

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ზურაბ ბეკურიშვილი

თბოტენიანი დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმების  
კვლევა მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე  
ბეტონების მისაღებად

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“

შიფრი 0704

თბილისი  
2021 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში სამშენებლო ფაკულტეტზე, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიების და საშენი მასალების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი -----ზეინაბ ქარუმიძე

რეცენზენტები:

ტ.მ.დ., პროფესორი ----- გელა ყიფიანი

ტ.მ.კ., ლ.სამხარაულის სახ.საინჟინრო

ექსპერტიზის ცენტრის სპეციალისტი -----ნელი ერემაძე

დაცვა შედგება 2021 წლის „—“ „————“ „—“ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „მშენებლობის“ საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, სტუ-ს I კორპუსი, 5 სართული, აუდიტორია „————“

მისამართი: 0175, თბილისი, მ. კოსტავას ქ. 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა სტუ-ს ვებ გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული

მდივანი, პროფესორი

დ. ტაბატაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა** დღეს ერთ-ერთ მთავარ ამოცანას წარმოადგენს რკინაბეტონის წარმოების არსებული ტექნოლოგიების გაუმჯობესება და ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ახალი მეთოდების შემუშავება. ამისათვის ნაშრომში განხილულია თბოტენიანი დამუშავების სახეობები, საერთო ციკლის პერიოდები, მოყვანილია ცხრილები ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლებით, ცემენტის აქტივობის ეფექტურობის კოეფიციენტი გაორთქლისას, პორტლანდცემენტზე დამზადებული მძიმე ბეტონის სიმტკიცის ზრდის დამოკიდებულება თბოტენიანი დამუშავების ციკლზე (40-50°C). განხილულია დესტრუქციული პროცესები და მათი შემცირების გზები თბოდამუშავებისას. უახლესი ქიმიური დანამატების მეშვეობით შემუშავებულია თბოდამუშავების საერთო ციკლის შემცირების ღონისძიებები. გაანგარიშებულია თბოტენიანი დამუშავებისათვის მისაღები ბეტონის შედგენილობები. დღეისათვის, როცა ძალზედ მნიშვნელოვანია ძვირადღირებული ენერგომატარებლების ეკონომიურად ხარჯვა, საკითხი მეტად აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს

**დისერტაციის მიზანი** – თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების ოპტიმიზაცია, მისი გავლენის დადგენა ბეტონის სტრუქტურის წარმოქმნის კინეტიკაზე და მის საექსპლუატაციო თვისებებზე.

მიზნიდან გამომდინარე ნაშრომის ძირითადი ამოცანებია:

1. თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების გავლენის კვლევა ბეტონის სტრუქტურის წარმოქმნის თავისებურებებზე, რათა დაჩქარდეს გამაგრების პროცესები და უზრუნველყოთ ბეტონის მაღალი საექსპლუატაციო თვისებები.
2. ბეტონის წყალ, ყინვა და კოროზიამდეგობის დამოკიდებულების კვლევა ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე, ცემენტის ჰიდრატაციის ეფექტის ჩათვლით.

### **ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:**

1. გამოკვლეულია ტემპერატურის ზრდის სიჩქარის გავლენა ბეტონის სტრუქტურის წარმომქმნაზე და ამ პროცესის მოქმედება მასალის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე;
2. გამოვიკვლიეთ, რომ ტემპერატურის მატება და იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლივობა განაპირობებს წყალ, ყინვა და კოროზიამდეგობის მაჩვენებლების შემცირებას. ამის შედეგად ბეტონში შეიძლება გაიზარდოს კალციუმის ჰიდროქსიდის შემცველობა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ბზარების წარმოქმნა ბეტონის კონსტრუქციაში;
3. დამუშავებულია ბეტონის თბოტენიანი დამუშავების ტექნოლოგია ცემენტის ჰიდრატაციის შედეგად მიღებული შიგა სითბოს წყაროს მოქმედების გათვალისწინებით;
4. შევამცირეთ თბოტენიანი დამუშავების იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურა 97°C-დან 50°C-მდე შპალების შემთხვევაში და 70°C-დან 40°C-მდე წინასწარდამბული ღრუნტიანი ფილების შემთხვევაში ხარისხის გაუარესების გარეშე, რაც იძლევა მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს ენერგომატარებლების დაზოგვის ხარჯზე.

**მიღებული შედეგების საიმედოობა** დაფუძნებულია მაღალი ხარისხის ლაბორატორიული მანქანა-დანადგარების გამოყენებაზე, გამზომი ხელსაწყოების სიზუსტეზე და ექსპერიმენტალური მონაცემების უტყუარ შედეგებზე.

### **ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.**

ბეტონის მედეგობის ზრდა აგრესიული გარემოს მიმართ, მისი თვისებების რეგულირებით თბოტენიანი დამუშავების სტადიაზე. ამ ცდების საფუძველზე დამზადებულია რკინაბეტონის ნაკეთობების საცდელ-საწარმოო პარტია, რომლის შედეგებიც შემდგომ დაინერგა საწარმოო პრაქტიკაში.

### **დაცვაზე გამოგვაქვს:**

1. ექსპერიმენტული კანონზომიერებანი, რომლებიც ასახავენ ტემპერატურის ოპტიმიზაციის მოქმედებას, ბეტონის სტრუქტურის წარმოქმნის თავისებურებებზე;
2. თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები, რომლების მეშვეობითაც შეგვიძლია ვმართოთ ბეტონის სტრუქტურის წარმოქმნის პროცესები და მივიღოთ მასალა წყალ, ყინვა და კოროზიამდეგობის გაუმჯობესებული მაჩვენებლებით;
3. ჩატარებული კვლევების შედეგები, რომლებმაც საფუძველი მოგვცა იმისა, რომ დანერგილი ყოფილიყო საწარმოო პრაქტიკაში.

**ნაშრომის შედეგების აპრობაცია:** ნაშრომის ცალკეული შედეგები მოხსენიებულ იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ სამ კოლოკვიუმზე, ხოლო ძირითადი შედეგები წარმოდგენილია 3 ნაშრომში და 1 კონფერენციაზე.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:** დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, სამი თავისაგან, ძირითადი დასკვნებისაგან, ლიტერატურისა და დანართებისაგან. ნაშრომი შედგება 156 გვერდისაგან და ბიბლიოგრაფიული ნუსხისაგან, რომლებიც შედგება 93 დასახელებისაგან, როგორც სამამულო, ისე საზღვარგარეთული წყაროებისაგან. სამუშაო შესრულებულია სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის წარმოების ტექნოლოგიების და საშენი მასალების მიმართულებაზე.

### **ნაშრომის შინაარსი**

**შესავალში** წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

**ნაშრომის პირველ თავში** ლიტერატურულ მიმოხილვაში, გაანალიზებულია ბეტონის შედგენილობის დაპროექტების თანამედროვე ხერხები, რომლებიც გვამღებს საშუალებას განვსაზღვროთ არამართო ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე, არამედ გავითვალისწინოთ მისი ყინვამდეგობა, წყალშეუღწევადობა და ხანგამძლეობა.

ასეთი ბეტონები, მხედველობაში გვაქვს, ახალი თაობის ბეტონები ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცით, წყალშეუღწევადობითა და ყინვამედეგობით, რომლებიც შეიძლება გამოყენებული იქნას სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში. ეს ხორციელდება სხვადასხვა ტექნოლოგიური ხერხებით: ბეტონის ნარევის კომპონენტების თვისებების ცვლილებით, წ/ც ფარდობის ვარირებით, საჭირო სახეობის და დოზირების ქიმიური დანამატების (მაკლასტიფიცირებელი, გამაგრების დამაჩქარებელი, ჰაერჩამთრევი და ფოლადის კოროზიის ინჰიბიტორები) შერჩევით.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია ლაბორატორიული შედგენილობების გადატანა საწარმოო პირობებში. ამ შემთხვევაში გაითვალისწინება ანარევის მოცულობა, შემცველების ტენიანობა, ქიმიური დანამატების მუშა კონცენტრაციები და სხვა. ამასთან უნდა იყოს შერჩეული ბეტონის შედგენილობები ეკონომიკური თვალსაზრისითაც. ამიტომ ჩატარებული კვლევების ერთ-ერთი მიმართულებაა, ცემენტის ნაკლები ხარჯით მიღებული ყოფილიყო მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონები, ბეტონის გაუმჯობესებული დეფორმაციული თვისებებით. ასევე აღსანიშნავია, რომ მის სტრუქტურაში რაც ნაკლები რაოდენობით იქნება წარმოდგენილი ცემენტის ქვის შემცველობა, მასალა იქნება უფრო მედეგი, რადგან აგრესიული გარემოს მიმართ (სულფატური, ქლორიდების და სხვა) ცემენტის ქვა უფრო მგრძობიარეა სხვა დანარჩენი კომპონენტებისგან განსხვავებით.

