

## მერაბ აბაზაძე

სეისმომედეგი მშენებლობისათვის, მაღალი საექსპლოატაციო თვისებების მქონე ბეტონების, ადგილობრივი მასალების გამოყენებით მიღება და კვლევა.

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ივნისი, 2016 წელი

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელის მომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მერაბ აბაზაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „სეისმომედეგი მშენებლობისათვის, მაღალი საექსპლოატაციო თვისებების მქონე ბეტონების, ადგილობრივი მასალების გამოყენებით მიღება და კვლევა.“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი

პროფესორი:

რევაზ ცხვედაძე

---

რეცენზენტი: ტ.მ.დ. პროფესორი ზეინაბ ქარუმიძე

---

რეცენზენტი: ტ.მ.დ. პაპუნა მენაბდიშვილი

---

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016 წელი

ავტორი: მერაბ აბაზაძე

დასახელება: სეისმომედეგი მშენებლობისათვის, მაღალი საექსპლოატაციო თვისებების მქონე ბეტონების, ადგილობრივი მასალების გამოყენებით მიღება და კვლევა.

ფაკულტეტი: სამშენებლო

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

საქართველო მდებარეობს სეისმურად აქტიურ და ამავე დროს სეისმურად საშიშ (ძლიერი სეისმური ზემოქმედება 7-8-9- ბალი) რეგიონში. ამასთან ქვეყნის მოსახლეობის სიცოცხლესა და ჯანმრთელობას საფრთხეს უქმნის არა იმდენად თვითონ მიწისძვრები არამედ ადამიანის მიერ შექმნილი საცხოვრებელი თუ სხვა დანიშნულების შენობა-ნაგებობები, ამიტომ სეისმომდეგი მშენებლობა საქართველოში აქტუალურია და წარმოადგენს ქვეყნის ნაციონალური უსაფრთხოების მნიშვნელოვან შემადგენელ ნაწილს. საქართველოში შენობა - ნაგებობათა სეისმომდეგობის უზრუნველყოფის მეთოდების განვითარება და სეისმურ საფრთხესთან დაკავშირებული დანახარჯების შემცირება წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს პრობლემას, რომლის გადაწყვეტასაც ენიჭება დიდი სამეცნიერო და პრაქტიკული მნიშვნელობა. გეოლოგიურ პირობებთან და კონსტრუქციულ გადაწყვეტილებასთან ერთად მნიშვნელოვან კომპონენტს, სეისმური ზემოქმედების პირობებში შენობა - ნაგებობების საიმედოობისათვის წარმოადგენს საშენი მასალების ხარისხი, როგორც შენობის კონსტრუქციული ელემენტების მდგრადობის და სეისმომდეგობის უზრუნველყოფის საშუალება.

საქართველოში, ისევე როგორც მსოფლიოში, ბეტონი დღესაც რჩება უმთავრეს საშენ მასალად. ჩვენში მშენებლობები მეტწილად ხორციელდება მონოლითური მეთოდით სადაც ძირითადად საშუალო კლასის (C 16/20 ... C 45/55) ე.წ. „სასაქონლო ბეტონები“ გამოიყენება.

სეისმურად საიმედო და მდგრადი ნაგებობების მშენებლობის აუცილებლობამ გაამკაცრა ბეტონის ნაკეთობებისადმი წაყენებული მოთხოვნები. დღეს მსოფლიოში აღინიშნება ტენდენცია, რომელიც გულისხმობს მშენებლობაში მაღალი სიმტკიცის არმატურისა და მაღალი სიმტკიცის ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის მაღალი საექსპლოატაციო თვისებების მქონე ბეტონების გამოყენებას.

საქართველოსში დღეისათვის უცნობია ადგილობრივი მასალებით ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის ბეტონების მიღების შესაძლებლობები. ამისათვის საჭიროა ქვეყნის სამშენებლო ბაზარზე არსებული მასალების თვისებების კვლევა,

მსოფლიოში არსებული თანამედროვე ტექნოლოგიების ათვისება და მორგება ადგილობრივ პირობებთან, ნორმატიული დოკუმენტების შექმნა და ა.შ.

მიუხედავად ბეტონმცოდნეობაში არსებული მიღწევებისა ამ მიმართულებით ჩასატარებელი კვლევების საჭიროება მდგომარეობს კიდევ იმაში, რომ როგორც პრაქტიკამ აჩვენა, ახალი თაობის მაღალი მარკიანობის ბეტონებს ახასიათებთ მაღალი სიმყიფე და მგრძობელობა ცვალებადი ზემოქმედებების მიმართ, ასეთი ბეტონისაგან დამზადებულ კონსტრუქციების ზედაპირებზე ადვილად წარმოიქმნება ბზარები რაც ზრდის მათ სიმყიფეს და ამცირებს კონსტრუქციის მდგრადობას და ხანმედევობას. ზოგადად საქართველოში ისევე, როგორც ბევრ სხვა ქვეყანაში მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ფიზიკო-მექანიკური თვისებები დღეისათვის ჯერ კიდევ არ არის ჯეროვნად შესწავლილი, ამიტომ სეისმომდებელი მშენებლობისათვის საჭირო კონსტრუქციების პროექტირებისათვის საჭირო ბეტონის მახასიათებლები მაღალი სიმტკიცის ბეტონებისათვის არ არის სათანადოდ გამოკვლეული და დასაბუთებული.

წინამდებარე ნაშრომში განხილულია საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის შემავსებლების გამოყენებით, სამშენებლო ბზარზე არსებული ცემენტებით, ბეტონის თვისებების მამოდიფიცირებელი დანამატების შერჩევით, საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის გაზრდისათვის საჭირო, ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის მოდიფიცირებული, დისპერსიულად არმირებული, ნაკლებადმყიფე, ნაკლებადფორიანი, ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებადანიზოტროპული თვისებების მქონე ბეტონების შემადგენლობების ვარიანტების შექმნა და მათი თვისებების კვლევა.

# **Manufacturing and Investigation of Concretes of High Operational Characteristics for Seismic Resistant Construction Based on Local Materials**

## **Abstract**

Georgia is located in the earthquake prone, and dangerous from this point of view (seismicity 7-8-9) region. The same time the hazard to population life and health is not thus much from earthquakes itself, but due to dwelling houses and other buildings and structures, created by human. So, the earthquake engineering in Georgia actual and represents the substantial part of the country national safety. In Georgia the development of earthquake securing methods and decreasing of costs related to earthquake dangerous represents the substantial problem, whose solution has a great scientific and practical meaning. The quality of construction materials, as the mean, ensuring the structural element steadiness and seismic stability, jointly to the geologic conditions and structural solution represents the significant component for the reliability of building and structures under the seismic action.

In Georgia, as in all world, the concrete up to now is the main structural material. By us the construction, mostly, is implemented using the cast-in- situ concrete method, where, mainly, concretes of the middle classes (C 16/20. . C 045/55), so called “ready mix concretes” are used.

The necessity of construction of the seismically reliable and steady buildings and structures has hardened the requirements to the concrete products. At present in world exist the trend of use in construction of high strength reinforcement and high strength concrete of new generation –C 50/60 – C 100/115 classes, having high operational properties.

In Georgia at present the possibility of manufacturing of new generation concretes classes of C 50/69 – C 100/115, using the local materials, unknown. For this purpose, the investigation of materials, existing in the country construction market, introduction of the modern technologies, existing in the world and fitting it to local conditions, creation of normative documents, are necessary.

In spite of achievements existing in concrete science, the practice has indicated the necessity of investigations in this direction, as far as the high strength concretes have the high fragility and sensitivity to the variable actions, on the surfaces of structures manufactured of such concrete, the cracks easily arise those increase their fragility and decrease the structure stability and durability. Generally, at present, in Georgia, as well as in many countries, the physical-mechanical properties of the high strength concretes are not enough learned, so, the characteristics of concrete, needed for earthquake -proof design are not conformably investigated and substantiated.

In the present work the creation of the reference versions of mixes of dispersedly reinforced, less fragile, less porous, less trended to crack arising, less isotropic concretes of new generation, classes of C 50/69 – C 100/115, needed for increasing of structure stability in Georgia, using the aggregates of different regions of Georgia, cements existing in building market, matching the additions modifying the concrete properties and investigation of their properties is considered.

## შინაარსი

შესავალი -----	17
<b>1.ლიტერატურის მიმოხილვა -----</b>	<b>22</b>
1.1. მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ზოგადი მიმოხილვა -----	22
1.2. სუპერპლასტიფიკატორების მიმოხილვა -----	25
1.3. მაღალდისპერსული კაჟმიწაშემცველი მასალების (მიკროკაჟმიწა) მიმოხილვა-----	28
1.4. სუპერპლასტიფიკატორების, მიკროკაჟმიწის და მათ ბაზაზე დამზადებული კომპლექსური დანამატების გამოყენებით მიღებული მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ზოგადი დახასიათება -----	30
1.5. მომავლის ბეტონების კონცეფცია და პერსპექტივები -----	32
<b>2. შედეგები და მათი განსჯა -----</b>	<b>38</b>
2.1. ლაბორატორია -----	38
2.1.1. ლაბორატორია და დანადგარები -----	38
2.1.2. ექსპერიმენტების ჩატარების მეთოდოლოგიური და მეტროლოგიური უზრუნველყოფა -----	40
2.1.3. ლაბორატორიის ბეტონის შემკვრელებით, შემვსებებით, რეაქტივებით და დანამატებით აღჭურვა -----	42
2.2. ბეტონის შემადგენელი მასალების ტესტირება -----	42
2.2.1. საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე არსებული EN 197 შესაბამისი ცემენტების ტესტირება -----	42
2.2.2. საქართველოში სხვადასხვა სამსხვრევ-მახარისხებელი საწარმოების მიერ წარმოებული ღორღის თვისებების კვლევა -----	48
2.2.2.1. მდინარე ხრამის აუზში წარმოებული ღორღის ტესტირება -----	49
2.2.2.2. თბილისი-რუსთავის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება -----	50
2.2.2.3. ფოთი-ბათუმის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება -----	52
2.2.2.4. თელავი-ახმეტის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება -----	54
2.2.2.5. ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება -----	55
2.2.2.6. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება -----	56
2.2.2.7. ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება -----	58



2.2.2.8. მარნეულის ბაზალტის ღორღის ხარისხის ტესტირება -----	60
2.2.3. საქართველოში სხვადასხვა სამსხვრევ-მახარისხებელი საწარმოების მიერ წარმოებული ქვიშის თვისებების კვლევა -----	62
2.2.3.1. მდინარე ხრამის აუზის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	62
2.2.3.2. მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	64
2.2.3.3. თბილისი-რუსთავის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	66
2.2.3.4. მარნეულის ბაზალტის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	67
2.2.3.5. მდინარე ქსნის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	69
2.2.3.6. ფოთი-ბათუმის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	70
2.2.3.7. თელავი-ახმეტის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	71
2.2.3.8. ქუთაის - ტყიბულის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	72
2.2.3.9. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება -----	73
2.2.3.10. ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ქვიშის ტესტირება -----	75
2.2.4. ბეტონის მაკლასტფიცირებელი დანამატების შერჩევა - ტესტირება -----	77
2.2.4.1. ექსპერიმენტები Sika-ს დანამატების გამოყენებით -----	79
2.2.4.2. ექსპერიმენტები BASF-ის დანამატების გამოყენებით -----	81
2.2.5. ბეტონის სტრუქტურის მამოდიფიცირებელი დანამატების კვლევა -----	82
2.2.5.1. ნორვეგიული მიკროსილიციუმის (Mikrosilica) და ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სილიკომანგანუმის მტვრის ტესტირება -----	84
2.2.5.2. ცემენტის ქარხნის ღუმელის მტვრის ტესტირება -----	88
2.2.5.3. საქართველოში ფართოდ გავრცელებული წყლიანი ალუმოსილიკატების ჯგუფის მინერალების შემცველი ზოგიერთი არამადნეული წიაღისეულის (თიხა-ფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები) კვლევა.-----	89
<b>2.3. მოცულობითი მიკროარმირების ხერხების ძიება -----</b>	<b>95</b>
2.3.1. მოცულობითი მიკროარმირების გავლენა დულაბის თვისებებზე -----	96
<b>2.4. ახალგაზრდა ბეტონის გამოზრდა - მოვლა ფორიანობის და სიცარიელების შემცირების ხელშემწყობი ღონისძიებების გამოყენებით -----</b>	<b>101</b>

