковые цементы и растворы для цементирования глубоких скважин. Москва, «Недра», 1975.
29. С. А. Миронов, З. М. Ларионова, В. Р. Гаришин. Зависимость структуры и прочности цементного камня от минералогического состава вяжущего. «Цемент», 1974, №4.
30. У. Д. Мамаджанов. Фильтрация промывочных и цементных растворов. Ташкент, ФАН, 1964
31. З. А. Ологохин, Л. К. Мухин, В. З. Лубан. Методы регулирования свойств обращенных нефтэмппульсионных цементных растворов. «Бурение газовых и газоконденсатных скважин». №3, ВНИИЭГазпром, 1974.
32. П. А. Ребиндер, А. В. Иванова-Чумакова. Структурно – механические свойства растворов полимеров и методы их измерения. «Успехи химии и технологии полимеров». Сборник. Москва, Т. 2, 1967.
33. П. А. Ребиндер. Физико – химическая механика дисперсных систем. Москва, «Наука», 1966.
34. Аю Ию Боикова. Твердые растворы цементных минералов. Ленинград, «Наука», 1974.
35. Ю. М. Бутт, В. В. Тимашев. Портландцемент. Москва, «Строиздат», 1974.
36. Г. Дж. Вербек, Р. А. Хельмут. Структура и физические свойства цементного теста. V Международный конгресс по химии цемента. Тезисы докладов. Москва, Стройиздат, 1973.
37. Ю. С. Малинин. К вопросу о гидратации и твердении портландцемента. Москва, Стройиздат, 1964.
38. Т. Г. Габададзе. Свеохластотвердеющий водонепоницаемый портландцемент. Тбилиси, 2003.
39. თ. გაბადაძე, ო. ქურდევანიძე, გ. არეშიძე, ვ. ჩეკრიგინი, რ. ზღატოკრილოვი. პორტლანდცემენტის წარმოება. თბილისი, 2000.
40. თ. გაბადაძე. პორტლანდცემენტი. «ტექნიკური უნივერსიტეტი», თბილისი, 1994.
41. А. И. Булатов. Механика цементного камня нефтяных и газовых скважин. Краснодар, 1994.
42. А. И. Булатов, Г. Г. Гарбузов. Гидромеханика углубления и цементирования скважин. Краснодар, 1994.

43. В. П. Овчинников. Полимерцементные составы для крепления скважин. Сборник тезисов научно-практической конференции. Тюмень. ОМТ, ОАО Запсибгазпром, 1997.
44. В. П. Овчинников. К вопросу применения полимерсолевых композиции. Освоение шельфа Арктических морей России. Сборник докладов международной конференции. Санкт-Петербург, 1999.
45. А. И. Булатов. Формирование и работа цементного камня в скважине. Москва, «Недра», 1990.
46. А. И. Бережной. Промывочные жидкости и цементные растворы в бурении скважин. Москва, Гостоптехиздат, 1955.
47. И. Н. Каримов, Х. В. Газизов. Регулятор свойств тампонажных материалов вяжущих с использованием промышленных отходов. Материалы Международной научно-технической конференции. Ч. 5. Казань, 1997.
48. В. П. Овчинников, А. В. Бudyко, Е. Л. Ржевская. Применение высокомолекулярных соединений для снижения фильтроотдачи тампонажных растворов. Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазового региона. Межвуз. сборник. Тюмень, ТюмГНТУ.
49. К. С. Кутателадзе, В. Н. Шапакидзе. Об использовании металлургических высокомарганцевых шлаков для производства шлакопортландцемента. «Цемент», 1952, №4.
50. А. Я. Липовецкий, В. С. Данюшевский. Цементные растворы в бурении скважин. Ленинград, Гостоптехиздат, 1963.
51. Н. А. Луценко, И. С. Финогенов, О. И. Образцов. Облегченные цементные растворы для бурения нефтяных и газовых скважин. Киев, изд-во «Техника», 1965.
52. Н. С. Дон. Новые добавки к цементам для крепления глубоких скважин. Гостоптехиздат, 1963.
53. З. Ш. Шарафутидинов, В. Г. Глуховцев, И. Н. Каримов. Регулирование гидратационной активности цементов при высоких температурах. Тезисы докладов III конференции – Формирование и работа цементного камня в скважине. Краснодар, 1991.
54. Ф. А. Агзамов, И. Н. Каримов. Использование местных материалов и промышленных отходов для получения тампонажных материалов. Тезисы докладов международной научной конференции. Тюмень, 1996.