**ჩვენი მიზანი იყო** გამაგრების დაჩქარების პროცესის სრულყოფა. განხილულია თბოტენიანი დამუშავების გაორთქლვის მეთოდი. გაორთქლვა ზოგადად წარმოებს ბუნებრივი წნევის პირობებში 70-100°C ტემპერატურაზე. გაორთქლვის ხანგრძლივობა მოიცავს 8-14 სთ და იგი უზრუნველყოფს ბეტონის საპროექტო მარკის 50-70 %-ის მიღებას. მისი ხანგრძლივობა შევამცირეთ, როდესაც გამოვიყენეთ სწრაფმყარებადი და მაღალი სიმტკიცის ცემენტები, შევამცირეთ წყალცემენტის ფარდობა და გამოვიყენეთ გამყარების დამაჩქარებელი ქიმიური დანამატები.

ნაშრომში აგრეთვე განხილულია ბეტონის გამაგრების სხვადასხვა მეთოდები და წარმოების ნაკადურ-აგრეგატული, კონვეიერული და სტენდური სქემები. ჩვენს მიერ ჩატარებულ სამუშაოებში, რომელიც მოიცავს საწარმო შპს „თბილცემენტ გრუპ“-ში წარმოებულ რკინაბეტონის გადახურვის ღრუტანიან ფილებს, ბეტონის ღრუტანიან მსუბუქ სატიხრე პანელებს, რკინაბეტონის კიბეებს, რიგელებს, ასევე სხვა კონსტრუქციებს ინდივიდუალური შეკვეთით და რკინაბეტონის შპალებისა და დგარების თბოდამუშავების რეჟიმების კვლევასა და ბეტონის რეცეპტების შემუშავება გაუმჯობესებული პარამეტრებით. მათ დასამზადებლად გამოიყენება თბოდამუშავების სტენდური მეთოდი, რომლის სახესხვაობას წარმოადგენს კასეტური ტექნოლოგია.

ნაშრომში წარმოდგენილი ნაკეთობები, როგორც წინასწარდაძაბული ღრუტანიანი ფილების და ასევე შპალების შემთხვევაში წარმოებულია სწორედ სტენდური მეთოდის მეშვეობით.

თბური დამუშავების მეთოდები სულ უფრო იხვეწება, რათა დავამზადოთ ხარისხიანი რკინაბეტონის ნაკეთობები უმოკლეს ვადებში და ამავდროულად შევამციროთ ხარჯები თბურ ენერგიაზე. ეს მიიღწევა თბური დამუშავების ხანგრძლივობის შემცირების წყალობით, სწორი ტემპერატურული რეჟიმების შერჩევით და ასევე რაციონალურად შერჩეული ბეტონის ნარევების შედგენილობებით. ეს ყველაფერი კი განაპირობებს კონკრეტული ნაკეთობის დამზადების დახვეწილ ტექნოლოგიურ მიდგომებს.

**მეორე თავი.** მეორე თავში (შედეგები და მათი განსჯა) განხილულ იქნა ჩვენი ქვეყნის სამშენებლო ბაზარზე არსებული ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების გამოცდით მიღებული შედეგები და მათი სანედლეულო ბაზა.

ვიცით, რომ ბეტონის შედგენილობის შერჩევა მდგომარეობს, მისი შემადგენელი კომპონენტების (ცემენტი, ქვიშა, ღორღი, წყალი, დანამატები) რაციონალური რაოდენობის დადგენაში, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს მიღებული ბეტონის დასახული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, ცემენტის მინიმალური ხარჯით.

ბეტონის შედგენილობას განვსაზღვრავთ შემდეგნაირად:

1. ბეტონის პარამეტრების შერჩევა: ბეტონის კლასი, ცემენტის სახეობა და მარკა, შემავსებლების მახასიათებლები;
2. მოცემული მახასიათებლების დადგენა;
3. 1მ<sup>3</sup> ბეტონისათვის საჭირო მასალების გაანგარიშება;
4. ნომინალური შედგენილობის დამზადება;
5. ბეტონის შედგენილობის კორექტირების შემდეგ 1მ<sup>3</sup> ბეტონის დასამზადებლად, მასალების ხარჯის დაზუსტება;
6. ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების დაყალიბება და გამოცდა ლაბორატორიულად.

**ცემენტები:** მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონების მისაღებად შეიძლება გამოიყენებულ იქნას, როგორც პორტლანდცემენტი, ასევე წიდაპორტლანდცემენტი. ცემენტის ასორტიმენტი ევროსტანდარტი EN-197-1-ის მიხედვით დსთ-ში მოქმედ სტანდარტთან ГОСТ 10178-72-თან შედარებით გაფართოებულია მინერალური დანამატების რაოდენობრივი შემცველობით და მათი სახეებით. ევროსტანდარტით EN-197-1 -ის თანახმად ცემენტი იყოფა კლასებად მათი კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით(მპა). ევროკავშირში ძირითადად იწარმოება მრავალკომპონენტის ცემენტები, მინერალური დანამატების ფართო სპექტრით. საქართველოში ძირითადად ჰაიდელბერგცემენტი ოპერირებს ამ მიმართულებით, რომელიც იყენებს ევროპულ სტანდარტს EN-197-1 და აწარმოებს 5 ტიპისა და რამოდენიმე სახეობის ცემენტს. ევროკავშირში, მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონების მისაღებად გამოიყენება პორტლანდცემენტი CEM I, CEM II-კომპოზიტური პორტლანდცემენტის აღნიშვნაა, ხოლო CEM III-წიდაპორტლანდცემენტის.

ჩვენს კვლევებში გამოიყენებულ იქნა ძირითადად რუსთავის ცემენტის ქარხნის CEM I 42,5 R ცემენტი და თურქეთში ქ.ტრაპიზონში წარმოებული CEM I 42,5 R . ქვემოთ მოყვანილია, როგორც მათი ქიმიური შემადგენლობა, ასევე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.



რუსთავის და ტრაპიზონის ქარხნების CEM I 42,5 R ცემენტების ქიმიური შედგენილობა %-ში ცხრილი 1

№	ცემენტის მწარმოებელი	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	20,32	5,24	3,00	62,28	2,57	0,58	2,97
2	ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	21,51	5,41	3,05	66,25	2,21	0,55	2,59

გამოყენებული პორტლანდცემენტების EN-196-1-ის გამოცდის შედეგები. ცხრილი 2

№	ცემენტის მწარმოებლობა	დაფქვის სიწინდე		შეკვრის ცომის ნორმალური სისქე	შეკვრის ვადები წთ		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა		
		ნარჩენი N 008 საცერზე	ხვედრითი ზედაპირი სმ <sup>2</sup> /გ		დასაწყისი	დასასრული	2 დღის შემდეგ	7 დღის შემდეგ	28 დღის შემდეგ
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	0,13 (7,0)	3412	29,2	109	170	21,26	36,20	54,8
2	ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	0,6 (6,5)	3623	32,5	150	220	28,2	37,8	50,0

როგორც ცხრილებიდან ჩანს, ორივე ქარხნის ცემენტების თვისებები თითქმის იდენტურია და აკმაყოფილებენ ევროსტანდარტის EN 197-ის მოთხოვნებს.