2.5. ჰიდროთერმოდამუშავების თანამედროვე მეთოდების ძიება -----	102
2.6. ჩატარებულ კვლევების საფუძველზე შერჩეული: მდინარეული წარმოშობის შემვსებებით, პლასტიფიკატორით და მოდიფიცირებული არამადნეული მინერალური წიაღისეულით, ახალი თაობის მაღალი სიმტკიცის C 50/60 – C100/115 კლასის ბეტონის ოპტიმალური შემადგენლობების შედგენა და ტესტირება --	108
2.6.1. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	108
2.6.2. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	110
2.6.3. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	111
2.6.4. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	112
2.6.5. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	113
2.6.6. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	114
2.7. მიღებული ბეტონის ნიმუშების გამოცდა წყალუჟონადობაზე -----	116
2.8. მიღებული ბეტონის ნიმუშების გამოცდა ყინვაშედეგობაზე -----	116
2.9. მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ტექნიკურ - ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასება -----	118
2.9.1. უჭრი კოჭის გაანგარიშება -----	119
2.9.2. უნივერსალური გამოთვლითი კომპლექსის „LIRA“ - ს გამოყენებით სამშენიანი ჩარჩოს გაანგარიშება. -----	121
<b>3. დასკვნები -----</b>	<b>121</b>
გამოყენებული ლიტერატურა -----	123
დანართი N1 -----	128

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. სუპერპლასტიფიკატორების კლასიფიკაცია -----	26
ცხრილი 2. რუსთავის და ტრაპიზონის ქარხნების CEM I 42,5 R ცემენტების ქიმიური შემადგენლობა (%) -----	46
ცხრილი 3. ექსპერიმენტებში გამოყენებული პორტლანდცემენტების EN 196-ის მიხედვით ტესტირების შედეგები -----	46
ცხრილი 4. მდ. ხრამის აუზის ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა-----	49
ცხრილი 5. თბილისი-რუსთავის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	51
ცხრილი 6. ფოთი-ბათუმის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	53
ცხრილი 7. თელავი-ახმეტის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	54
ცხრილი 8. ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	55
ცხრილი 9. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	57
ცხრილი 10. ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრია -----	59
ცხრილი 11. მარნეულის ბაზალტის ღორღის გრანულომეტრია -----	61
ცხრილი 12. მდ. ხრამის აუზის ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა -----	63
ცხრილი 13. მდ. მტკვრის აუზის ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა -----	65
ცხრილი 14. თბილისი-რუსთავის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	66
ცხრილი 15. მარნეულის ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრია -----	68
ცხრილი 16. მდინარე ქსნის ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა -----	69
ცხრილი 17. ფოთი-ბათუმის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	70

ცხრილი 18. თელავი-ახმეტის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	72
ცხრილი 19. ქუთაის- ტყიბულის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	72
ცხრილი 20. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა -----	74
ცხრილი 21. ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრია -----	76
ცხრილი 22. ბეტონის ნარევის შემადგენლობა ვისკოკრეტის დამატებით (ნარევი №1) -----	79
ცხრილი 23. ბეტონის ნარევის შემადგენლობა ვისკოკრეტის დამატებით (ნარევი №2) -----	80
ცხრილი 24. ვისკოკრეტის დამატებით მიღებული ბეტონის სიმტკიცის საშუალო მაჩვენებლები ასაკის მიხედვით (ნარევი №1) -----	80
ცხრილი 25. ვისკოკრეტის დამატებით მიღებული ბეტონის სიმტკიცის საშუალო მაჩვენებლები ასაკის მიხედვით (ნარევი №2) -----	81
ცხრილი 26. ბეტონის BASF-ის დანამატების გამოყენებით ტესტირების მონაცემები -----	82
ცხრილი 27. ზოგიერთი მიკროშემავსებლის ქიმიური შემადგენლობა -----	86
ცხრილი 28. ფეროშენადნობთა წარმოების ულტრადისპერული ნარჩენების ზოგიერთი ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებელი -----	86
ცხრილი 29. ზესტაფონის სილიკო - მანგანუმით და ნორვეგიული მიკროსილიკით მოდიფიცირებული ბეტონის ნარევის შემადგენლობა -----	87
ცხრილი 30. კუმშვისას ბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება მასალის ასაკზე -----	88
ცხრილი 31. ცემენტის მტვრის მიკროშემავსებელზე დამზადებული ბეტონის ტესტირება -----	89
ცხრილი 32. მინერალების ქიმიური შემადგენლობა ოქსიდების სახით -----	90
ცხრილი 33. სხვადასხვა წარმოშობის ბოჭკოვანი მასალის ზემოქმედება ცემენტის ქვის ღუნვა-კუმშვაზე -----	95
ცხრილი 34. ბაზალტის ფიბრის სიგრძის და რაოდენობის გავლენა დუღაბის თვისებებზე -----	97

ცხრილი 35. ბაზალტის ფიბრის სიგრძის და რაოდენობის გავლენა დუღაბის სიმტკიცეზე ღუნვასა და კუმშვაზე -----	98
ცხრილი 36. ბაზალტის ფიბრის რაოდენობის და ვიბრირების გავლენა დუღაბის თვისებებზე -----	100
ცხრილი 37. ბაზალტის ფიბრის რაოდენობის და ვიბრირების გავლენა დუღაბის თვისებებზე -----	101
ცხრილი 38. გაორთქლილი ბეტონის ნიმუშების გამოცდის შედეგები -----	106
ცხრილი 39. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	109
ცხრილი 40. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	110
ცხრილი 41. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	111
ცხრილი 42. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	112
ცხრილი 43. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	113
ცხრილი 44. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება -----	114
ცხრილი №45. გამოკვლეული მაღალი სიმტკიცის ბეტონის ნიმუშების შედგენილობა და მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები -----	118

### **ნახაზების ნუსხა**

ნახ.1. საქართველოში ცემენტის წარმოების დიაგრამა -----	43
ნახ.2 მდინარე ხრამის აუზში წარმოებლი ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი---	50
ნახ. 3. თბილისი-რუსთავის რეგიონი ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი -----	52
ნახ. 4. ფოთი-ბათუმის რეგიონი ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი -----	53
ნახ. 5. ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი -----	56
ნახ. 6. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრია -----	58
ნახ. 7. ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი -----	60

ნახ. 8. ბაზალტის გრანულომეტრიული მრუდი -----	61
ნახ. 9. მდ. ხრამის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი -----	64
ნახ.10. მდ. მტკვრის ქვიშის გაცრის გრაფიკი -----	65
ნახ. 11. თბილისი-რუსთავის რეგიონი ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი -----	67
ნახ. 12. ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი -----	68
ნახ. 13. მდ. ქსნის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი -----	70
ნახ. 14. ფოთი-ბათუმის რეგიონი ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი -----	71
ნახ. 15. ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი -----	73
ნახ. 16. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრია -----	75
ნახ. 17. ზუგდიდი-მესტიის ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი -----	76
ნახ.18. შესწავლილი მინერალების თერმოგრაფიული კვლევის შედეგები -----	91
ნახ. 19. ნედლი თიხაფიქლის რენდგენოდიფრაქტოგრამა -----	92
ნახ. 20. თერმულად დამუშავებული თიხაფიქლის რენდგენოდიფრაქტოგრამა ---	92
ნახ. 21. ნედლი ცეოლით კლინოპტელოლიტის რენდგენოდიფრაქტოგრამა ----	93
ნახ.22.თერმულად დამუშავებული ცეოლით კლინოპტელოლიტის რენდგენოდიფრაქტოგრამა -----	93
ნახ. 23. ნედლი ბენტონიტური თიხის რენდგენოდიფრაქტოგრამა -----	94
ნახ. 24. ნედლი ბენტონიტური თიხის რენდგენოდიფრაქტოგრამა -----	94
ნახ. 25. თიხა-ფიქალით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 7 დღის ასაკში -----	109
ნახ. 26. თიხა-ფიქალით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 28 დღის ასაკში -----	110
ნახ. 24. ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 7 დღის ასაკში -----	111
ნახ. 28.ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 28 დღის ასაკში -----	112
ნახ. 29. ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 7 დღის ასაკში -----	113

ნახ. 30. ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 28 დღის ასაკში -----	114
ნახ. 31. მდ. ხრამის შემვსებებზე დამზადებული ბეტონების კუმშვაზე გამოცდის დიაგრამა -----	115
ნახ. 32. უჭრი კოჭის საანგარიშო სქემა -----	119

### სურათების ნუსხა

სურ. №1 ნიმუშების კუმშვაზე და ღუნვაზე გამოსაცდელი წნეხი -----	39
სურ. №2 ნიმუშების კუმშვაზე და ღუნვაზე გამოსაცდელი წნეხი -----	39
სურ. №3 კლიმატური კარადა ცემენტის ნიმუშებისათვის -----	42
სურ. №4 ცემენტის ხარისხის გამოსაკვლევი ხელსაწყოები -----	47
სურ. №5 საშრობი ღუმელი -----	62
სურ. №6 ქვიშისა და ღორღის საცრელი დანადგარი -----	77
სურ. №7. ბეტონის ნიმუშების გასაორთქლი კამერა -----	108
სურ. №8 ბეტონისა და ცემენტის ნიმუშების დასაყალიბებელი დანადგარები -----	115
სურ. №9 ბეტონის ნიმუშების წყალშეღწევადობის განმსაზღვრელი დანადგარი -----	116
სურ. №10 ნიმუშების ყინვამდეგობაზე გამოსაცდელი დანადგარი -----	117

## მადლიერება



## შესავალი

ძლიერი სეისმური ზემოქმედება - იგივე მიწისძვრა ერთ ერთი ყველაზე მრისხანე სტიქიური მოვლენაა, იგი იწყება უცებ გამაფრთხილებელი ნიშნების გარეშე და თავის მაქსიმალურ ძალას რამოდენიმე წამში ავლენს! ადამიანები ვერ ასწრებენ დასანგრევად განწირული შენობების დატოვებას, არა აქვთ შესაძლებლობა გადაარჩინონ არა თუ სხვისი არამედ საკუთარი სიცოცხლეც კი, მრავალი თაობების შრომით დაგროვილი მატერიალური და კულტურული ფასეულობა.

როგორც ცნობილია საქართველოს მთელი ტერიტორია წარმოადგენს ალპურ-ჰიმალაური სარტყელის ერთ-ერთ ნაწილს, რომლის ტექტონიკური აგებულება განისაზღვრება ევრაზიული და არაბეთის ფილებს შორის მდებარეობით, რაც განაპირობებს მისი სეისმური აქტიურობის და საშიშროების მაღალ დონეს (7-8-9 ბალი). მიწისძვრების ფოკუსური მექანიზმი ძირითადად ნაწევის (გვერდული ძვრის) ბუნებისაა. მიწისძვრის კერები განლაგებულია მინიმალური სიღრმით 10-15 კმ-ზე. საქართველოს ალბათურ-სეისმოლოგიური საშიშროების რუკის მიხედვით ჩვენი ქვეყნის დიდი ნაწილი წარმოადგენს მაღალი სეისმური რისკის ზონას, რაც გულისხმობს ტერიტორიაზე სოციალური და ეკონომიკური დანაკარგების, ადამიანთა მსხვერპლის და სხვა ზარალის მახასიათებელს დროის ერთეულში, რომელიც ერთი მხრივ განპირობებულია რეგიონის მაღალი სეისმური საშიშროებით და მეორე მხრივ საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული ქალაქების და სოფელების თავისი საცხოვრებელი, საზოგადოებრივ-ადმინისტრაციული, სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო, ენერგეტიკული, ირიგაციული, სატრანსპორტო და სხვა დანიშნულების შენობების და ნაგებობების სეისმომდეგობის დონით.

საბედნიეროდ მიწისძვრების უმრავლესობა დაუსახლებელ ტერიტორიებზე ვლინდება, მაგრამ ხშირად ძლიერი მიწისძვრის კერა ახლოს აღმოჩნდება ხოლმე ქალაქებთან და სხვა დასახლებულ პუნქტებთან. ასეთ შემთხვევებში ინგრევა არასეისმომდეგი შენობა - ნაგებობები, რასაც მოსდევს დიდი მატერიალური ზარალი და ხშირად ადამიანთა მსხვერპლიც კი. ზოგადად მოსახლეობის სიცოცხლესა და ჯანმრთელობას საფრთხეს უქმნის არა იმდენად თვითონ მიწისძვრა არამედ ადამიანის მიერ შექმნილი საცხოვრებელი თუ სხვა დანიშნულების შენობა-ნაგებობები, ამიტომ სეისმომდეგი მშენებლობა სეისმურად აქტიურ რეგიონებში წარმოადგენს ნებისმიერი ქვეყნის ნაციონალური უსაფრთხოების უმნიშვნელოვანეს შემადგენელ ნაწილს.