55. В. В. Бабков, И. Н. Каримов, Х. В. Газизов. Использование дисперсного известняка в составе смещанного вяжущего. Материалы 1-го международного совещания по химии и технологии цемента. Москва, ВХТУ, 1996.
56. Н. Х. каримов, Ф. А. Агзамов. Способ обезвреживания шлама хроматного производства. Экологическая методология возрождения человека и планеты земля. Алматы, 1997.
57. Н. Х. Каримов, Ф. А. Агзамов, Х. И. Акчурин и др. Способ получения расширяющегося цемента. Патент 2505132. Россия 7E21B33/138, № 96103727/03, 1998.
58. Н. А. Луценко, О. И. Образцов. Тампонажные растворы пониженной плотности. Москва, «Недра», 1972.
59. А. И. Булатов. Опыт применения облегченных цементных растворов. НТС. «Бурение», №1, 1963.
60. Н. С. Дон. Новые добавки к цементам для крепления буровых скважин. Москва, Гостоптехиздат, 1963.
61. В. П. Овчинников, В. Г. Кузнецов. Облегченный тампонажный цемент для низкотемпературных скважин. «Бурение и нефть», 2004, №5.
62. А. Я. Липовецкий, В. С. Данюшевский. Цементные растворы в бурении скважин. Ленинград, Гостоптехиздат, 1963.
63. М. Н. Двойников, В. П. Овчиников. Цементирование скважин на Ваньеганском месторождении. «Бурение и нефть». 2004, №5.
64. Г. Х. Варшаломидзе. Препарат ВЭЧО для улучшения глинистого раствора при бурении нефтяных скважин. Горнорудная промышленность. Тбилиси, 1972, №3.
65. Г. Х. Варшаломидзе. О применении водных экстрактов чайных отходов для химической обработки глинистых растворов. Известие Вузов. Нефть и газ, 1972, №3.
66. Г. Х. Варшаломидзе. Комбинированная обработка высокоминерализованных глинистых растворов модифицированным крахмалом и водным экстрактом чайных отходов (ВЭЧО). Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1974, №4.
67. А. К. Мискарли, И. И. Ибрагимов. Щелочный экстракт виноградной выжимки в качестве химического реагента для обработки глинистых суспензии. Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1960, №3.



68. А. К. Мискарели, В. Я. Землянская, Т. Г. Гасанова. Исследование щелочного раствора гранатовый корки в качестве нового реагента для химической обработки глинистых растворов. Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1957, №5.
69. გ. ვარშალომიძე, მ. ონიაშვილი. საბურღი ხსნარების დასამუშავებლად ღვინის წარმოების ნარჩენების გამოყენების შესაძლებლობების შესწავლა. «საქართველოს ნავთობი და გაზი», №17, 2006.
70. გ. ვარშალომიძე, მ. ონიაშვილი. ცემენტის ქვის დეფორმირების მათემატიკური მოდელი. «საქართველოს ნავთობი და გაზი», №15, 2005.
71. გ. ვარშალომიძე, ი. გოგუაძე, მ. ონიაშვილი. მაგნიტური წყლის გამოყენება სატამპონაჟო ხსნარების მისაღებად «საქართველოს ნავთობი და გაზი». №14, 2005.
72. И. Р. Василенко, В. И. Лесин. Совершенствование методов обработки цементных растворов магнитным полем. Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. №3, 1977.
73. В. И. Классен. Омагничивание водных систем. Москва, Химия, 1978.
74. F. Daily, W. Holman, G. Lindblom, J. Patton. New low-solids polymer mud designed to cut well costs. World Oil, 1967, July.
75. J. Kell. Drilling fluid selection, performance and quality control. JPT, 1983< May.
76. G. Young, L. Robinson. How to desing a mud system for optimum solids removal. World Oil, 1982, September, Octomber, November.
77. P. Benham, F. Warnock. Mechanics of solids and structures. Pitman, London, 1973.
78. Halliburton. Outline of oilwall cementing. Halliburton Publications, 1972.
79. Dowell Schlubergen. Cementing Technology. Dowell Schlumbergen Publications, 1979.
80. G. Suman, R. Elis. Cementing Handbook. Including Casing Handling Procedures. Reprinted from World Oil, Gulf Publishing, 1977.
81. Halliburton. Liner Cementing. Halliburton Publications, 1972.
82. Dowel Schlumbergen. Squeeze Cementing Handbook. Dowel Schlumbergen Technical Literature, 1981.
83. H. C. Darley. A Laboratory Investigation of Balanced Stability. Society of Petroleum Engineers Reprint. 1973, #6a, SPE Houston, TX.