კვლევებში გამოყენებულია რუსთავის ცემენტის ქარხნის CEM I 42,5 R პროდუქტი, რომლის აქტივობა 54 მგპ-ია, რადგან ბეტონის მაღალი ტექნიკური თვისებების მისაღწევად აუცილებელია ცემენტის ენერჯის მაქსიმალური გამოყენება და ცემენტის ქვის ოპტიმალური სტრუქტურის შექმნა.

**შემკვებები.** ცნობილია, რომ ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონის შემთხვევაში, შემკვები თამაშობს ინერტული მასალის როლს, ხოლო მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების ბეტონებში, კი შემკვების ხარისხსა და თვისებებს დიდი გავლენა აქვს ბეტონის სიმტკიცეზე.

ასეთ შემთხვევებში გამოიყენება მკვრივი მთის ქანების დამსხვრევით მიღებული ღორღი. ღორღის სიმტკიცე კუმშვისას, წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში, სტანდარტის თანახმად 1,5-ჯერ უნდა აღემატებოდეს

დასამზადებელი ბეტონის მარკას. დასაშვებია უფრო დაბალი სიმტკიცის ღორღის გამოყენებაც, მაგრამ ამ დროს მისი სიმტკიცე არ უნდა იყოს ნაკლები მისაღები ბეტონის კლასზე. ამ დროს საჭიროა გამოიცადოს ღორღი ბეტონში და შემდგომ მოხდეს მისი გამოყენება. მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონებში ძირითადად იყენებენ ბაზალტის, გაბროსა და გრანიტის ღორღს. უცხოეთში ძირითადად გამოიყენება ბაზალტის ღორღი. საქართველო მდიდარია ბაზალტის მარაგით, ამიტომ მისი შემსვებად გამოყენება მეტად რენტაბელურია. ნაშრომის კვლევებში განხილულია მარნეულის ბაზალტის ღორღი, შპს „ბორან-მაინინგის“, შპს „თიმალის“, შპს „ჯი და ჯი“-ს, კასპის და ქსოვრისის კარიერის ღორღი.

ვიციტ, რომ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ინერტული მასალების მარცვლოვნებას, მათ ფორმას, სისუფთავის ხარისხს. შემსვები ბეტონის მოცულობის დაახლოებით 80%-ია. ამით ძლიერ მცირდება ცემენტის ხარჯი – ამ მეტად ძვირადღირებული და დეფიციტური ბეტონის კომპონენტის. შემსვებების გამოყენებით ბეტონის დამზადებისას ხშირ შემთხვევაში ვაღწევთ ბეტონის სიმტკიცისა და დეფორმაციის მოდულის სათანადო სიდიდით გაზრდას და ბეტონის ცოცვადობის შემცირებას. გარდა ამისა შემსვები ბეტონში ამცირებენ ბეტონის შეკლების დეფორმაციასაც, რაც ითვლება დადებით მოვლენად. კონსტრუქციებში შეკლების დეფორმაციის არათანაბარი განაწილება წარმოქმნის შიგა ძაბვებს და ზოგჯერ მიკრობზარებსაც კი, რაც მოქმედებს პროდუქციის ხარისხზე. ყოველივე ზემოთხსენებულიდან გამომდინარე, მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონებისათვის, რომლებიც განიცდიან თბოტენიან დამუშავებას, მიკრობზარების და ბეტონის დესტრუქციული პროცესების მიმდინარეობის თავიდან აცილება უმნიშვნელოვანესია. აქედან გამომდინარე ტესტირებული იქნა რამოდენიმე სახეობის ღორღი და ქვიშა, გამოტანილი იქნა შესაბამისი დასკვნები და დადგენილი იქნა ოპტიმალური ვარიანტები. ღრუტანიანი ფილების დამზადების შემთხვევაში ღორღი და ქვიშა მიღებულია მდ. მტკვრის ბალასტის გადამუშავებით კასპის კარიერზე. რკინაბეტონის შპალებისა და დგარების საწარმოებლად გამოყენებული იქნა ქსოვრისის კარიერზე დამზადებული ინერტული მასალები.

ქვემოთ წარმოდგენილია იმ ზოგიერთი ინერტული მასალების გამოცდის შედეგები, რომლებზედაც შევჩერდით საბოლოოდ ბეტონის საწარმოებლად.

ГОСТ 8269-87-იხედვით                      ღორღის ანალიზი (ფრ. 5-10)                      სინჯი №1  
 კარიერი: „ქსოვრისი“                      ცხრილი 3

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		13	10	6,3	5	2,5	<2,5	D <sub>უდიდ</sub>	d <sub>უმც</sub>
კერძო მ;	გრ	0	19	875	961	58	36	10	5
	%	0	0,97	44,89	49,3	2,97	1,87		
სრული % A <sub>i</sub>		0	0,97	45,86	95,16	98,13	100		
ნორმა %, A <sub>i</sub>		0,5	10-მდე	30-60	90-100	95→100	100		

დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8267-93 შესწავლილი ღორღი აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად-რეკომენდირებულია.

ГОСТ 8269-87 მიხედვით

ღორღის ანალიზი (ფრ. 10-20)                      სინჯი 2

კარიერი: „ქსოვრისი“                      ცხრილი 4

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D <sub>უდიდ</sub>	d <sub>უმც</sub>
კერძო	გრ	–	–	111,8	4475,4	412,8		20	10

მ;	%	-	-	2,24	89,5	8,26	100		
სრული % $A_i$		-	-	2,24	91,74	100			

**დასკვნა:** თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად - რეკომენდირებულია.

### კასპის-ს ღორღის ხარისხის ანალიზი

კარიერი: კასპი

ცხრილი 5

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		13	10	6,3	5	2,5	<2,5	D <sub>უდიდ</sub>	d <sub>უმც</sub>
კერძო	გრ	0	19	875	961	58	36	10	5
მ;	%	0	0,97	44,89	49,3	2,97	1,87		
სრული % $A_i$		0	0,97	45,86	95,16	98,13	100		
ნორმა %, $A_i$		0,5	10-მდე	30-60	90-100	95→100	100		

**დასკვნა:** თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად - რეკომენდირებულია.

### ქვიშის ხარისხის ტესტირება

სინჯი № 1

კარიერი: ქსოვრისი

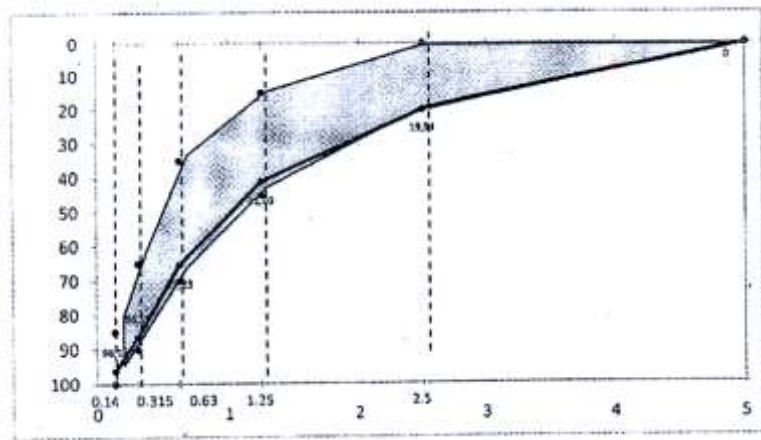
დამსხვრეული ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 6

მ	ტ	შ	გ	ას	ა	საცრითი ანალიზი	მ	ტ	შ	გ	ას	ა	ს	ე	ლ	მ	ა	ნ

	ს თარიღი	ბ	კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
			მთლიანი ნარჩენი საცრებზე, %											
			5	2,5	1,2	0,63	0,31	0,14						<0,1
94	15.09.2012	ა	2,2	17,8	21,2	24,24	21,2	9,6	3,82	1,32	1,5	3,09	39,7	3,82
		ბ		19,9	41,1	65,33	86,6	96,15	100					

ქვიშის მარცლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



**დასკვნა:** თანახმად ГОСТ 8736-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება მომატებული სიმსხვილის ქვიშების რიცხვს, ის აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად – რეკომენდებულია. (სასურველია თუ უკეთესად იქნება გარეცხილი).