სეისმურ რეგიონებში შენობა - ნაგებობათა სეისმომდეგობის უზრუნველყოფის მეთოდების განვითარება და სეისმურ საფრთხესთან დაკავშირებული დანახარჯების შემცირება წარმოადგენს გლობალურ პრობლემას, რომლის გადაწყვეტასაც ენიჭება დიდი სამეცნიერო და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

გეოლოგიურ პირობებთან და კონსტრუქციულ გადაწყვეტილებასთან ერთად მნიშვნელოვან კომპონენტს, სეისმური ზემოქმედების პირობებში, შენობა - ნაგებობების საიმედოობისათვის წარმოადგენს საშენი მასალების ხარისხი, როგორც შენობის კონსტრუქციული ელემენტების სეისმომდეგობის უზრუნველყოფის საშუალება.

კონსტრუქციების და შესაბამისად საშენი მასალების სეისმომდეგობის უზრუნველყოფის ძირითად თვისებებს წარმოადგენენ მათი სიმტკიცე, გამძლეობა, დეფორმატიულობა, ენერჯის შთანთქმის უნარი, ხანმდეგობა და სხვა.

საანგარიშო სქემებში სეისმური ზემოქმედებისას შენობა - ნაგებობის ქცევის, აგრეთვე მათი ნგრევის ხასიათის შეფასება შეუძლებელია კონსტრუქციებში არსებული საშენი მასალების თვისებების ანალიზის გათვალისწინების გარეშე. სეისმურ ზემოქმედებაზე შენობა - ნაგებობების გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფის პროცესში საშენი მასალების ანტისეისმური თვისებების გათვალისწინება აქტუალურია, როგორც თეორიისათვის აგრეთვე მშენებლობის პრაქტიკისთვისაც.

ბეტონი XXI საუკუნეშიც რჩება უმთავრეს საშენ მასალად. საქართველოში, ისევე როგორც მსოფლიოში, მშენებლობები ძირითადად ხორციელდება მონოლითური მეთოდით, რომელიც დამყარებულია მაღალი დენადობის ე.წ. „სასაქონლო ბეტონების“ გამოყენებაზე. ამჟამად, ჩვენში ძირითადად მხოლოდ საშუალო კლასის (C 16/20 ... C 45/55) ბეტონები გამოიყენება.

მომავალში სეისმომდეგი შენობა - ნაგებობების მასშტაბური მშენებლობების განსახორციელებლად საჭირო იქნება საქართველოში C 50/60 – C 100/115 კლასის ახალი თაობის ბეტონების დამზადება. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს ის გარემოება, რომ ამგვარი ბეტონების გამოყენება სხვა დადებით თვისებებთან ერთად საშუალებას იძლევა შემცირდეს რკინაბეტონის კონსტრუქციების კვეთების ზომები და შედეგად მათი წონა.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონები მიიღება მაღალი აქტივობის ცემენტების, გარეცხილი დაფრაქციებული ქვიშის, მაღალი სიმტკიცის ღორღის, მაკლასტიფიცირებელი ქიმიური მოდიფიკატორების და სხვადასხვა მიკრო და ულტრადისპერსიული დანამატების ერთობლივი გამოყენებით. ამგვარ ბეტონებში დაბალია წყალცემენტის ფარდობა. მაღალი სიმტკიცის

ბეტონები ხასიათდება გადიდებული სიმკვრივით, ხანგამძლეობით, ატმოსფერული და სხვა აგრესიული გარემოსადმი მედეგობით.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონების დამზადების ტექნოლოგიის ერთ ერთ ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს მისი მაღალი სიმკვრივის მიღწევა, ხოლო მეორე ძირითად თვისებას კი წარმოადგენს ცემენტის მარკაზე უფრო მაღალი მარკის ბეტონის მიღება. ამის მიღწევა შესაძლებელია არა მხოლოდ გაზრდილი მოთხოვნების შესატყვისი მასალების გამოყენებით არამედ ბეტონის ისეთი სტრუქტურის შექმნით, სადაც მიზანშეწონილად იქნება შეხამებული შემადგენელი მასალების სასარგებლო თვისებები.

არსებობდა ორი ვერსია მაღალი სიმტკიცის ბეტონის სახელწოდებასთან დაკავშირებით. პირველის თანახმად, მაღალი სიმტკიცისაა ბეტონი, რომლის სიმტკიცის ზღვარიც აღემატება მის მისაღებად გამოყენებული ცემენტის მარკას. მეორე ვერსიით მაღალი სიმტკიცისაა ბეტონი, რომლის სიმტკიცის ზღვარიც აღემატებოდა ნორმატიულ დოკუმენტებში ადრე არსებულ სიმტკიცის ზღვრის მნიშვნელობას; მაღალი სიმტკიცის ბეტონების წარმოებაში დაგროვილმა გამოცდილებამ მისცა საშუალება ევროკავშირის ქვეყნებს შეექმნათ ნორმატიული ბაზა მაღალი სიმტკიცის ბეტონების წარმოების და გამოყენების შესახებ - EN 206

საქართველოში ახალი მაღალი სიმტკიცის ბეტონების წარმოებისათვის საჭიროა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის შემსვებების და საქართველოს ბაზარზე არსებული ცემენტებით ბეტონების შემადგენლობების ეტალონური ვარიანტების დადგენა, ბეტონის თვისებების მამოდიფიცირებული დანამატების შერჩევა არსებული ინფორმაციის და მოწინავე ფირმების გამოცდილების გამოყენებით. საჭიროა თანამედროვე ტექნოლოგიების ათვისება და მორგება ადგილობრივ პირობებთან, ნორმატიული დოკუმენტების შექმნა და ა. შ.

საქართველოს პირობებში, მათ წარმოებას ადგილობრივ ბაზარზე არსებული ნედლეულით, თან ახლავს აგრეთვე მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტიც. უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენს ქვეყანაში მაღალი სიმტკიცის ბეტონების წარმოების განვითარება ხელს შეუწყობს უფრო მაღალი აქტივობის ცემენტების და დანამატების წარმოებას, სრულყოფს ბეტონის წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესებს და ზოგადად ამაღლებს მშენებლობის კულტურას.

მიუხედავად მიღწევებისა ბეტონმცოდნეობაში, საჭიროა შემდგომი კვლევები, რათა უარყოფითი თვისებების გავლენა ბეტონზე დაყვანილი იყოს მინიმუმამდე. ბეტონის

უარყოფითი თვისებებია - სიმტკიცის ანიზოტროპიულობა, ფორიანობა, სიმყიფე, მიდრეკილება ზედაპირული ნაზარების წარმოქმნისადმი და სხვა.

წინამდებარე ნაშრომი ეძღვნება საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის (ხანმედეგობის, სეისმომედეგობის) გაზრდისათვის ახალი თაობის მაღალი სიმტკიცის, მოდიფიცირებული, დისპერსიულად არმირებული, ნაკლებად მყიფე, ნაკლებად ანიზოტროპიული, ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის თვისებების ბეტონის ტექნოლოგიების ათვისებას და გამოყენებას მშენებლობაში, ბაზარზე კონკურენტუნარიანი ტექნოლოგიების შექმნას, რაც ხელს შეუწყობს სახელმწიფოს მდგრად განვითარებას.

სადისერტაციო ნაშრომში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებული იქნება, როგორც თეორიული ცოდნა აგრეთვე არსებული ნორმატიული ლიტერატურა და პრაქტიკული გამოცდილება.

სადისერტაციო ნაშრომის შესრულების შედეგად:

ა) ტესტირება ჩაუტარდა საქართველოში მოძიებულ ინერტულ მასალებს,

ბ) ტესტირება ჩაუტარდა საქართველოს ბაზარზე არსებულ ცემენტებს და პლასტიფიკატორებს.

გ) მოხდა საქართველოში გავცელებული ზოგიერთი ბუნებრივი არამადნეული წიაღისეულის მოდიფიცირება და განხორციელდა მათი კვლევა ბეტონის აქტიურ მიკროდანამატად გამოყენების მიზნით.

დ) განხორციელდა ბეტონის ქვის ანიზოტროპიულობის შემცირების მიზნით, საქართველოს ბაზარზე არსებული ბეტონის მიკროარმირებისათვის გამოსადეგი დანამატების კვლევა.

ე) განხორციელდა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის შემავსებლების გამოყენებით, სამშენებლო ბაზარზე არსებული ცემენტებით, ბეტონის თვისებების მამოდიფიცირებელი დანამატების შერჩევით, საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის გაზრდისათვის საჭირო, ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის მოდიფიცირებული, დისპერსიულად არმირებული, ნაკლებადმყიფე, ნაკლებადფორიანი, ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებადანიზოტროპიული თვისებების მქონე ბეტონების შემადგენლობების ეტალონური ვარიანტების შექმნა და მათი თვისებების კვლევა.

ვ) განხილული იქნა მიღებული ეტალონური ვარიანტების მიხედვით ბეტონების ტექნიკურ - ეკონომიკური ეფექტურობა.

ზ) მომზადდა პუბლიკაციები მაღალი რეიტინგის სამეცნიერო ჟურნალებში გამოსაქვეყნებლად.

თ) სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების პოტენციური მომხმარებელი იქნება საქართველოს სამშენებლო ინდუსტრია.

ნაშრომში მოცემულია საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში მოპოვებული ინერტული მასალის, ადგილობრივ სამშენებლო ბაზარზე არსებული ნედლეულის, აგრეთვე საქართველოს მინერალური ნედლეულის ბაზაზე შესწავლილი, ერთმანეთისგან განსხვავებული არამადნეული წიაღისეულის, მაღალეფექტურ მიკროდანამატად გამოყენების საშუალებით, მაღალი სიმტკიცის და საექსპლოატაციო თვისებების მქონე ბეტონების მიღების წესი და მათი თვისებების კვლევა.

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ჩატარებული ექსპერიმენტალური სამუშაო თანამედროვე მშენებლობის აქტუალურ პრობლემას ეხება.

## 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

### 1.1. მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ზოგადი მიმოხილვა

მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მსოფლიოში გამოჩენამ საფუძველი ჩაუყარა ახალ ერას მშენებლობაში. მისმა უნიკალურმა თვისებებმა საშუალება მისცა მშენებლებს განეხორციელებინათ ისეთი გრანდიოზული პროექტები, როგორებიცაა: გვირაბი ლა-მანშიის სრუტის ქვეშ, აკაში-კაიკოს ხიდი იაპონიაში მაღის სიგრძით 1990მ, მაცხოვრის ტაძარი მოსკოვში და ა.შ.

უკანასკნელ წლებში მსბ-ის გამოყენების არე გაფართოვდა და მას ამჟამად მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში იყენებენ. ეს გარემოება პირველ რიგში გამოიწვია მსბ-ის დამზადების ტექნოლოგიის განვითარებამ და მასზე მოთხოვნის მკვეთრმა ზრდამ.

მსბ-ის ტექნოლოგია დამყარებულია ბეტონის სტრუქტურის ჩამოყალიბების პროცესის მართვაზე მისი წარმოების ყველა ეტაპზე. ამ მიზნით იყენებენ მაღალხარისხოვან პორტლანდცემენტს ან კომპოზიციურ შემკვრელს, ბეტონის სტრუქტურის და თვისებების ქიმიური მოდიფიკატორების კომპლექსებს, აქტიურ წვრილდისპერსულ მინერალურ კომპონენტებს და სტაბილიზატორებს, გაფართოებად დანამატებს. მსბ-ის ნარევის დამზადების დროს მიმართავენ ინტენსიურ ტექნოლოგიას, რაც უზრუნველყოფს დოზირების სიზუსტეს, ნარევის გულდასმით მომზადებას და მასის ჰომოგენიზაციას, მის ხარისხიან შემკვრივებას და გამყარებას [4].

გასული საუკუნე გამორჩეულია იმით, რომ ბეტონმცოდნეობისა და ბეტონის ტექნოლოგიის დარგში გადადგმულ იქნა მნიშვნელოვანი ნაბიჯები, რამაც შეცვალა დიდი ხნის დამკვიდრებული წარმოდგენები ბეტონზე, რომელიც იყო და დღესაც რჩება ყველაზე უფრო პოპულარულ და გამოყენებად მასალად მშენებლობაში.

მეცნიერების მრავალრიცხოვან მიღწევათაგან ბეტონმცოდნეობის დარგში ყველაზე უფრო აღსანიშნავია ის გამოკვლევები, რომლებმაც გააღრმავეს ჩვენი წარმოდგენები ბეტონის მიკროსტრუქტურაში მიმდინარე პროცესებზე და ხელი შეუწყო მასალის სიმტკიცის, დეფორმაციულობის, ხანმედეგობის და სხვა ძირითადი მახასიათებლების გაუმჯობესებას. ამ შრომებს შორის განსაკუთრებით ფასეულია ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესებთან და ცემენტის ქვის სტრუქტურის ჩამოყალიბებასთან დაკავშირებული ექსპერიმენტული კვლევები [5, 6, 7].