84. API RPIOB. API Reommended Practic for Testing Oilwell Cement Additives. American Petroleum Institute, Production Department, 1978.
85. В. В. Бондаренко, В. С. Башкутов и др. Тампонажный пеноцемент «Аэротам» для цементирования скважин при низких положительных и отрицательных температурах. В сборнике «Освоение нефтяных и газовых месторождении в условиях Севера-западной Сибири и Коми АССР». Москва, изд. ВНИИОЭНГ, 1980, №1.56-37.
86. В. В. Бондаренко, И. Ф. Толстых, В. С. Башкутов. Разработка и исследование тампонажных пеноцементов для различных условия применения. Москва, «Нефтяное хозяйство», №6, 1981.
87. О. К. Ангалапуло, В. С. Башкутов, В. В. Бондаренко. Высоcostабилизированные минерализованные пеноцементные растворы. Москва, «Нефтяник», №11, 1984.
88. В. И. Исаев, В. В. Бондаренко. Методика расчета цементирования скважин пеноцементными растворами. Москва, «Нефтяник», №4, 1987.
89. О. К. Ангалапуло, В. С. Башкутов и др. Пеноцементный тампонажный состав для цементирования скважин. Авторское свидетельство 1224398, (СССР), № 3689322, 1986.
90. П. А. Ребиндер. Применение поверхностно-активных веществ в нефтяной промышленности. Труды I Всесоюзного совещания по поверхностно-активным веществам. Москва, Ростоптехиздат, 1961.
91. П. А. Ребиндер, Е. А. Сегалова. Новые проблемы коллоидной химии минеральных вяжущих материалов. «Природа», №12, 1952.
92. П. А. Ребиндер. Физико-химическая механика – новая область науки. Москва, «Знание», 1956.
93. П. А. Ребиндер. Физико-химическая механика дисперсных систем. Москва, «Наука», 1966.
94. Т. Эрдей-Груз. Явления переноса в водных растворах. Перевод с английского. Москва, «Мир», 1976.
95. В. П. Белоусов, М. Ю. Попов. Термодинамика водных растворов неэлектролитов. Ленинград, «Химия», 1983.
96. З. З. Шарафутдинов, Ф. А. Чегодаев, М. Р. Мавлютов. Гидратная полимеризация и формы ее проявления в горном деле. Горный вестник, №4, 1998.
97. Г. Я. Дедусенко, В. И. Иванников, М. И. Липкес. Буровые растворы с малым содержанием твердой фазы. Москва, «Недра», 1985.