მტვერისებრი ნაწილაკები – 2,33, თიხისებრი ნაწილაკები – 1,49

**ქვიშის ხარისხის ტესტირება**

**სინჯი № 2**

კარიერი: ქსოვრისი

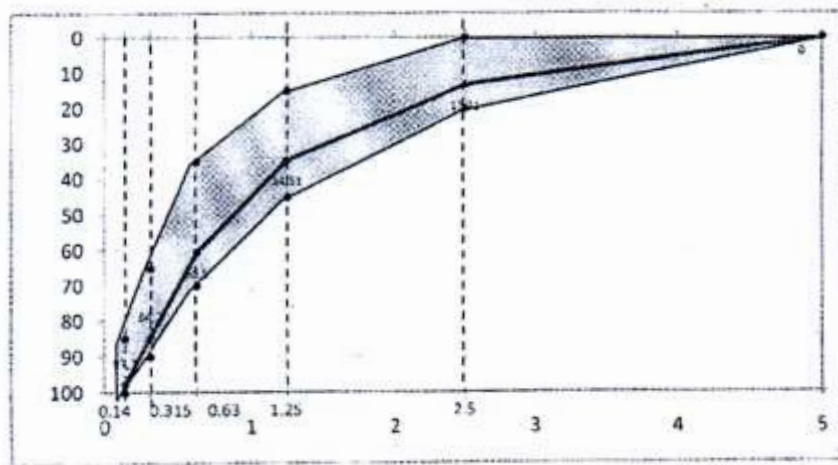
**ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი**

**ცხრილი 7**

# სინჯის	გასინჯვის	ა	საერთო ანალიზი	W <sub>სვ</sub> ტ/მ³	V <sub>შობ</sub> ტ/მ³	ღმ	სიცარიელე %	დაჭედილობა %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %					

	თარიღი	ბ	მთლიანი ნატჩენი საცერზე, %										
			5	2,5	1,2 5	0,6 3	0,31 5	0,1 4					
15	11.10.2014	ბ ნორმა, %	0-20	5-45	20-70	35-90	90-100	10-0	1,29	1,52	2,78	39,3	2,3
		ა	0,5	12,8	21,2	26	24,2	14	2,3				
		ბ		13,3	34,5	60,5	84,7	97,7	100				

ქვიშის მარცლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8736-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება მსხვილი სიმსხვილის ქვიშების რიცხვს. ის აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი

გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად- რეკომენდებულია

მტვერისებრი ნაწილაკები – 1,6, თიხისებრი ნაწილაკები – 0,7  $\Sigma=2,3\%$

კასპის ქვიშის ხარისხის ტესტი

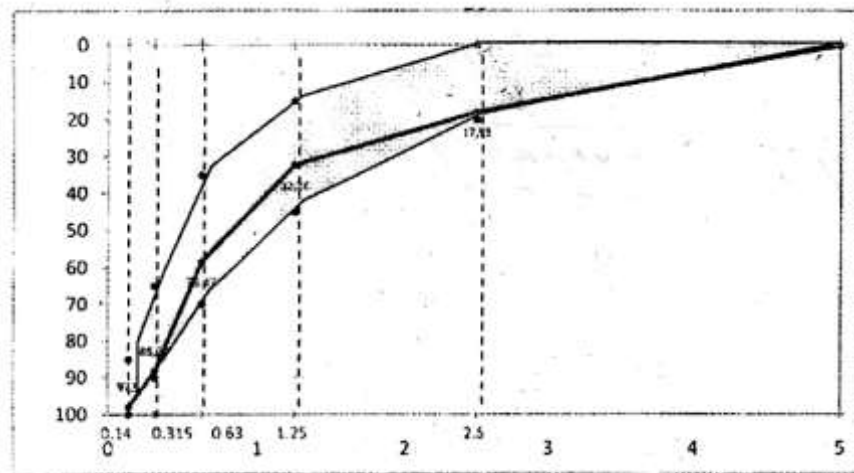
კარიერი: კასპი

ბუნებრივი – ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 8

№ სინჯი	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი						W <sub>ც</sub> ტ/ტ	V <sub>შო</sub> ტ/ტ	ρ <sub>სა</sub>	სიცარილე %	დაჭკუყიანება %	
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცრებზე, %											
			5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,15						<0,075
37	05.05.2018	ა	3,72	13,5	13,2	28,4	31,2	8,8	1,18	1,3	1,65	2,95	41	1,18
		ბ		17,22	30,42	61,62	92,82	100	100					

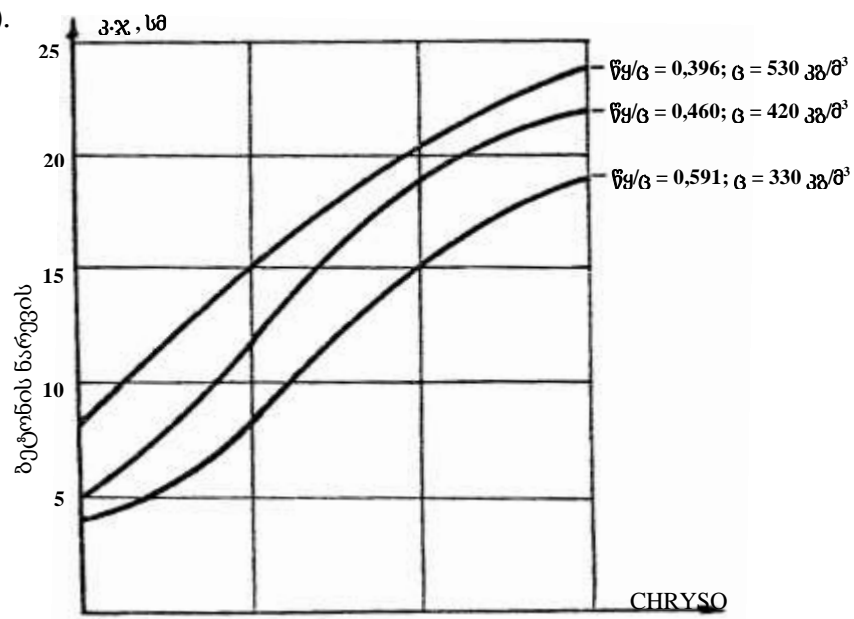
ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



**დასკვნა:** თანახმად ГОСТ 8736-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშების რიცხვს. ის აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდებულია. მტვრისებრი ნაწილაკები – 0,95, თიხოვანი ნაწილაკები – 0,23

**ქიმიური დანამატები:** ცნობილია, რომ 21-ე საუკუნეში არ იწარმოება არც ერთი კუბური მეტრი ბეტონი ქიმიური დანამატების გარეშე. ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური რეოლოგიური თვისებების რეგულირებისა და ცემენტის ეკონომიისათვის იყენებენ სხვადასხვა სახის დანამატებს, რომელთაც პირობით ჰყოფენ ორ ჯგუფად. პირველს მიეკუთვნება ქიმიური ნივთიერებები, რომლებსაც უმატებენ ბეტონს ცემენტის მასისადაც 0,1-2%. მეორე სახის არის წვრილად დისპერსული ანუ წმინდად დაფქული დანამატები, რომლებიც ემატება ბეტონის ნარევს 5-15%-ი ცემენტის ეკონომიის, სიმკვრივის ზრდის მიზნით და სხვა თვისებების