ცემენტისა და ბეტონის სტრუქტურაწარმოქმნის პროცესების პირველი მკვლევარების და ამ მიმართულებით პიონერული ნაშრომების შემქმნელების, ლე შატელიეს და მიხაელისის თეორიის განვითარების თვალსაზრისით ჩატარებულმა მრავალრიცხოვანმა ცდებმა და C-S-H და C-A-H სისტემების ყოველმხრივმა და ძირეულმა შესწავლამ, საშუალება მისცა მკვლევარებს ჩაწვდომოდნენ ცემენტის ჰიდრატაციის, კრისტალოჰიდრატების და ცემენტის ქვის ჩამოყალიბების დროს მიმდინარე მოვლენების არსს [8,9].

თანამედროვე წარმოდგენების მიხედვით ცემენტის წყალთან ადულაბებისა და მისი სტრუქტურის ფორმირების პროცესი პირობითად შეიძლება დაიყოს სამ სტადიად: ადულაბების, კოლოიდიზაციის და კრისტალიზაციის ეტაპებად. პეტრე რებინდერის მიხედვით [10,11], პირველ და მეორე სტადიაზე დაიკვირვება ნაწილაკების პეპტიზაცია და თანდათანობით ყალიბდება კოაგულაციური სტრუქტურა მყარი ფაზის ნაწილაკებს შორის აღდგენითი (შექცევადი) კონტაქტებით (ტიქსოტროპია), ხოლო ცემენტ-წყლის სისტემა იმყოფება პლასტიკურ მდგომარეობაში, რომელიც ხასიათდება რეოლოგიური პარამეტრებით. მესამე სტადიაზე ფორმირდება კრისტალიზაციური სტრუქტურა შეუქცევადი ფაზური კონტაქტებით და სისტემას შეუძლია წინ აღუდგეს მრღვევ დატვირთვას და დეფორმაციებს. ფაზური კონტაქტების და შესაბამისად სტრუქტურის სიმტკიცე ტეილორის [7] მიხედვით, დიდადაა დამოკიდებული ცემენტის ძირითადი მინერალის, ალიტის ანუ სამკალციუმიანი სილიკატის ჰიდრატაციის დროს წარმოქმნილ პროდუქტებზე და C/S თანაფარდობაზე. ცემენტის ქვის სტრუქტურაში წვრილდისპერსული და მდგრადი კალციუმის ჰიდროსილიკატების მომეტებული ჩამოყალიბების შემთხვევაში იქმნება ხელსაყრელი პირობები ცემენტის ქვის ფაზური კონტაქტების მაღალი სიმტკიცის და სისტემის კოროზიამდედგობის მისაღწევად.

ამ წარმოდგენებზეა დაფუძნებული ბეტონმცოდნეობის მეორე მნიშვნელოვანი მიღწევა – ბეტონისა და რკინაბეტონის კოროზიისაგან დაცვისა და ხანმდედგობის ასამაღლებელი ღონისძიებების შემუშავება.

დღეისათვის აღიარებულია, რომ ბეტონის კოროზიამდედგობა დამოკიდებულია ცემენტის ქვაში თხევადი და აიროვანი აგენტების შეღწევის ხარისხზე და იმავე აგრესიულ აგენტებთან ცემენტის ქვის რეაქციის უნარზე. ე.ი. ცემენტის ქვის დიფერენციულ ფორიანობაზე და ფაზურ შედგენილობაზე. გარდა ამისა, განისაზღვრა სისტემის ყინვამდედგობის კავშირი სტრუქტურის სხვა პარამეტრებთან: პირობითად ჩაკეტილ ფორების ზომებთან და მათ შორის დაშორებების ფაქტორთან [12].

ბეტონის ტექნოლოგიაში გადამწყვეტი როლი შეასრულეს ცემენტის სისტემების დანამატ-მოდულიკატორებით დამუშავების და ბეტონის მოდიფიცირების მიმართულებით ჩატარებულმა მრავალრიცხოვანი კვლევებმა, და პრაქტიკით დადასტურებული შედეგებმა. ბეტონების მოდიფიცირების თეორიისა და პრაქტიკის შესახებ საკმაოდ ამომწურავ წარმოდგენას იძლევა მონოგრაფია [13]. განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ურთიერთკავშირი ორგანული მასალების მოლეკულებს, ადსორბციული შრეების თვისებებს და ცემენტ-წყლის სისტემას შორის. ამ მოვლენაზე დაყრდნობით და ცემენტის სისტემაში მიმდინარე პროცესების გაანალიზებით, შექმნილ იქნა ახალი მასალები ბეტონების მოდიფიცირებისათვის [14, 15].

ბეტონის ტექნოლოგიაში დიდი გარდატეხა მოახდინა სუპერპლასტიფიკატორების (სპ) და ტექნოგენური წარმოშობის მაღალდისპერსული კაჟმიწაშემცველი მასალების, უმეტესად მიკროკაჟმიწის (მკ), გამოჩენამ. განსაკუთრებული შედეგი დაფიქსირდა სპ-ის და მკ-ს ერთობლივი გამოყენების შედეგად. ზემოხსენებული დანამატ-მოდულიკატორების ოპტიმალური შეჯერება და საჭიროების შემთხვევაში მათთან ერთად სხვა ორგანული და მინერალური წარმოშობის მასალის გამოყენება, იძლევა ბეტონის ნარეგების რეოლოგიური მახასიათებლების მართვის და მიკროდონეებზე ცემენტის ქვის სტრუქტურის მოდიფიცირების საშუალებას ისე, რომ ბეტონს მიენიჭოს მაღალი საექსპლუატაციო საიმედოობა. ამგვარად შეიქმნა High Performanse Concrete, რომელიც მოიცავს მაღალი (50-80 მპა) და ზემოდალი (80-150 მპა) სიმტკიცის ბეტონებს. ეს ბეტონები ხასიათდებიან დაბალი შეღწევადობით, კოროზიამდეგობით და ხანგამძლეობით. მზადდებიან მაღალპლასტიკური ნარეგებისაგან [16,17,18,19].

ბეტონების თვისებების მკვეთრი ცვლილება გამოწვეულია ცემენტის სისტემაში მიმდინარე რთული კოლოიდურ-ქიმიური და ფიზიკური მივლენების შედეგად, რომლებიც ექვემდებარებიან მოდიფიკატორების ზემოქმედებას და ეს ყველაფერი საბოლოო ჯამში აისახება ცემენტის ქვის ფაზურ შედგენილობაზე, ფორიანობაზე, სიმტკიცეზე და ხანგამძლეობაზე [20]. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ცხადია, რომ სპეციალისტებმა ამგვარი ბეტონების წარმოება მიაკუთვნეს “მაღალ ტექნოლოგიებს” [21, 22].

ამჯერად შევჩერდეთ სპ-ის და მკ-ს გამოყენების ზოგიერთ ასპექტზე, მოდიფიცირებული ცემენტის ქვის სტრუქტურის თავისებურებებზე და ახალი თაობის ბეტონების მიღების პერსპექტივებზე.



## 1.2. სუპერპლასტიფიკატორების მიმოხილვა

გასული საუკუნის 60-იანი წლების ბოლოს სპ-ის გამოჩენამ წარმატებით დაავიწროვინა ბეტონის “ქიმიზაციის” მრავალწლიანი მცდელობა – შესაძლებელი გახდა ბეტონის ნარევის და მყარი ბეტონის თვისებების გამაუმჯობესებელი დანამატ-მოდიფიკატორების გამოყენება. ზემოქმედებს რა სტრუქტურის ფორმირებაზე, განსაკუთრებით საწყის, კოაგულაციურ სტადიაზე, სპ ცვლის ცემენტის სისტემის რეოლოგიურ თვისებებს, ამცირებს ნარევის წყალმომთხოვნილობას, რაც შემდგომში აისახება კრისტალიზაციური სტრუქტურის პარამეტრებზე [23,24,25,26].

სპ-ის დანერგვით სრულიად შეიცვალა ტრადიციული წარმოდგენები ბეტონზე და მისი წარმოების ტექნოლოგიაზე. კერძოდ, რეალური გახდა ადრე მიუღწეველი ეფექტების განხორციელება: მაღალპლასტიკური ბეტონის ნარევებით ( $კვ>20$  სმ), ჩვეულებრივი პორტლანდცემენტებით და შემვსებებით შესაძლებელი გახდა შედარებით მაღალი სიმტკიცის (50მპა) და შემცირებული შეღწევადობის ბეტონების მიღება. თანაც მიღწეულ იქნა ცემენტის და ენერგორესურსების ხარჯვის მნიშვნელოვანი ეკონომია. ამჟამად საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე შემოტანილი სუპერპლასტიფიკატორები შეიძლება კლასიფიცირდეს ძირითადად ორი ნიშნის მიხედვით: მასალების შედგენილობის და ცემენტის სისტემაზე მოქმედების მექანიზმის ძირითადი ეფექტის მიხედვით. მეორე ნიშნის მიხედვით სპ-ების კლასიფიკაცია უფრო სარწმუნოა, რადგან მაპლასტიფიცირებელი თვისებების მქონე ყოველი ახალი მასალის აღმოჩენისას ძნელდება შედგენილობის მიხედვით მათი დაჯგუფება [3].

მაღალი სიმტკიცის ბეტონებზე გავლენას ახდენენ შემდეგი ფაქტორები: ძირითადი მასალების ხარისხი და რაოდენობა (ცემენტები, შემვსებები, გამაჯერებლები, წყალი); ნარევის მომზადების მეთოდი; გარემოს და ბეტონის გაყარების პირობები; სუბიექტური ფაქტორები (ცოდნა, გამოცდილება, ინტუიცია და ა.შ.).

შედგენილობის მიხედვით სუპერპლასტიფიკატორები შეიძლება დაიყოს 4 ჯგუფად:

1. ლიგნოსულფონაფტები ტექნიკური, მოდიფიცირებული;
2. სულფირებული ნაფტალინ-ფორმალდეჰიდური კონდენსატები;
3. სულფირებული მელამინ-ფორმალდეჰიდური კონდენსატები;
4. პოლიმერები, რომლებიც მოიცავენ პოლიაკრილატებს, პოლისტიროლურ სულფონატებს, პოლიკარბოქსილატურ ეთერებს და სხვა [27,28,29,30].

ცხრილ 1-ში ნაჩვენებია სუპერპლასტიფიკატორების კლასიფიკაცია შედგენილობის და მოქმედების მექანიზმის ძირითადი ეფექტის მიხედვით და მათი ფარდობითი ღირებულებითი პარამეტრები.

ყურადღების გამახვილება ღირს იმაზე, რომ ნფ-ის, მფ-ის და ლსტ-ს ტიპის სპ-ში ჭარბობს ცემენტის ნაწილაკების ელექტროსტატიკური განზიდვის და სტაბილიზაციის ეფექტები, რაც გამოწვეულია ცემენტის ნაწილაკების ზედაპირებზე სპ-ის მოლეკულების მიერ წარმოქმნილი ადსორბციული შრის ძეტა-პოტენციალის ზრდით. უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ ამ პოტენციალის სიდიდე დამოკიდებულია სპ-ის ადსორბციულ უნარზე, კერძოდ რაც მაღალია სპ-ის ადსორბციის მაჩვენებელი, მით მეტია ძეტა პოტენციალის აბსოლუტური სიდიდე (პოტენციალი უარყოფითი ნიშნის მატარებელია) [31,32,33].