98. Н. И. Маковей. Гидравлика бурения. Москва, «Недра», 1986.
99. К. Ф. Паус. Буровые растворы. Москва, «Недра», 1973.
100. Д. С. Эизенберг, В. Н. Кауцман. Структура и свойства воды. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1975
101. ბ. ჯიჯეიშვილი, მ. დგებუაძე, ტ. გეგენავა, გ. ჯაფარიძე, დ. ქერქაძე. მინერალური კომპონენტების როლი ტყიბულის ნახშირის გათხევადების პროცესში. საქ. მეც. აკადემიის მაცნე. ქიმიის სერია/ №1-2, ტ. 29, 2003.
102. Цементы тампонажные. Методы испытания. Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому формированию и сертификации в строительстве (МНТКС). Москва, 1998.
103. Г. Б. Бокий, М. А. Порай-Кошиц. Рентгеноструктурный анализ. Москва. МГУ, т. 1, 1964.
104. Г. Б. Бокий, М. А. Порай-Кошиц. Рентгеноструктурный анализ. Москва. МГУ, т. 1, 1960.
105. Г. М. Мильбурн. Рентгеновская кристаллография. Москва, Изд-во «Мир», 1975.
106. ა. სველაშვილი, ე. მიმინოშვილი, თ. ვარდოსანიძე. ქიმიურ ნივთიერებათა რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის პრაქტიკული სახელმძღვანელო. თბილისი «განათლება», 1991.
107. ე. მიმინოშვილი, ქ. მიმინოშვილი. მასალების და ნაკეთობების კვლევის რენტგენოგრაფიული მეთოდები კრიმინალისტიკურ ექსპერტიზაში. თბილისი «ტექნიკური უნივერსიტეტი», 2005.
108. О. И. Мартынова, Б. Т. Гусев, Е. А. Леонтьев. К вопросу о механизме влияния магнитного поля на водные растворы солей. «Успехи физических наук», т. 98, вып. 1, 1969.
109. В. И. Лесин. Фрагментация агрегатов примесей ферромагнитных частиц в магнитном поле. «Современные технологии водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования». Москва, ИРЕА, 2003.
110. В. И. Лесин, С. В. Лесин. О физической природе степенной зависимости вязкости буровых суспензии от скорости сдвига. Нефтепромысловое дело, №11, 2003.
111. В. И. лесин. Область наиболее эффективного применения магнитных депарафинизаторов при защите от отложения НАСОСНО-компрессорных труб добывающих скважин. Бурение и нефть, №12, 2002.
112. А. А. Баиков. Собрание трудов. т. 2-5, Москва-Ленинград, 1948-1950.

113. А. И. Булатов. Цементы для цементирования глубоких скважин. Москва, Гостоптехиздат, 1962.
114. Х. Дж. Бич. Улучшение качества гелцементов с помощью хлористого натрия. Перевод №7\626 ИТЭИ нефтегаз, Москва, 1962.
115. Э. Бирштехер. Нефтяная микробиология. Ленинград, Гостехиздат, 1957.
116. А. А. Гоник. Коррозия нефтепромыслового оборудования. Москва, «Недра», 1976.
117. М. М. Мухаметишин, М. К. Баймухаметов, А. А. Гоник. Условия возникновения отложения сульфида железа в добывающих скважинах и методы предотвращения осадкообразования в рабочих органах глубинно-насосного оборудования. Самара, Интервал, ООО «ДСМ», №8, 2000.
118. А. А. Гаиворский. Крепление нефтяных и газовых скважин в США. Москва, Гостоптехиздат, 1962.
119. Е. П. Катенов. Крепление скважин при высоких температурах и давлениях. Москва, изд-во «Недра», 1966.
120. А. Я. Липовецкий, В. С. Данюшевский. Цементные растворы в бурении скважин. Ленинград, Гостоптехиздат, 1963.
121. Н. А. Луценко, И. С. Финогенов, О. И. Образцов. Облегченные цементные растворы для бурения нефтяных и газовых скважин. Киев, изд-во «Техника», 1965.
122. Н. А. Луценко, О. И. Образцов. Тампонажные растворы пониженной плотности. Москва, изд-во «Недра», 1972.
123. Recent Development in the use of Bentonite in cements. "Drill, a production pract". API, 1953.
124. გ. ვარშალომიძე, ი. გოგუაძე, ვ. ხითარიშვილი, მ. ონიაშვილი. რეცხვის ტექნოლოგიის განსაკუთრებული თავისებურებების შესწავლა ჰორიზონტალური ჭაბურღილების ბურღვისას. «საქართველოს ნავთობი და გაზი», №12, 2005.
125. ჯ. ჩიხლაძე, ი. ტარტარაშვილი, მ. ონიაშვილი. ჭავლიანი მოწყობილობების გამოყენება ნავთობის წაბურღილებისათვის. «საქართველოს ნავთობი და გაზი», №11, 2004.
126. T. C. Powers. Proceedings of the 4-th Inter. Symposium on the Chemistry of Cement. Waschington, 1960.

127. ნ. თევზაძე, გ. ლოლუაშვილი, ტ. სარჯველაძე. ჭაბურღილების დამთავრება. თბილისი, 2004.
128. И. А. Дидебулидзе, Р. Н. Тевзадзе, В. Э. Хитаришвили. Устройство для измерения напряжений трения и контактной липкости. ГрузНИИНТИ, №10, 1979.
129. თ. ტურიაშვილი. საბურღი ხსნარები და სატამპონაჟო ნარევეები. თბილისი, «ტექნიკური უნივერსიტეტი», 1963.