გასაუმჯობესებლად. ნაშრომში შევეხეთ ძირითადად მხოლოდ ბეტონისა და დულაბის ნარევის რეოლოგიური თვისებების რეგულატორებს ანუ სუპერპლასტიფიკატორებს, მაპლასტიფიცირებელი და წყალშეკავების უნარის დანამატებს. საქართველოში უხვად შემოდის იმპორტული მაპლასტიფიცირებელი დანამატები. მათი მოქმედების არეალი იმდენად დიდია, რომ შერჩევა კონკრეტულად ძალიან ძნელია, რადგან იგი საგრძნობლად ცვლის ბეტონის სტრუქტურულ მახასიათებლებს და ფართო დიაპაზონში არეგულირებს, როგორც ბეტონის ნარევის, ასევე გამაგრებული ბეტონის თვისებებს. გვადლევს საშუალებას გავზარდოთ ბეტონის ნარევის ძვრადობა, შევამციროთ წ/ც-ის ფარდობა 20-30 % და შესაბამისად გავზარდოთ ნაკეთობის ხარისხი. არჩევანი შევაჩერეთ ფრანგული წარმოების XelaH30N და CHRYSO premia G180. XelaH30N წარმოადგენს სულფირებულ მელამინ-ფორმალდეჰიდურ ფისს, ხოლო CHRYSO premia G180 - პოლიკარბოქსილატს. ხასიათდებიან მკვეთრად გამოხატული მაპლასტიფიცირებელი თვისებებით, შესახედად ისინი გამჭვირვალე უფერო სითხეებია. მშრალი ნარჩენი 29,4%-ია. ფხვნილის სახით შეტანილი დანამატის ოპტიმალური რაოდენობა 0,5%-ია შემკვრელის მასიდან. ჩვენს შემთხვევაში დანამატის გამოყენებამ მოგვცა შესაძლებლობა გაგვეზარდა ბეტონის სიმტკიცე 18%-ით, ხოლო ცემენტის ხარჯის 15%-ით შემცირებისას ასადულაბებელი წყლის შემცირების ხარჯზე შეგვენარჩუნებინა ბეტონის საწყისი სიმტკიცე და რაც მთავარია მათი მეშვეობით გახდა შესაძლებელი ბეტონის წინასწარი დაყოვნების დროის შემცირება 6-დან 5 საათამდე. ნაშრომში მოყვანილია გრაფიკები დანამატის ხარჯის დადგენისა ბეტონის ნარევის დასახული ძვრადობის მისაღებად სხვადასხვა წ/ც-ისა და ცემენტის ხარჯისა (ნახ. 1).



ნახ. 1. სუპერპლასტიფიკატორის ხარჯის დადგენა ბეტონის ნარევის დასახული ძვრადობის მისაღებად სხვადასხვა წყ/ც-ისა და ცემენტის ხარჯისას



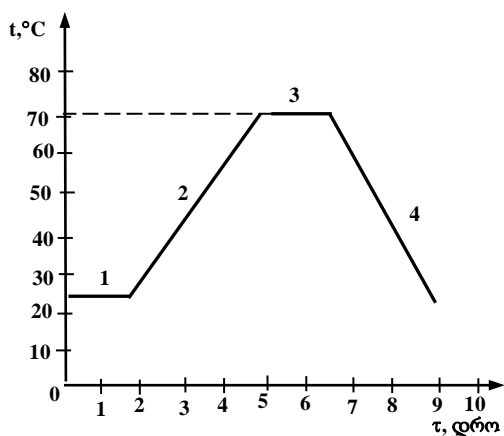
ნაშრომის მესამე თავში ამ მეთოდის შესაბამისად დამზადებული იქნა ბეტონის ნარევი, როგორც წინასწარდამზადებული ღრუტანიანი ფილების, ასევე წინასწარდამზადებული შპალების საწარმოებლად, რომლებშიც განსაზღვრული იქნა ბეტონის ნარევის ძვრადობა. კორექტირებების შემდეგ მოხდა ნომინალური შედგენილობების შერჩევა და შემდეგ მუშა რეცეპტების შედგენა, რომელიც მოცემულია ცხრილებში 9, 14.

საკონტროლო ნიმუშების (კუბების) ერთდროულად კუმშვაზე და არამრღვევი მეთოდით გამოცდების საფუძველზე კორექტირებული ინდუქტორის დრეკადი ასხლეტის სიდიდესა და ბეტონის სიმტკიცეს შორის გრადუირებული დამოკიდებულების გამოყენებით განსაზღვრული ბეტონის სიმტკიცე (სკლერომეტრის ჩვენებით) ახლოა მის რეალურ სიმტკიცესთან, რომელიც მიღებულია ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდით.(ცხრ.11).

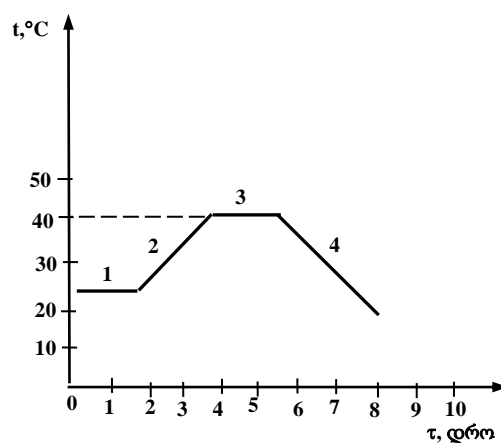
ლაბორატორაში შენახული ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების მრღვევი მეთოდით გამოცდის შედეგები მოცემულია 12-ე ცხრილში

როგორც მეათე ცხრილიდან ჩანს, ჩვენს მიერ გამოკვლეული რკინაბეტონის ღრუტანიანი ფილების ბეტონის ფაქტიური სიმტკიცე შესაბამისობაშია საპროექტოსთან.

ნახ. 2-ზე მოცემულია ღრუტანიანი ფილების თბოდამუშავების გრაფიკები სხვადასხვა ტემპერატურებზე.



გრაფიკი № 1



გრაფიკი № 2

ნახ. 2. ღრუტანიანი ფილების თბოდამუშავების გრაფიკები.

1 – დაყოვნების დრო; 2 – ტემპერატურის მატების დრო  
3 – იზოთერმული გახურება (T=const), 4 – ტემპერატურის დაწვევა

პირველი გრაფიკიდან ნათლად ჩანს, რომ ტემპერატურის აწევის დრო იზოთერმულ გახურებამდე შეადგენს სამ საათს, ხოლო მეორე გრაფიკის შემთხვევაში თემპერატურის მატება იზოთერმულ გახურებამდე შეადგენს 1,5 საათს. ბაგირების დამაბვა ხდება სპეციალური ჰიდრავლიკური აგრეგატის საშუალებით (სურ.1), რომლის მანომეტრის ჩვენების მიხედვით რეგულირდება ბაგირზე საჭირო დამაბულობის (1320 მპა) გადაცემა. ბაგირების დამაბვა ხდება სტენდის ბოლოებში მოწყობილ ძალოვან საბრჯენებზე.

წარმოდგენილ სურათებზე აღბეჭდილია საამქროს საერთო ხედი (სურ.2), მიმდინარეობს თბოდაამუშავების პროცესი (სურ-3), ფილების დამჭრელი დანადგარი(სურ. 4), გადაჭრილი ფილა (სურ. 5), წარმოებული მზა პროდუქცია (სურ. 6), წყლის გამაცხელებელი აგრეგატი(სურ. 7), ფორმებს ქვეშ გამავალი ცხელი წყლის მილები(სურ. 8).