პოლიკარბოქსილატის ტიპის სპ-ის მოქმედების მექანიზმში ძეტა-პოტენციალის როლი მცირეა. ცემენტის ნაწილაკების ურთიერთგანზიდვა

**ცხრილი 1**

**სუპერპლასტიფიკატორების კლასიფიკაცია**

აღნიშვნა	სუპერპლასტიფიკატორების კლასიფიკაცია		მშრალი პოლიმერის ფარდობითი ღირებულება. %-ში
	შედგენილობის მიხედვით	მოქმედების მექანიზმის მიხედვით	
ნფ.	სულფირებული ნაფტალინფორმალდეჰიდური პოლიკონდენსატები	ელექტროსტატიკური	40
მფ.	სულფირებული მელამინფორმალდეჰიდური პოლიკონდენსატები	იგივე	80
ლსტ.	შაქრებიდან განთავისუფლებული ლიგნოსულფონატები	იგივე	20
პ.	პოლიკარბოქსილატები და პოლიაკრილატები	სტერიული	100

და სუსპენზიის სტაბილიზაცია მიიღწევა აღმატებული სტერიული ეფექტის გამო. ამგვარ სხვაობას სპ-ის მოქმედების მექანიზმებს შორის, სპეციალისტები ხსნიან სხვადასხვა სუპერის მოლეკულების აგებულებებს შორის სხვაობით: ნფ, მფ და ლსტ ხასიათდებიან პოლიმერული ჯაჭვის წრფივი ფორმით, ხოლო პოლიკარბოქსილატის ტიპის

პოლიმერებისათვის დამახასიათებელია მოლეკულების, როგორც გრძივი, ასევე განივი კავშირები ორ ან სამგანზომილებიანი ფორმით [34,35]. სახელდობრ, განივი რგოლები ქმნიან მყარი ფაზის ნაწილაკების გარშემო ადსორბციულ, მოცულობით, დამცველ გარსებს, წინააღმდეგობას უწევენ რა ნაწილაკების ურთიერთშეწებების პროცესს და განაპირობებენ მათ ურთიერთგანზიდვას. უნდა აღინიშნოს, რომ ადსორბციული შრის სისქე პ-ს ტიპის სპ-ის შემთხვევაში, როგორც წესი, მეტია, ვიდრე სხვა სპ-ის დროს. ეს კი ნიშნავს, რომ თავისუფალი და ადსორბციულად ბმული წყლის საერთო მოცულობაში, უკანასკნელის წილი გაზრდილია.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონების მიღება შესაძლებელი გახდა ახალი თაობის მაპლასტიფიცირებელი დანამატების გამოყენებით [36,37]. 1981 წელს იაპონურმა ფირმამ „Nippon Shokobai” პირველმა დააპატენტა პლასტიფიკატორი პოლიკარბოქსილატის ფუძეზე. ამის შემდეგ დაიწყო კვლევები ამ ფუძეზე პლასტიფიკატორების წარმოებისა. ეს პლასტიფიკატორი ამცირებს ნარევის წყალმოთხოვნას 40%-მდე. ცნობილია, რომ პლასტიფიკატორები ლინგოსულფონაფტების ფუძეზე ამცირებენ წყალშემცველობას 5-15%-ით, ხოლო სულფონაფტალინფორ-მალდეჰიდის ბაზაზე 15-25%-ით. რუსეთში პლასტიფიკატორებს პოლიკარბოქსილატების გამოყენებით უწოდებენ ჰიპერპლასტიფიკატორებს. ცნობილია იტალიური წარმოების ჰიპერპლასტიფიკატორები Policarbodal 1000, Policarbodal 800, იაპონური პლასტიფიკატორი AQVALOC HW-1. მონოლითური დაბეტონების დროს გამოიყენება Sika Viscocrete -3088, Sika Viscocrete-1030, ხოლო თვითშემჭიდროებადი ბეტონებისათვის სპეციალურად განკუთვნილია Sika Viscocrete-20HE და Sika Viscocrete-3 [38,39].

სუპერპლასტიფიკატორები აწესრიგებენ ბეტონის ნარევის ტექნოლოგიურ თვისებებს. ისინი არიან ორგანული წარმოშობის პოლიელექტროლიტები, რომელთა ძირითად ფუნქციას წარმოადგენს ჰეტეროგენურ სისტემებში ქიმიური არის დისპერჰირება. მათი შეტანა ბეტონის ნარევაში საჭიროა ტექნოლოგიური თვისებების რეგულირებისათვის და აგრეთვე „რეოპლასტიკური” ბეტონის ნარევის მისაღებად, რომლებიც ხასიათდებიან დაბალი წყალცემენტის ფარდობით, არაგანშრევადობით და მაღალი კოჰეზიით.

ზოგიერთი მონაცემებით, პოლიკარბოქსილატების მიერ აღძრული განზიდვის ძალები თითქმის ორჯერ მეტია, ვიდრე მფ-ის და ნფ-ის მიერ განვითარებული იგივე სახის ძალები, ხოლო სამჯერ, ვიდრე ლიგნოსულფონატების შემთხვევაში გამოწვეული ძალები [33].

ამგვარი თავისებურებების გამო პოლიკარბოქსილატის ტიპის სპ უფრო ეფექტურია, რაც გამოიხატება სხვა სპ-თან შედარებით შემცირებული ოპტიმალური დოზირებით, დაბალი მგრძობიარობით ცემენტის სახისა და შედგენილობის მიმართ, ბეტონის ნარევის მიერ საწყისი კონსისტენციის დიდხანს შენარჩუნებით და ბეტონის ნარევის დაბალი განშრევადობით. პოლიკარბოქსილატა ძალიან ძვირი მასალაა, რაც ხშირ შემთხვევაში ბეტონის ტექნოლოგებს უბიძგებს პ-თან ერთად სხვა სპ-ის კომპლექსური გამოყენებისკენ.

### **1.3. მაღალდისპერსული კაჟმიწაშემცველი მასალების (მიკროკაჟმიწა) მიმოხილვა**

გასული საუკუნის 80-იანი წლების ბოლოს, RILEM-ის 73-SBS კომიტეტმა წარმოადგინა ტექნოგენური წარმოშობის მინერალური დანამატების კლასიფიკაციის ვარიანტი, რომელიც შესრულებული იყო შემდეგი კრიტერიუმების – პუცოლანური აქტიურობის და მჭიდა თვისებების – მიხედვით. ეს კლასიფიკაცია იძლევა აღნიშნული მასალების ცემენტის სისტემებზე მოქმედების ხარისხის შეფასების საშუალებას, რაც უფრო ობიექტურია, ვიდრე წარმოშობის მიხედვით მინერალური დანამატების ადრე გავრცელებული კლასიფიკაციები. ყველა მასალა, რომელიც კლასიფიკაციაშია წარმოდგენილი, ხასიათდება ფაქტიურად ერთნაირი ხარისხობრივი შედგენილობით, განსხვავება მხოლოდ კომპონენტების შეფარდებაში და დისპერსულობის ხარისხშია. ამორფული მოდიფიკაციის სილიციუმის ორჟანგის მომეტებული შემცველობა და მაღალი დისპერსულობა განაპირობებენ პუცოლანურ აქტიურობას. ამიტომ, მიკროკაჟმიწა და ბრინჯის ქერცლის წვის შედეგად მიღებული ნაცარი კლასიფიკაციაში განსაკუთრებულ ადგილს იკავებენ [40,41].

ყურადღება შევაჩეროთ მიკროკაჟმიწაზე (მკ), რადგან მისი წარმოების მოცულობები და გამოყენების გეოგრაფია დიდ უპირატესობას ანიჭებს მას ბრინჯის ქერცლის წვის პროდუქტთან შედარებით.

მიკროკაჟმიწის გავლენა ცემენტის სისტემის ჩამოყალიბებაზე დამოკიდებულია ორი ფაქტორის ურთიერთმოქმედებაზე, რომლებიც პირობითად შეიძლება გაიყოს “ფიზიკურ” და “ქიმიურ” ფაქტორებად.

პირველი ფაქტორი დაკავშირებულია ძირითადად მკ-ს ულტრადისპერსულ ზომებთან და უფრო ნაკლებად ქიმიურ-მინერალოგიურ შედგენილობასთან. იგი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს პლასტიკურ მდგომარეობაში მყოფ სისტემებზე; ე.ი. ცემენტის კოაგულაციური სტრუქტურის ჩამოყალიბებაზე. მკ-ს სისტემის თავისებურებები აღნიშნება ულტრადისპერსული ნაწილაკებით ცემენტის უფრო მსხვილდისპერსულ მარცვლებს შორის

არსებული სიცარიელების შევსებით და მყარი ფაზის ნაწილაკებს შორის, თუმცა სუსტი, მაგრამ მაინც ახალი კოაგულაციური კონტაქტების წარმოშობით. ეს გარემოებები, ისევე როგორც თავისუფალი წყლის მოცულობის შემცირება სისტემაში (ადსორბციულად ბმული წყლის რაოდენობის ზრდის გამო), მკვეთრად ცვლის სისტემის რეოლოგიურ თვისებებს: ზრდის სიბლანტეს, პლასტიკურ სიმტკიცეს, ბმულობას (ამცირებს განშრევებადობას) და ნარევის ტიქსოტროპიის უნარს. გარდა ამისა, “ფიზიკური ფაქტორი” დადებითად მოქმედებს სტრუქტურის ჩამოყალიბებაზე უფრო გვიანდელ, კრისტალიზაციურ სტადიაზე. ულტრადისპერსული მასალა, ავსებს რა ცემენტის ქვისა და ბეტონის ფორებსა და კაპილარებს, ხელს უწყობს მისი სიმკვრივის ზრდას [42, 43, 44].

“ქიმიური ფაქტორის” როლი დაკავშირებულია პირველყოფლისა მკ-ს ქიმიურ-მინერალოგიურ შედგენილობასთან და გამოიხატება ცემენტის ქვის შემცველობაში ჰიდრატული ფაზების ბალანსის ცვლაში, კერძოდ, ვოლასტონიტის ტიპის უფრო მტკიცე და მდგრადი დაბალფუძიანი კალციუმის ჰიდროსილიკატების წილის ზრდაში, ჰიდრატაციის საწყის სტადიაზე წარმოქმნილი პორტლანდიტის ტიპის კრისტალოჰიდრატებისა და მაღალფუძიანი კალციუმისჰიდროსილიკატების შემცირების ხარჯზე [45].

ნფ-ს ტიპის სპ-ების არსებობა ცემენტის სუსპენზიაში მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სტრუქტურის ჩამოყალიბების პროცესებზე. ის დაკავშირებულია ცემენტის სისტემებში, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისათვის (ზან) დამახასიათებელ, ცნობილ “ადსორბციული მექანიზმის” გამოვლინებასთან. ამ მხრივ სპ-ების და მკ-ის გავლენა კოაგულაციურ სისტემებზე ერთმანეთის მსგავსია.

მკ-ს და სპ-ს კომპლექსური მოქმედება ცემენტის სისტემებზე გამოიხატება იმით, რომ ცემენტის დუღაბის სტრუქტურის წარმოქმნის ადრეულ სტადიაზე (პლასტიკური მდგომარეობა) სისტემა იძენს გადიდებულ სიბლანტეს და ბმულობას და ხასიათდება მკვეთრად გამოსახული ტიქსოტროპულობით; ხოლო უფრო გვიანდელ სტადიაზე ცემენტის ქვა გამოირჩევა ხარისხიანი შედგენილობით და სტრუქტურის გეომეტრიის განსაკუთრებულობით. პირველი გამოვლინდება წვრილმარცვლოვანი CSH-ს ტიპის კრისტალოჰიდრატების მომეტებული შემცველობით, რომელთა თეორიული სიმტკიცე უტოლდება 1000 მპა-ს [46]. ამ შენაერთებს ახასიათებთ რეაქციაში უფრო ძნელად შესვლის უნარი, ვიდრე პირველად ჰიდრატებს. მეორე გამოიხატება გელური ფორების გაზრდილი შემცველობით და შესაბამისად კაპილარულის მოცულობა მცირდება [47].

ამგვარად, მკ-ს და სპ-ს ერთობლივი გამოყენების შედეგად, ცემენტის სისტემის მოდიფიცირებით, შესაძლებელი გახდა მაღალი და ზემადალი სიმტკიცის, დაბალი შეღწევადობის, კოროზიამდეგობის და ხანგამძლეობის ბეტონების მიღების თეორიული წარმოდგენების პრაქტიკაში განხორციელება.

#### **1.4. სუპერპლასტიფიკატორების, მიკროკაჟმიწის და მათ ბაზაზე დამზადებული კომპლექსური დანამატების გამოყენებით მიღებული მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ზოგადი დახასიათება.**

უნიკალური მახასიათებლების კომპლექსით აღჭურვილი, მაღალი და ზემადალი სიმტკიცის (R=50-80 მპა და R=80-130 მპა), დაბალი შეღწევადობის (W16-W20), მაღალი კოროზიამდეგობის და ხანგამძლეობის ბეტონები შეიძლება მიღებულ იქნენ შედარებით პლასტიკური (კჟ=8-16სმ), ხოლო თვითშემჭიდროებადი ბეტონები სხმული (კჟ=55-65სმ) ნარევებით, სპ-ს და მკ-ს ერთობლივი გამოყენებით. ასეთი მახასიათებლების მიღწევა შესაძლებელია ცემენტის მასიდან მკ-ს 15-20%-ის, ხოლო ნფ-ის ტიპის სპ-ის 1,5-2,0%-ის დამატებით; 500-600 მარკის პორტლანდცემენტის 500-550კგ ხარჯით ერთ კუბურ მეტრ ბეტონზე; წყალცემენტის 0,24-0,28 ფარდობით და მაღალი სიმტკიცის გრანიტის ღორღის გამოყენებით. ამ კომპონენტებთან ერთად აირწარმომქმნელი ნივთიერების - “136-41” მარკის, პოლიჰიდროსილოქსანის დამატებით მაღალ სიმტკიცესთან (R=80-100 მპა) ერთად უზრუნველყოფილია მაღალი ყინვამდეგობა – F800 [48,49].

ზემოთ აღნიშნული მახასიათებლები არის სამი ძირითადი ფაქტორის გავლენის შედეგი: ცემენტის ქვის სტრუქტურაში კრისტალოჰიდრატების ბალანსის ცვლილება, კაპილარული და გელური ფორების თანაფარდობის გადანაწილება უკანასკნელის სასარგებლოდ და ცემენტის ქვასა და შემვსების მარცვლებს შორის საკონტაქტო ზონების განმტკიცება, რაც დაკავშირებულია საკონტაქტო ზონებში კონცენტრირებული პორტლანდიტის კრისტალების შემცველობის შემცირებასთან. მაღალი ყინვამდეგობის მარკის მქონე ბეტონებში ზემოთ ჩამოთვლილ ფაქტორებს ემატება ნარევი პოლიჰიდროსილოქსანის შეყვანით გამოწვეული “მოზაიკური” ჰიდროფობიზაციის ეფექტი. ამ დროს ცემენტის ქვაში იქმნება პირობით-ჩაკეტილი ოპტიმალურ-ფოროვანი სტრუქტურა, რომელიც აისახება სფერული ფორმის, თანაბრად განაწილებული დისპერსული ფორებით. ეს ფორები ასუსტებენ ტემპერატურის მკვეთრი ვარდნით აღძრულ გადამეტაბვებს ბეტონის სტრუქტურაში [50].

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს უკანასკნელ წლებში ექსპერიმენტულად მიღებული მასალა, რომელიც წარმოდგენას გვიქმნის ბეტონის ტექნოლოგიის და ახალი

კომპოზიციების მიღების პოტენციურ შესაძლებლობებზე. იგულისხმება ძალზე მაღალი მახასიათებლების მქონე ბეტონი, ე.წ. Reactive Powder Concrete (RPC). RPC მიღების ძირითადი პრინციპი მდგომარეობს: მსხვილი შემკვების გამორიცხვით ერთგვაროვანი სტრუქტურის უზრუნველყოფაში; გრანულომეტრული შედგენილობის ოპტიმიზაციით ნარევის შემკვრივებასა და ბეტონის გამყარების პროცესის დაჩქარების მიზნით წნევისა და მაღალი ტემპერატურის გამოყენებაში. ამგვარი ბეტონის კომპონენტები არიან: პორტლანდცემენტი, მკ (25-30% ცემენტის მასიდან), წვრილმარცვლოვანი ქვიშა ფრაქციით 0,3 მმ-მდე (40-50% ცემენტის მასიდან) და სპ (2-3% ცემენტის მასიდან, წყალ-მყარის -  $w/(c+m_k)=0,12-0,15$  - დროს. ასეთი სახის ბეტონების სიმტკიცე დამოკიდებულია გამყარების პირობებზე. თერმული დამუშავება აინტენსიფიცირებს პუცოლანურ რეაქციას და ხელს უწყობს კალციუმის ჰიდროსილიკატების ჯგუფის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო მტკიცე და დაბალფუძიანი ნაირსახეობის, ქსონოტლიტის CSH(1) - ჩამოყალიბებას. 90°C ტემპერატურაზე და ჩვეულებრივი ატმოსფერული წნევის დროს, თერმული დამუშავების პირობებში, მიიღწევა სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 200 მპა-ს ფარგლებში; ხოლო იმავე ტემპერატურისა და 50 მპა წნევის პირობებში სიმტკიცის ზღვარმა კუმშვაზე შეიძლება მიაღწიოს 650 მპა-ს! [51,52]. ამ მასალას ახასიათებს მინიმალური ფორიანობა და პრაქტიკულად შეუღწევია სითხეებისა და აირებისათვის, გამოირჩევა ძალზე მაღალი ყინვამდეგობით და ფუნქციონალური თვისებებით ზოგ შემთხვევაში აღემატება ფოლადს.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონი (თშბ) წარმოადგენს თანამედროვე სამშენებლო მასალას, რომელიც საკუთარი მასის მოქმედებით მთლიანად ავსებს ყალიბს, რაოდენ ხშირად არმირებულ იც არ უნდა იყოს ის. ამ ბოლო ხანებში თშბ-ს ფართოდ იყენებენ მონოლითურ მშენებლობაში. პერსპექტულია მისი გამოყენება ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობების წარმოებაშიც. მონოლითური, უნაკერო, მაღალი სიმტკიცის იატაკების მოწყობა, ტორკრეტული დაბეტონება, კონსტრუქციების რესტავრაცია და გაძლიერება, ეს არის არასრული ჩამონათვალი იმ ობიექტებისა, რომელთა დაბეტონება ფრიად ეფექტურია თშბ-ით. თშბ გამოირჩევა ზემადალი ძვრადობით, ანუ სხმულობით (55-75 სმ). ცხადია ასეთი ნარევიტით შესაძლებელია ხშირად არმირებული კონსტრუქციების დაბეტონება [3].

მშენებლობაში ახალი ამბიციური პროექტების გამოჩენამ (დაკიდებული ხიდები იაპონიაში და ჩინეთში, მსხვილი ჰიდროტექნიკური და სატრანსპორტო ნაგებობები ჰოლანდიაში, გერმანიაში და სხვა) გაზარდა მოთხოვნა განსაკუთრებით მაღალი სიმტკიცის ბეტონებზე (80-150 მპა და მეტი). ასეთი კონსტრუქციების ასაგებად საჭირო გახდა დიდი მოცულობების

სხმული ნარეგების გამოყენება. ხშირ შემთხვევებში დაბეტონების ობიექტების ძლიერმა დაშორებამ ბეტონის ნარეგების მომზადების ადგილებიდან, ხმელეთიდანაც კი (ზღვები, მდინარეები), აუცილებელი გახადა ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა, დროისა და შრომითი დანახარჯების შემცირება ბეტონის ნარეგის ტრანსპორტირებაზე, შემკვრივებაზე და ა.შ. ასევე პროექტით მოთხოვნილი იქნა ბეტონის მაღალი სიმტკიცე მისი გამყარების ადრეულ სტადიაზე.

აღნიშნული ამოცანების შესრულებას ხელი შეუწყო თეორიულმა გამოკვლევებმა და პრაქტიკულმა დანერგვებმა, რომლებიც შემდეგ მიმართულებებად ჩამოყალიბდა:

- მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მისაღებად მულტიფრაქციული შემკვრელების გამოყენება;
- მასალის სიმტკიცის, კოროზია და ბზარმდეგობის ასამაღლებელი მიკრო და ულტრადისპერსული დანამატების გამოყენება;
- ბეტონის სხმული ნარეგების რეოლოგიური თვისებების მართვა;
- ბეტონის თვისებების რეგულირებისათვის ახალი ტიპის ქიმიური მოდიფიკატორების შექმნა.

### 1.5. მომავლის ბეტონების კონცეფცია და პერსპექტივები

ტექნოლოგიების თანამედროვე დონე იძლევა საშუალებას წარმოვიდგინოთ მომავლის ბეტონი, რომლის განხორციელების დიდი პერსპექტივებია საქართველოში და მისი რეალიზაციის გზები ემთხვევა ჩვენი კოლეგების აზრს [3, 64]. ეს კონცეფცია შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად:

- ბეტონების მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები: ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით – B40-B80, დაბალი წყალ და აირ შეღწევადობა (W12-W20 მარკების ექვივალენტური), ცოცვადობისა და შეკლების მცირე დეფორმაციები, მომეტებული კოროზიამდეგობა და ხანგამძლეობა. ჩამოთვლილი მახასიათებლები განაპირობებენ კონსტრუქციის მაღალ საიმედოობას (ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით).
- ბეტონის ნარეგების მომზადების ხელმისაწვდომი ტექნოლოგია და ზემოთ აღნიშნული მახასიათებლების მქონე ბეტონის მიღება, რაც დაფუძნებული იქნება ჩვენი რეგიონში გავრცელებული, ტრადიციული მასალების გამოყენებაზე და არსებული საწარმოო ბაზის გადაიარაღებაზე და ათვისებაზე. ამგვარი მიდგომა დასაბუთებულად გვეჩვენება: ერთის მხრივ, ბეტონს უნდა გააჩნდეს საკმაო პოტენციალი, რათა აიტანოს კონსტრუქციების



სხვადასხვა, მათ შორის აგრესიულ გარემოში ექსპლუატაციისას მასზე მოქმედი გადიდებული ფიზიკურ-მექანიკური დატვირთვები. ხოლო მეორეს მხრივ, მან უნდა შეინარჩუნოს ყველა ის უპირატესობა, რამაც ბეტონი ძირითად კონსტრუქციულ-სამშენებლო მასალად აქცია. ე.ი. მისი დამზადება უნდა მოხდეს ძირითადად ადგილობრივი რესურსების ბაზაზე, სამშენებლო მოედანთან უშუალო სიახლოვეს, მცირე შრომითი და ენერგოდანახაჯებით, როგორც ნარევების მომზადებისას, ასევე კონსტრუქციების დაბეტონების დროს.

ახალი თაობის ბეტონების კონცეფციის რეალიზაციის ერთ-ერთი გზაა მათი მოდიფიცირება უფრო სრულყოფილი და ტექნოლოგიური მასალებით. ეს შეიძლება იყოს ტრადიციული დანამატების და ახალი სინთეტური პროდუქტების ნარევი კომპოზიციები. ამის მაგალითად გამოდგება, მაღალი ტექნოლოგიური და ტექნიკური ეფექტურობით გამორჩეული, ორგანულ-მინერალური მიქსები – MB-01, MB-30C და MB-50C სერიის კომპლექსური მოდიფიკატორები. მოდიფიკატორების მინერალური ნაწილი შედგება მიკროკაჟმიწისაგან (MB-01), ან მისი და ნაცარწატაცის ნარევისაგან (MB-30C და MB-50C), ხოლო ორგანული წარმოდგენილია სუპერპლასტიფიკატორ ნფ-ის და ფოსფორორგანული კომპლექსონის ნარევის სახით. ამ ფხვნილისებრი მასალების ნაყარი სიმკვრივეა 750-800 კგ/მ<sup>3</sup>, შედგებიან 100 მკმ ზომის გრანულებისაგან. თითოეული გრანულა წარმოადგენს მკ-ის ან ნაცრის ულტრადისპერსული ნაწილაკების აგრეგატს, რომელიც დაფარულია სპ-ის და კომპლექსონის მყარი ადსორბციული აფსკით.

ორგანულ-მინერალური მოდიფიკატორების მოქმედება ცემენტის სისტემებზე იმით გამოიხატება, რომ წყალთან ადულაბებისა და ბეტონის ნარევის კომპონენტების შერევისას წარმოებს გრანულების დეზაგრეგაცია, რაც ასევე ხელს უწყობს კაჟმიწის დიოქსიდის შემცველი მკ-ის ან ნაცარწატაცის გამყარებული, ადსორბციული აფსკის გახსნას წყალში. შემდგომ კი მიმდინარეობს სილიციუმის ორჟანგის დისპერსული ნაწილაკებისა და სპ-ის შემცველი სისტემებისათვის დამახასიათებელი გათხევადების პროცესები.

სპ-ების შეხამებით, რაც გამოიხატება ცემენტის სისტემების პლასტიფიცირების ელექტროსტატიკური მექანიზმის და კომპლექსონის მოქმედების სტერიული ეფექტის გამოვლინებით, სისტემა იძენს დიდ დენადობას. ამ შემთხვევაში საჭიროა სპ-ების გაცილებით ნაკლები ხარჯი, ვიდრე ეს საჭირო იყო ანალოგიური კონსისტენციის, მოდიფიკატორების ცალ-ცალკე შეყვანით მომზადებულ, ცემენტის დულაბში. ამ

შემთხვევაში, სხვა ანალოგებთან შედარებით, დიდხანს ნარჩუნდება ბეტონის ნარევების პირვანდელი კონსისტენცია [65].

სწორედ ამ თვისებების გამო, კომპლექსური ორგანულ-მინერალური მოდიფიკატორები გვევლინებიან, მაღალი საექსპლუატაციო მახასიათებლების მქონე ბეტონების კონცეფციის პრაქტიკაში განხორციელების ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებად.