სურ. 1



სურ. 2



სურ. 3



სურ. 4

ჩვენს მიერ დამუშავებული ღრუტანიანი ფილების რეცეპტი

ბეტონის

კლასი B-45

მარკა M-600

											წყ/ც
მასალის სახეობა	შემადგენლობა, %	სიმკვრივე გრ/სმ.კუბ	მოცულობა, ლიტ.	მასა კგ	ქვიშაში წყლის შემცველობა, %	ქვიშაში წყლის შემცველობა, კგ	მასა კგ	ქვიშაში წყლის შემცველობა, %	ქვიშაში წყლის შემცველობა, კგ	მასა კგ	0,34
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
მდ. ქვიშა (0-5)	50,3	2,65	369,8	980	0	0,0	980	9	88,2	1068,2	
ღორღი (5-10)	49,7	2,65	364,9	967	0	0,0	967	1	9,67	976,7	
ჯამი	100		734,7	1947			1947		97,87	20449	
წყალი		1	122	122			122				
ცემენტი CEMI 42,5R (M-500)		3,1	116	360			360			360	
პლასტიფიკატორი Xel AH30N		1,07	2,336	2,5	0,6		2,5			2,5	
ფორიანობა			24,96								
ჯამი			1000	2431			2431			2431	

ცხრილი 10

გამოსაკვლევი ფილების ბეტონის სიმტკიცე, განსაზღვრული  
სკლერომეტრის გამოყენებით

№ რიგზე	კონსტრუქციის დასახელება	სკლერომეტრის ჩვენება (საშუალო)	ბეტონის სიმტკიცე R, მპა
1	ფილა № 1	50,3	62,3
2	ფილა № 2	51,8	65,4
3	ფილა № 3	52,1	66,0
4	ფილა № 4	51,4	64,6
5	ფილა № 5	53,1	68,1
6	ფილა № 6	51,7	65,2
7	ფილა № 7	49,8	61,3
8	ფილა № 8	51,6	65,0
9	ფილა № 9	50,4	62,6
10	ფილა № 10	53,0	67,9
11	ფილა № 11	50,4	62,6

ლაბორატორაში შენახული ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების ურღვევი მეთოდით გამოცდის შედეგები მოცემულია 11-ე ცხრილში, ხოლო იმავე ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდა ასახულია 12-ე ცხრილში.

ცხრილი 11

ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების ურღვევი მეთოდით  
გამოცდის შედეგები

№ რიგზე	კონსტრუქციის დასახელება	სკლერომეტრის ჩვენება (საშუალო)	ბეტონის სიმტკიცე R, მპა	
			ნიმუშების მიხედვით	სკლერომეტრის ჩვენებით
1	ნიმუში № 1	52,6	66,3	67,0
2	ნიმუში № 2	52,7	64,2	67,2
3	ნიმუში № 3	52,2	65,9	66,2
4	ნიმუში № 4	50,1	59,3	61,9

ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის შედეგები

ცხრილი 12

ნიმუშების №	აღმსრულებელი	აღმსრულებლის სახელი	აღმსრულებლის დაარსების თარიღი	აღმსრულებლის მისამართი	t (დღე)	ნიმუშების აღწერა	ნიმუშის ზომები	აღმსრულებლის სახელი	მოცულობა V სმ <sup>3</sup>	ნიმუშის მასა m გ	მრეცვეი ძალა P, კნ	მასშტაბის კოეფიციენტი α	ბეტონის სიმტკიცე R=αP/F მპა (კგძ/სმ <sup>2</sup> )		ბეტონის საპროექტო კლასი
													ნიმუშის	საშუალო	
1	წინასწარ დაბეჭდილი რკინაბეტონის გადახურვის ღრუტანიანი ფილები	2	04.04 2018	05.05 2018	31	სტალინგრადი	148×150×150	22200	3330	8006	1471,52	1,0	66,3	65,3 (666)	B45
2							148×150×150						22200		
3		2	05.04 2018	05.04 2018	30		148×150×150	22200	3330	7996	1463,21		65,9	62,6 (639)	
4							148×150×150						22200		



სურ. 5



სურ. 6



სურ. 7



სურ. 8

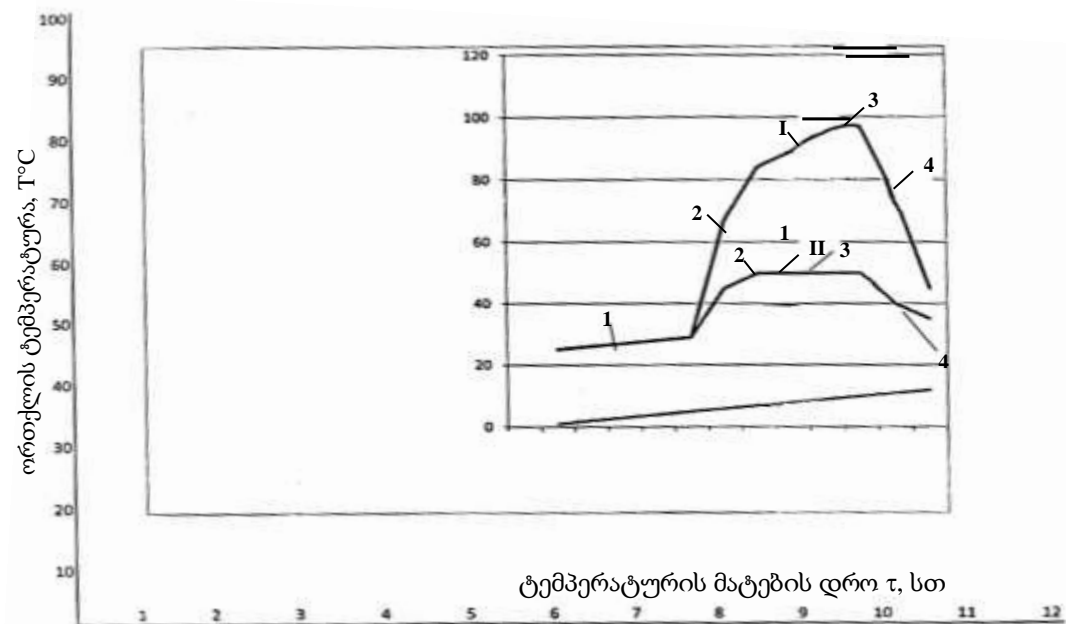
**დასკვნა:** ჩვენს მიერ გამოკვლეული წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის გადახურვის ღრუტანიანი ფილები (განივკვეთის ზომებით: სიმაღლე  $h = 200$  მმ-ს; სიგანე  $-1200$  მმ-ს, არმირების ტიპი  $- A2$ ), რომლებიც დამზადებული იყო  $40^{\circ}C$  ტემპერატურაზე თბოდაამუშავებით, გეომეტრიული პარამეტრებით აკმაყოფილებს პროექტის მოთხოვნებს, ზედაპირზე არ აღინიშნება არავითარი ბზარები. ისინი დამზადებულია სამშენებლო ნორმებისა და წესების სრული დაცვით თანამედროვე მანქანა-დანადგარების გამოყენებით. მათი მასალების მექანიკური მახასიათებლები – ბეტონისა და არმატურის სიმტკიცე, არმატურის დაძაბვის ხარისხი შეესაბამება საპროექტო მოთხოვნებს.

ნაშრომში წარმოდგენილი წინასწარდაძაბული ღრუტანიანი ფილების წარმოების ტექნოლოგიური პროცესისა და მათი გამოცდის შედეგების შესახებ გაკეთებულია დასკვნები. ახლა გვინდა წინასწარდაძაბული ნაკეთობების – შპალების ტექნოლოგიურ პროცესებსაც შევხვით, ჩვენს წინაშე დასმულ ამოცანებს და იმ შედეგებს, რომლებიც ჩატარებული კვლევების შედეგად გამოიკვეთა.

თბილისის რკინაბეტონის შპალის ქარხანაში იწარმოება მრავალი სახის რკინაბეტონის კონსტრუქციები, როგორცაა: რკინაბეტონის წინასწარდაძაბული შპალი, მაღალი ძაბვის გადამცემი წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის დგარი, რკინაბეტონის ბოძი, სამსხივიანი ანკერი, სამსხივიანი ფუნდამენტი, ხიმინჯი, სეტყვის საწინააღმდეგო ბადეების საყრდენი დგარი, ვენახის ბოძი, ამწის კონტრსიმძიმე, სამელიორაციო არხი JIP-10 და სხვა.

ზემოთ ჩამოთვლილი კონსტრუქციებიდან დეტალურად განხილულია შპალები, რომელთა დამზადების ტექნოლოგიური მიდგომები, მხედველობაში მაქვს თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები და ბეტონის ნარეგების ოპტიმალური შედგენილობებიც ჩემს მიერ იქნა შემუშავებული და რომელიც შემდგომ გამოვიყენე სადისერტაციო ნაშრომში.

ქვემოთ წარმოდგენილ გრაფიკზე ნაჩვენებია პირველი ტექნოლოგიური ხაზის მოქმედი გაორთქლვის რეჟიმი ზაფხულის პერიოდში(I) და ასევე ჩემს მიერ შეთავაზებული გაორთქლვის რეჟიმი (II) (ნახ. 3).