დღეისათვის ტექნიკურად განვითარებულ ქვეყნებში (ამერიკაში, ევროპის ქვეყნებში, იაპონიაში და აგრეთვე რუსეთში) ბეტონის შედგენილობა და დამუშავების ტექნოლოგია ისეთია, რომ ბეტონის სიმტკიცე 100 მპა-ზე მეტია. ასეთი ბეტონები გამოიყენება უნიკალური, განსაკუთრებული მნიშვნელობის შენობებისა და ნაგებობების ასაგებად, როგორცაა ცათამბჯენები, დიდმალიანი ხიდები და ა.შ.

თუ გასული საუკუნის დასაწყისში ძირითადად გავრცელებული იყო კლასიკური მძიმე ბეტონი და უმნიშვნელო რაოდენობით გამოიყენებოდა ბუნებრივ მსუბუქ შემვსებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონი, დღეს მშენებლობაში ხმარებაშია სხვადასხვა სახის და ფუნქციონალური დანიშნულების ბეტონები: მსუბუქი, უჯრედოვანი, მხურვალმედეგი და ცეცხლმედეგი და სხვა.

ამ ფართო არჩევანში ყველაზე გავრცელებული და გამოშვების თვალსაზრისით მასიური არის მძიმე ბეტონი, რომელიც ზოგადად, წარმოებული ყველა სახის ბეტონის 70%-ს შეადგენს.

ტექნიკური პროგრესი ბეტონების წარმოებაში მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია ცემენტის მრეწველობაზე. გასულ საუკუნეში მრავალი კვლევა-ძიება ჩატარდა სხვადასხვა სახის, მაღალი აქტივობის ცემენტის მისაღებად. სტანდარტ 10178-ის მიხედვით დამუშავებულია ცემენტის 30 სხვადასხვა სახეობა. ამათგან 80% სამშენებლო მნიშვნელობისაა.

ზოგადტექნიკურმა პროგრესმა, შესაძლებელი გახადა, ცემენტისა და ბეტონის წარმოებაში ბევრი ახალი აღმოჩენა დანერგილიყო, რამაც ბეტონის წარმოება განვითარების ახალ საფეხურზე აიყვანა და ისეთი ბეტონის მიღების საშუალება შეიქმნა, რომლის მაქსიმალური სიმტკიცე გამოყენებული ცემენტის სიმტკიცეს აღემატება. კერძოდ, სუპერპლასტიფიკატორების და კომპლექსური მოდიფიკატორების შექმნამ და გამოყენებამ ცემენტის აქტივობის ზრდასთან ერთად ბეტონის საშუალო და მაქსიმალური სიმტკიცე გაზარდა.

მთელ მსოფლიოში უახლოეს ათ წელიწადში კლინკერის ცემენტზე დამზადებული ბეტონი თავის პრიორიტეტულ მდგომარეობას შეინარჩუნებს მრავალ კონსტრუქციაში და სხვადასხვა სახის მშენებლობაში. ძირითადი მიმართულება ცემენტის წარმოებაში იქნება მისი აქტივობის (კლასის, მარკის) და გამყარების ტემპის ზრდა.

არსებითი ყურადღება ექცევა მრავალკომპონენტიანი ცემენტის წარმოებას, მასში მინერალური დანამატების შემცველობას, წარმოების ნარჩენების უტილიზაციას.

ეს მიმართულებები ასახულია ევროპულ სტანდარტში EN 197-1, რომელზეც გადასვლასაც აპირებს საქართველო. ამ სტანდარტით გათვალისწინებულია 5 სახის ცემენტის წარმოება:

1. შეიცავს უდანამატო პორტლანდცემენტს ან სხვადასხვა სახის შემცველობის დანამატს 5%-მდე.
2. პორტლანდცემენტი მინერალური დანამატით: გრანულირებული წიდით, პუცოლანით, ნეფელინის შლამით და კირქვით 6-დან 20%-მდე.
3. წიდაპორტლანდცემენტი ელექტროთერმოფოსფორული წიდით 21%-დან 65%-მდე.
4. პუცოლანიანი ცემენტი, რომელიც შეიცავს 21%-დან 35%-მდე პუცოლანურ დანამატს.
5. კომპოზიციური ცემენტი სხვადასხვა სახის დანამატით 21%-დან 60%-მდე.

ცემენტის ასორტიმენტი ევროსტანდარტი EN-197-1-ის მიხედვით დღეს მოქმედ სტანდარტთან ГОСТ-10178-თან შედარებით გაფართოებულია მინერალური დანამატების რაოდენობრივი შემცველობით და მათი სახეებით.

ევროსტანდარტით EN-197-1-ის თანახმად ცემენტის სიმტკიცე კუმშვაზე იყოფა შემდეგ კლასებად: 22.5; 32.5; 42.5; 52.5. ამ შემთხვევაში  $f/c = 0.5$ .

2002 წლის 1 მარტიდან დსთ-ს სივრცეში მოქმედებს ახალი სტანდარტი: ცემენტის გამოცდის მეთოდები ГОСТ-30744-2001 წ, რომელიც შეესაბამება ევრო სტანდარტს EN-196-1-ს. ეს გახლავთ პირველი, მოსამზადებელი სტადია ევრო სტანდარტ EN-197-1- 2000-ზე გადასასვლელად.

ახალი სტანდარტი ცემენტის გამოცდის მეთოდების შესახებ პარალელურად მოქმედებს ძველ სტანდარტებთან - (ГОСТ-310.1- ГОСТ-310.4) ერთად. ახალი სტანდარტი ГОСТ 30744 იმოქმედებს იმ შემთხვევაში, როცა ცემენტის მოწოდება ხდება ევროსტანდარტით EN197-1, ხოლო სტანდარტი ГОСТ-310, როცა მოწოდება ხდება დსთ-ს სტანდარტით. მშენებელი თუ რომელ სტანდარტს აირჩევს, დამოკიდებულია შემკვეთზე და კონტრაქტორზე. ევროსტანდარტი EN-197-1 პარალელურად იმოქმედებს, ხოლო სტანდარტი ГОСТ-10178-85

შემდგომ, როცა ცემენტის ქარხნებთან და ცემენტის შემკვეთთან ურთიერთობის საკმარისი გამოცდილება დაგროვდება, მოქმედი სტანდარტები ГОСТ-310.1- ГОСТ-310.4 და ГОСТ-10178-85 უნდა გამოიცვალოს.

ცემენტის მასობრივი წარმოება და მისი ფართო გამოყენება მშენებლობის სხვადასხვა სახეობაში მოიხოვს სპეციალური დანიშნულების ცემენტის შექმნას, რომლის საფუძველზე შესაძლებელი იქნება მაღალი სიმკვრივის, მაღალი სიმტკიცის და ხანგამძლე ბეტონის მიღება.

დღეს, როგორც ადრე, ბეტონის წარმოების აქტუალური საკითხი არა მარტო ეკონომიკური ასპექტით არის მნიშვნელოვანი, არამედ ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც, ვინაიდან ხდება დიდტონაჟიანი ნარჩენების უტილიზაცია და ბუნებრივი მინერალური რესურსების შენარჩუნება.

ბევრი ტექნოლოგიური ნარჩენი (ნაცარი, წიდა და სხვა) შეიცავს ტოქსიკურ ელემენტებს, ასევე აქვს მაღალი რადიოაქტიურობა. სტანდარტ ГОСТ-30108-ის გამოსვლასთან დაკავშირებით რადიოაქტიურობის პრობლემა პრაქტიკულად მოიხსნა, რადგან მასში მოცემულია ამ მაჩვენებლის შეფასების მეთოდები და კრიტერიუმები.

НИИЖБ-ის გამოკვლევებმა უჩვენა, რომ საშიშია არა ამ ტოქსიკური ელემენტების არსებობა ნარჩენში, არამედ უფრო მავნეა შენაერთები, რომლებშიც ეს ელემენტები იმყოფება და მათი ხსნადობა სხვადასხვა გარემოში.

ბეტონის წარმოებაში გასულ საუკუნის უდიდეს მიღწევად ითვლება ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებების და კომპლექსური მოდიფიკატორების გამოყენება. ბოლო წლებში აღინიშნება განსაკუთრებული ინტერესი ბეტონის მოდიფიკატორად სხვადასხვა ნარჩენების და თანამდევი სამრეწველო პროდუქტების: მინერალური სასუქები, ნავთობგადამუშავებ-ბული, მეტალურგიული და მრავალი სხვა ნარჩენების გამოყენებისა.

მიზეზი, რის გამოც ეს არჩევანი იქნება პერსპექტიული და აქტუალური, მდგომარეობს იმაში, რომ იგი იძლევა ტექნიკურ-ეკონომიკური და მწვავე ეკოლოგიური საკითხების მოგვარების საშუალებას. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ ნარჩენების ქიმიური გადამუშავების გარეშე არ მიიღება მაღალეფექტური მოდიფიკატორები. კომპლექსური მოდიფიკატორების გამოყენება არის წინგადადგმული ნაბიჯი ბეტონის ტექნოლოგიაში.

უახლოეს პერსპექტივად უნდა იქცეს მაღალეფექტური რეგულატორების შექმნა, რომლებიც ბეტონის შეკვრას და გამყარებას შეუწყობს ხელს. დღეისათვის გამოყენებული ქლორიდის საფუძველზე დამზადებული გამყარების დამაჩქარებლებს აქვთ რიგი შეზღუდვები,

რომლებიც დაკავშირებულია ბეტონის დამცავი თვისებების შემცირებასთან არმატურასთან მიმართებით.

ერთ-ერთი პერსპექტიული მიმართულება XXI საუკუნის სამშენებლო მასალათმცოდნეობაში არის ისეთი მასალების შექმნა, რომელთაც ექნებათ ლითონთან, კერამიკასთან და პოლიმერთან მიახლოებული ახალი თვისებები. ეს სერიოზული ამოცანა გადაჭრილი იქნება, თუ გამოვიყენებთ სპეციალური დანიშნულების კომპლექსურ მოდიფიკატორებს. ეს მასალები უნდა გამოირჩეოდნენ მაღალი სიმტკიცით გაჭიმვაზე ღუნვისას და აგრეთვე ზემადალი სიმტკიცით კუმშვის დროს.

მძიმე ბეტონის განვითარების ზოგადი მიმართულება უახლეს ათწლეულში მდგომარეობს მისი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებების გაუმჯობესებაში დღევანდელ დონესთან შედარებით; ენერჯის ხარჯის და შრომატევადობის შემცირებაში საწარმოს ყველა ტექნოლოგიურ გადამუშავებაზე, ბუნებრივი მინერალური რესურსების შენახვასა და მსხვილტონაჟიანი მინერალური ნარჩენების უფრო აქტიურ გამოყენებაში.

## 2. შედეგები და მათი განსჯა

### 2.1. ლაბორატორია

#### 2.1.1. ლაბორატორია და დანადგარები

კვლევების ექსპერიმენტალური ნაწილი ძირითადად შესრულდა სსიპ ლევან სამხარაულის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიუროს, კირიაკ ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის, სეისმომედეგობის და საინჟინრო ექსპერტიზის ცენტრის ლაბორატორიაში, რომელიც შედარებით ახლად შექმნილია და ძირითადად აღჭურვილია „CONTROLS“-ის ფირმის თანამედროვე აპარატურით. ლაბორატორიაში შესაძლებელია, როგორც შემვსებების და მჭიდი მასალების ფიზიკურ - მექანიკური თვისებების ტესტირება, ისე ბეტონის ნარევის მომზადება და გამყარებული ბეტონის კვლევა - ტესტირება შესაბამისი ევროპული სტანდარტის მოთხოვნის მიხედვით. ლაბორატორიაში არსებული დანადგარების პროგრამული უზრუნველყოფა შეესაბამება და აკმაყოფილებს შესაბამის საერთაშორისო სტანდარტებს.

მასალებზე თერმული და ქიმიური ექსპერიმენტების მნიშვნელოვანი ნაწილი განხორციელდა პ. მელიქიშვილის სახელობის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის და რ. აგლაძის სახელობის არაორგანული ქიმიის და ელექტროქიმიის ინსტიტუტებში.

ქვემოთ თვალსაჩინოებისათვის მოყვანილია ლაბორატორიაში არსებული ნიმუშების კუმშვაზე და ღუნვაზე გამოსაცდელი წნეხის ფოტოები. (სურ. №1 და სურ. №2)



სურ. №1 და სურ. №2 ნიმუშების კუმშვაზე და ღუნვაზე გამოსაცდელი წნეხი.