ნახ. 3. ტემპერატურული რეჟიმები თბოტენიანი დამუშავების დროს რკინაბეტონის შპალის საწარმოებლად პირველ ტექნოლოგიურ ხაზზე ზაფხულის პერიოდში

- I – თბოტენიანი დამუშავების მოქმედი (არსებული) რეჟიმი;  
 II – თბოტენიანი დამუშავების (შეთავაზებული) რეჟიმი;  
 1 – წინასწარი დაყოვნების დრო; 2 – ტემპერატურის მატების დრო;  
 3 – იზოთერმული დაყოვნების დრო  $T=const$ ; გადასაცემი სიმტკიცის ფორმირება; 4 – ტემპერატურის დაწვეის დრო.

ცხრილი 13

პარამეტრები	არსებული თტდ რეჟიმი (I) სქემით: 5+4+1.5+1.5→იზოთერმა 97°C											
დრო, τ, სთ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	
ტემპერატურა, T°C	25	26	27	28	29	67	84	89	97	97	45	

პარამეტრები	შეთავაზებული თტდ რეჟიმი (II) სქემით: 5+2+1+1→იზოთერმა 50°C											
დრო, τ, სთ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	
ტემპერატურა, T°C	25	26	27	28	29	45	50	50	50	50	35	

**დასახული ამოცანა:** ორთქლის ტემპერატურის შემცირება ბუნებრივი აირის ეკონომიის მიზნით, ასევე ცემენტის ხარჯის შემცირება.

**შენიშვნები:**

- წინასწარი დაყოვნების დრო შედგება შემდეგი სტადიებისაგან:
  - ბეტონის ნარევის ჩასხმა ფორმებში – 2,5 სთ; ბ) ფორფიტების ჩახსნა – 1,5 სთ; გ) სპეციალური ტილოს გადაფარება – 0,5 სთ; დ) დაყოვნება ორთქლის მიწოდებამდე – 0,5 სთ. ჯამში – 5 საათი.

ბეტონში სტრუქტურული დარღვევები შეიძლება წარმოიქმნას ტემპერატურის აწევის და დაწვეის პერიოდში. მათი თავიდან აცილების მიზნით მიმართავენ ბეტონის წინასწარ დაყოვნებას, რაციონალურად ირჩევენ ტემპერატურის აწევის და დაწვეის სიჩქარეებს.

კვლევები მიზნად ისახავდა დაგვედგინა ოპტიმალური თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები, ცემენტის ხარჯის მკვეთრი შემცირებით. ყველა ზემოთხსენებული კვლევები ჩატარებული იქნა თბილისის რკინაბეტონის შპალის ქარხნის ლაბორატორიაში.





სურ. 9 მასალების შემოწმება შპს-ების ქარხნის ლაბორატორიაში



სურ.10 მონაცემების შეტანა ადრიცხვის ჟურნალში



სურ. 11. ფოლადის ბაგირების გატარება კასეტურ ფორმებში

ზემოთ მოცემულ დიაგრამაში წარმოდგენილია ტემპერატურული რეჟიმები თბოტენიანი დამუშავების დროს რკინაბეტონის შპალის საწარმოებლად პირველ ტექნოლოგიურ ხაზზე ზაფხულის პერიოდში, საწყის ტემპერატურად აღებულია გარემოს ტემპერატურა 25°C.

2. ტემპერატურული რეჟიმიდან (I) ჩანს, რამდენად დარღვეულია და არასრულფასოვანია იზოთერმული დაყოვნების დრო  $t=const$  (3).

3. ტემპერატურული გრადიენტი ტემპერატურული რეჟიმის (I) შემთხვევაში დაყოვნების შემდეგ საწყის ეტაპზე ერთი საათის განმავლობაში შეადგენს 38°C/სთ, ხოლო ტემპერატურული რეჟიმის (II) შემთხვევაში – 16°C/სთ.

ცხრილი 14

რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად საბაზო და შეთავაზებული ბეტონის შედგენილობები

ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების ხარჯვითი ნორმები 1 მ <sup>3</sup> ბეტონის ნარევეზე, კგ	
არსებული (საბაზო) შედგენილობა	შეთავაზებული შედგენილობა
1. ცემენტი CEMI 42,5R (ჰაიდელბერგი) – 580*–600**	1. ცემენტი CEMI 42,5R (ჰაიდელბერგი) – 520
2. ქვიშა (ბუნებრივი) – 310	2. ქვიშა (ბუნებრივი) – 355
3. ქვიშა (დამსხვრეული) – 310	3. ქვიშა (დამსხვრეული) – 350
4. ღორღი (5–10) – 310	4. ღორღი (10–20) – 340
5. ღორღი (10–20) – 750	5. ღორღი (10–20) – 780
6. წყალი (სასმელი) – 190	6. წყალი (სასმელი) – 85 (ტენიანობის გათვალისწ.)
7. ქიმ. დანამატი CHRYSO PREMIA G-180-5	7. ქიმ. დანამატი CHRYSO PREMIA G-180-5
Σ = 2450 კგ/მ <sup>3</sup>	Σ = 2430 კგ/მ <sup>3</sup>

\* – ცემენტის ხარჯვითი ნორმა პირველ ტექნოლოგიურ ხაზზე

\*\* – ცემენტის ხარჯვითი ნორმა მეორე ტექნოლოგიურ ხაზზე

4. წინასწარი დაყოვნების დრო უფრო ბევრად არის დამოკიდებული ცემენტის თვისებების სტაბილურობაზე (შეკვრის დაწყების და დამთავრების დრო).

ბეტონის ჩასხმის პროცესის დროს ვიღებდი ხუთ პოზიციაზე საკონტროლო ნიმუშებს, რომლებსაც ვათავსებდი ტილოს ქვეშ ჩასხმულ შპალებთან ერთად გაორთქლების პროცესის დაწყებამდე.

შემოწმებისას დავადგინე, რომ (I) რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეები ბევრად ნაკლებია (II) რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეებთან შედარებით, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილში 15.

მეტად მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ სარკინიგზო შპალებს უწევთ მეტად რთულ კლიმატურ პირობებში ყოფნა, აქედან გამომდინარე საპროექტო მოთხოვნებშიც მაღალ სიმტკიცესთან ერთად ისინი უნდა აკმაყოფილებდნენ ყინვამედეგობის 200 ციკლს. ჩემს მიერ ჩატარებული იქნა კვლევები ამ მიმართულებითაც, რომლის შედეგებიც წარმოდგენილია 16 ცხრილში.



სურ. 12 ფოლადის ბაგირების დამჭიმი ჰიდრავლიკური დანადგარი



სურ. 13 დანადგარი, რომელიც უზრუნველყოფს ორთქლის გამკვებამდე სპეციალური ტილოს გადაფარებას კასეტურ ფორმებზე



სურ. 14 მიმდინარეობს თბოტენიანი დამუშავების პროცესი



სურ. 15 ლაბორატორიაში გამოსაცდელად წარმოდგენილი ბეტონის საკონტროლო ნიმუშები

ცხრილი 15

საკონტროლო ნიმუშების შედარებითი სიმტკიცეები, გაორთქლილი I და II რეჟიმებით

№ პოზიციის ჩასხმების მიხედვით	I რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეები შესაბამის პოზიციებზე, მპა	№ პოზიციის ჩასხმების მიხედვით	II რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეები შესაბამის პოზიციებზე, მპა
1	27,8	1	37,6
2	29,6	2	30,2
3	35,4	3	43,1
4	37,9	4	44,5
5	37,0	5	43,3
1	31,0	1	42,1
2	28,9	2	38,8
3	34,5	3	46,0
4	33,4	4	45,3
5	35,1	5	44,2



## ძირითადი დასკვნები

1. გამოკვლეულია ასაწყობი წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები. ჩატარებული სამუშაოს საფუძველზე დადგინდა ოპტიმალური რეჟიმები წინასწარდაძაბული ღრუტანიანი გადახურვის ფილების, სარკინიგზო შპალების და ელექტროგადაცემის დგარებისათვის. შპალების შემთხვევაში იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურა  $97^{\circ}\text{C}$  დან შემცირდა  $50^{\circ}\text{C}$  -მდე, გადახურვის ღრუტანიანი ფილების  $70^{\circ}\text{C}$  -დან,  $40^{\circ}\text{C}$  მდე, დგარების-  $90^{\circ}\text{C}$  -დან  $50^{\circ}\text{C}$  -მდე.
2. მიღებულია მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების ბეტონები გაუმჯობესებული შედგენილობებით, შედეგად გავზარდეთ ბეტონის სიმტკიცე 35მგპა - 40მგპა-მდე და თბოდამუშავებისას თავიდან ავიცილეთ დესტრუქციული პროცესები.
3. გამოვიკვლიეთ ადგილობრივი ინერტული მასალები ბეტონის საწარმოებლად (ქვიშა და ღორღი). მათი ფიზიკურ - მექანიკური მახასიათებლები, შევადარეთ მოქმედ სტნდარტებს. დავადგინეთ, რომ ჩვენი კვლევებისთვის საუკეთესო მაჩვენებლებით (გრანულომეტრია, სისხოს მოდული, მინარევების შემცველობა, მსხვრევადობის მაჩვენებელი და ა.შ/) გამოირჩევა; ღრუტანიანი ფილებისათვის მდ. მტკვრის ბალასტის გადამუშავებით მიღებული მასალები, კასპის კარიერიდან, ხოლო შპალებისა და დგარების საწარმოებლად მდ.ქსანზე არსებული ქსოვრისის კარიერიდან.
4. გამოკვლეულია საქართველოში (ჰაიდელბერგცემენტი) და თურქეთში (ტრაპიზონი) წარმოებული CEMI 42,5R ცემენტები და დადგენილია, რომ მათი ქიმიური და მექანიკური მახასიათებლები შეესაბამება ევროსტანდარტის EN197 – 1 მოთხოვნებს.
5. შესწავლილია საქართველოს ბაზარზე არსებული მაპლასტიფიცირებელი დანამატები და მათი გამოყენების ეფექტურობა. კერძოდ; სულფომელამინის ფორმალდეჰიდის ბაზაზე, პოლიკარბოქსილატები და ლიგნოსულფატები.
6. გამოკვლეული კომპონენტების საფუძველზე გაანგარიშებულია B 40-45 კლასის ბეტონის შედგენილობები. ა) საბაზო ( დანამატის გარეშე), ბ) ღრუტანიანი ფილებისათვის გამოვიყენეთ მაპლასტიფიცირებელი ლიგნოსულფონატის დანამატი XelAH30N-ი (0.7% ოდენობით ცემენტის მასიდან და წყ/ც- ფაქტორის 0,5-დან 0,33-მდე შემცირებით). შპალების დასამზადებლად გამოვიყენეთ კრაიზოს პოლიკარბოქსილატური მაპლასტიფიცირებელი დანამატი CHRYSO PREMIA G180.(0.97% ოდენობით ცემენტის მასიდან). მივიღეთ ბეტონის დენადობის მაღალი მაჩვენებლები 14 – 16 სმ ერთი ტექნოლოგიური ხაზისთვის და 20 – 21სმ მეორესთვის.

7. დავადგინეთ, რომ დაბალი წყ/ც - ის ფარდობა ბეტონის ნარევებში, საგრძნობლად ამცირებს ბეტონის შეკვრის ვადებს და წინასწარი დაყოვნების დროს თბოდამუშავებამდე, 6,5 საათიდან 5 საათამდე. ბეტონი ასწრებს განსაზღვრული სიმტკიცის აკრეფას და ხელს უშლის ბზარწარმოქმნას თბოდამუშავებისას.
8. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მოხდა წინასწარდამაბული რკინაბეტონის ღრუტანიანი პანელების, შპალებისა და დგარების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია; გაუმჯობესდა პროდუქციის ხარისხი, შემცირდა ცემენტის ხარჯი 13 - 15%-ით, თბოდამუშავების ტემპერატურა, გაიზარდა ბეტონის კლასი, ყინვამდეგობა, გაუმჯობესდა ნაკეთობის ვიზუალური მხარე. შედეგად მივიღეთ ეკონომიკური ეფექტი 8 – 10%-ი.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:**

1. ზ. ქარუმიძე, ზ. ბეკურიშვილი. ბეტონის გამაგრების დაჩქარება თბოდამუშავების დროს რკინაბეტონის ნაკეთობებში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ № 2(51), 2019, გვ. 63-66.
2. ზ. ქარუმიძე, ზ. ბეკურიშვილი. თბოდამუშავების გავლენა ბეტონის სიმტკიცის ზრდაზე და მასში მიმდინარე დესტრუქციულ პროცესებში. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერჯია“ №2(90). 2019 გვ. 54-59.
3. ზ. ბეკურიშვილი. რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების ოპტიმიზაცია საქარხნო პირობებში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 4(53), 2019, გვ. 77-82.
4. მ. ტურმელაძე, ზ. ბეკურიშვილი, ზ. ქარუმიძე. მდგენელების ხარისხისა და დოზირების გავლენა ბეტონის ნარევის და გამყარებული ბეტონის თვისებებზე. II საერთაშორისო სიმპოზიუმი „სეისმომდეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია“. 16-17 იანვარი 2019. გვ. 90-95.

## Abstract

Although the major share of construction in our country comes on monolithic construction, there are still responsible concrete and reinforced concrete items and structures that require the production of precast reinforced concrete items, especially since 80% of construction in foreign countries comes on precast reinforced concrete items and structures. In Tbilisi we would mention "Mega Holding" that successfully manufactures pre-stresses hollow flooring slabs and other items, as well as the Tbilisi Sleeper Factory, manufactures sleepers and power supply masts and some other enterprises for complex construction products for complex construction. For this type of items and structures, is necessary heat treatment in the plant conditions, because at this time the item achieves 70% and more of its design strength in a few hours, which that it must achieve during 28 days / night of natural hardening.

The heat treatment process makes 70-80% of the total technological cycle, with 70% of the total energy required for the production of precast reinforced concrete items. The expenses on heat treatment are not only due to the cost of steam and other types of energy, it also depends on the number of molds and the consumption of cement.

The reduced duration of heat treatment decrease's the mold's turnover time, specific heat consumption required for the heat treatment of the item, so accelerating the hardening of concrete is an important measure in the manufacturing of concrete and reinforced concrete items that is carried out by changes in technological process (application of fast-hardening cements, vibro-activation of concrete mixture, etc) joined with implementation of chemical additives-accelerators.

Precast reinforced concrete items are heat-treated until they reach mould and handling strength. In modern buildings, containing wall structures sometimes consist of several layers of building materials with different thermal characteristics and processes associated with non-standard heat transfer may occur during the operation of subsequent buildings.

Special attention should be paid to the full maintaining of the technology of plant-manufactured concrete and reinforced concrete structures, we are talking on structures, because it effects on the quality of the product and its operational properties.

The work is dedicated to the theoretical and experimental study of heat treatment modes for reinforced concrete products, selection of concrete compositions with high performance properties, using local raw materials and modern chemical additives. The destructive processes that take place during heat treatment in concrete in order to obtain high quality products are considered.

Reducing the heat treatment time of items in modern conditions is a very effective way of accelerating of manufacturing that is widely applied in the industry of production of building materials worldwide. This is a precondition for a significant economic effect.

One of the main current task is to improve existing technologies and develop new methods to accelerate the reinforcement of concrete. For this purpose, the in the work are considered the types of heat treatment, periods of the general cycle, tables with physical and mechanical parameters of concrete. Cement activity efficiency coefficient during evaporation. The dependence of the increase in hardness of heavy concrete made of Portland cement on the heat treatment cycle (40-50°C). Destructive processes and ways to reduce them during heat treatment due the application of latest chemical additives are considered. Measures to reduce the overall heat treatment cycle have been developed. Design concrete compositions acceptable for heat treatment are compiled.