## 2.1.2. ექსპერიმენტების ჩატარების მეთოდოლოგიური და მეტროლოგიური უზრუნველყოფა

ლაბორატორია აკრედიტრებულია ს.ს.ი.პ. „აკრედიტაციის ერთიანი ეროვნული ორგანო - აკრედიტაციის ცენტრი“-ს მიერ. მასში არსებული აპარატურა გამართულია და მათი სიზუსტე ხელშეკრულების საფუძველზე მუდმივად მოწმდება ს.ს.ი.პ. „საქართველოს მეტროლოგიისა და სტანდარტების ეროვნული სააგენტო“-ს მიერ. ამასთან ლაბორატორიაში მომუშავე სპეციალისტებს გავლილი აქვთ შესაბამისი ტრენინგები და გააჩნიათ სათანადო სერტიფიკატები. ლაბორატორიაში არის შესაბამისი მუდმივი ტემპერატურა და ტენიანობა, ლაბორატორიას გააჩნია ბეტონის და ცემენტის ნიმუშების მოვლისათვის საჭირო სპეციალური კლიმატური კამერები. ლაბორატორიაში არსებული ხელსაწყო - დანადგარები საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ექსპერიმენტები, როგორც ევროპული ასევე სხვა სტანდარტების გამოყენებით. ექსპერიმენტალური კვლევების დროს ძირითადად გამოყენებულ იქნა შემდეგი ნორმატიული დოკუმენტაცია:

EN197-1- ცემენტები. ზოგადი ტექნიკური პირობები.

EN197-2- შესაბამისობის სეფასება.

EN 196-ცემენტის გამოცდის მეთოდები.

EN 206-1- ბეტონი - ნაწილი 1: ტექნიკური მოთხოვნები, საექსპლოატაციო მონაცემები, წარმოება და შესაბამისობის კონტროლი.

EN12390-2.2009-გამყარებული ბეტონის გამოცდა.

EN 933-1 - შემვსებების გამოცდა გეომეტრიულ მახასიათებლებზე - ნაწილი 1: გრანულომეტრული შედგენილობის განსაზღვრა - გაცრის მეთოდი.

EN 933-2 - შემვსებების გამოცდა გეომეტრიულ მახასიათებლებზე - ნაწილი 2: გრანულომეტრული შედგენილობის განსაზღვრა - საცრები, ნახვრეტების ნომინალური ზომა.

ГОСТ 24452-80 - ბეტონები. გამოცდის მეთოდები.

ГОСТ 4-212-80- ბეტონები. მაჩვენებლების ნომენკლატურა.

ГОСТ 10181-2000- ბეტონის ნარევი. გამოცდის მეთოდები.

ГОСТ 10181-1-81-ბეტონის ნარევი. გამოცდის მეთოდების ზოგიერთი მოთხოვნები.



ГОСТ 10181-4-81-ბეტონის ნარევი. განშრევადობის განსაზღვრის მეთოდები.

ГОСТ 25182-82-ბეტონები. კლასიფიკაცია და ზოგადი ტექნიკური მოთხოვნები.

ГОСТ 27006-86-ბეტონები. შედგენილობის განსაზღვრის წესი.

ГОСТ 30459-96-ბეტონის დანამატები. ეფექტურობის განსაზღვრის მეთოდები.

ГОСТ 22685-89-ბეტონის ნიმუშების დასამზადებელი ყალიბები. ტექნიკური პირობები.

ГОСТ 127301-78-ბეტონები. სიმკვრივის განსაზღვრის მეთოდი.

ГОСТ 24211-91-ბეტონის დანამატები. კლასიფიკაცია.

ГОСТ 31108-2003-ზოგადსამშენებლო ცემენტები. ტექნიკური პირობები.

ГОСТ 30744-ცემენტები. გამოცდის მეთოდები.

ГОСТ 8267-93-მთის მკვრივი ქანების ღორღი და ხრეში სამშენებლო სამუშაოებისათვის.

ГОСТ 8736-ქვიშა სამშენებლო სამუშაოებისათვის.

ГОСТ 8417-2002-ფიზიკური სიდიდეების ერთეულები.

ГОСТ 8563-96-გაზომვების ჩატარების მეთოდიკა.



### სურ. №3 კლიმატური კარადა ცემენტის ნიმუშებისათვის

#### 2.1.3. ლაბორატორიის ბეტონის შემკვრელებით, შემვსებებით, რეაქტივებით და დანამატებით აღჭურვა.

ლაბორატორიაში კვლევებისათვის გამოყენებულ იქნა საქართველოს ბაზარზე გავრცელებული ცემენტის ნიმუშები, მასალები, რომლებიც შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ბეტონში მიკროშემავსებლებისა და დანამატების სახით, როგორცაა: მიკროსილიციუმი-ზესტაფონის ფეროშენადობი ქარხნის SiO<sub>2</sub>-ის შემცველი ფილტრებში შეკავებული მტვერი, თიხა-ფიქალი, ცეოლითი-კლინოპტილოლიტი, ბენტონიტური თიხა და პლასტიფიკატორები SIKAVISCOCRETE: HI-Tech 66, HI-Tech 1169, HI-Tech 1237, HI-Tech 1451, SF-18F, აგრეთვე ბაზალტის ფიბრა და ინერტული მასალები საქართველოს სხვადასხვა რეგიონებიდან.

#### 2.2. ბეტონის შემადგენელი მასალების ტესტირება.

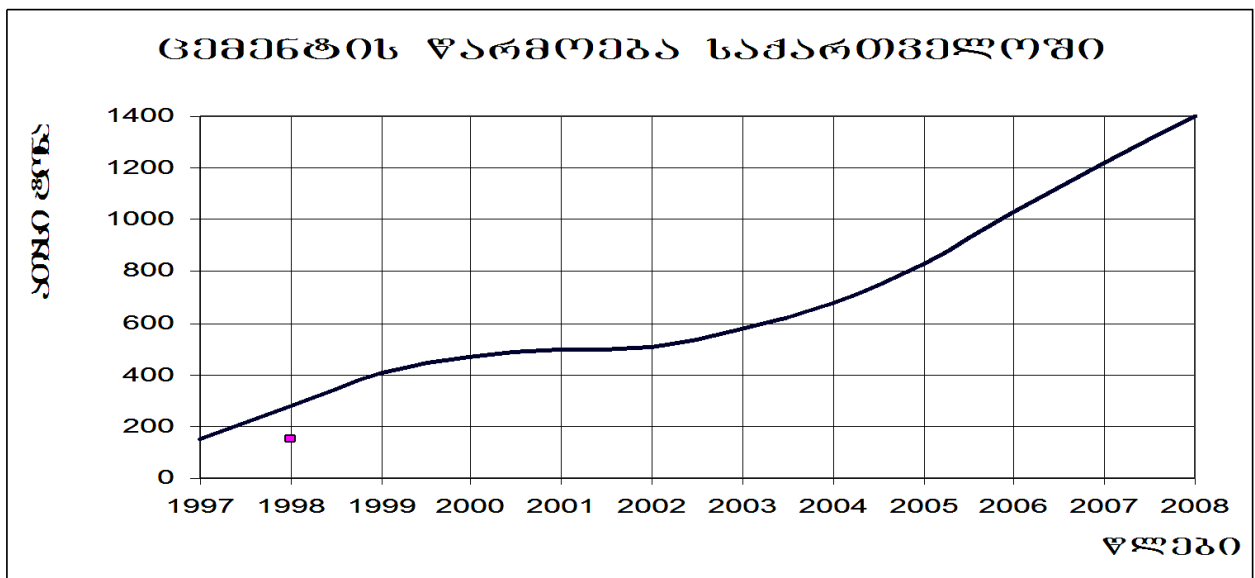
##### 2.2.1. საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე არსებული EN 197 შესაბამისი ცემენტების ტესტირება

ძირითადად სამშენებლო კონსტრუქციების ბეტონი მზადდება არაორგანული მჭიდა მასალების გამოყენებით. ბეტონის წარმოებაში გამოყენებული ცემენტებიდან უპირველესია პორტლანდცემენტი.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მისაღებად გამოყენებული ცემენტების ძირითად მახასიათებლად ითვლება: მინერალოგიური შედგენილობა, ცემენტის ცომის ნორმალური სისქე, დაფქვის სიწმინდე და აქტივობა. მსბ-ების მისაღებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც ჩვეულებრივი, ასევე წიდა და პუცოლანური პორტლანდცემენტები; განსაკუთრებული მიზნებისთვის შეიძლება პლასტიფიცირებული და ჰიდროფობული ცემენტების მოხმარებაც.

საქართველოში საბაზრო ეკონომიკის სივრცეში შესვლა და ევროპულ განვითარებასთან ინტეგრაციის მცდელობა დღის წესრიგში აყენებს ამოცანას, წარმოებული იქნეს უნიფიცირებული ხარისხობრივი მაჩვენებლების კომპოზიციური სამშენებლო მასალა – ცემენტი.

ნახ. 1-ზე მოყვანილია ცემენტის წარმოების დინამიკა საქართველოში 1997-2008 წლებში.



ნახ. 1. საქართველოში ცემენტის წარმოების დიაგრამა

ცემენტი და ბეტონი ძირითადი სამშენებლო მასალაა, მათ ახასიათებთ არქიტექტურულ-სამშენებლო გამოხატულება, დაბალი ღირებულება, ტექნოლოგიის განხორციელების სიმარტივე. მათი წარმოების დროს გამოიყენება ადგილობრივი ნედლეული და აგრეთვე იქმნება შესაძლებლობა სხვადასხვაგვარი წარმოების ნარჩენების უტილიზაციისა. ეს კი საშუალებას მოგვცემს აღვადგინოთ გარემოში დარღვეული წონასწორობა, გავაუვნებელყოთ მოსალოდნელი ხიფათი და მიწის დაბინძურებული ფართობები გამონთავისუფლებდა საზოგადოების საკეთილდღეოდ.

სამშენებლო კონსტრუქციული მასალების რღვევისადმი წინაღობა განისაზღვრება მისი სტრუქტურის უნარით ხელი შეუშალოს ბზარების წარმოქმნს და განვითარებას (ზრდას) ექსპლუატაციის დროს ნაკეთობების ეფექტური მუშაობის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია არა მარტო მაღალი სიმტკიცის მასალების წარმოება, არამედ ამ მასალებს უნდა ახასიათებდეს ნაკლები სიმყიფე ანუ მაღალი წინაღობა ბზარების განვითარება გავრცელებისადმი.

ამის განსახორციელებლას საჭიროა მასალის სტრუქტურის წარმოქმნის პროცესების ღრმა ცოდნა და სისტემაში მასალის შემადგენლობა (ტიპი)-სტრუქტურა-თვისებები კანონზომიერებების დადგენა, მასალის სტრუქტურის მოდიფიკაცია და სრულყოფა. ამის ფუძეზე სამშენებლო კომპოზიციური მასალისთვისებების პრინციპიალური გაუმჯობესების მიღწევა შესაძლებელია სხვადასხვა გზით: ბეტონის შემადგენლობაში ახალი სრუქტურული ელემენტების შეყვანით, რომლებიც ბლოკირებას გაუწევენ ბზარების განვითარებას; შემადგენლობის კომპლექსური ქიმიზაცია; დისპერსული არმირება; ცემენტის და შემცველების სახის შერჩევა და სხვა.

განვიხილოთ სხვადასხვა ტიპის ცემენტის გამყარების დროს მიმდინარე პროცესები და მათი გავლენა ზედაპირული ნაბზარების წარმოქმნა-განვითარებაზე. ალუმინატურ ცემენტის გამოყენებისას ადგილი აქვს სწრაფ სითბოგამოყოფას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ბეტონის ზედაპირის გაშრობა და დაშლაც კი, რადგან იზრდება შიდა ფორების წნევა. ამავე დროს ტემპერატურის მომატება ხელს უწყობს  $C_4ACH_{11}$ -ის წარმოქმნას ( $CaCO_3$ -თან ურთიერთქმედების გამო) და, როგორც შედეგი იზრდება აბრაზიული და კოროზიული მედეგობა. ალუმინატურ ბეტონს ახასიათებს მაღალი სიმკვრივე, სხვადასხვა სახის კოროზიისადმი მედეგობა, რადგან ხდება ფორების ბლოკირება ალუმინის ჰიდროქსიდით  $Ca(OH)_2$ -ის ნაკლებობით.

გაფართოვებადი ცემენტების გამოყენება შეამცირებს ბზარების წარმოქმნა-განვითარებას. ასეთი ცემენტები არის ძაბვადი და შეუკლებადი. ამ ცემენტებით შესაძლებელია მტკიცე თხელი ნაკეთობების დამზადება. აქტუალურია მათი გამოყენება მანქანების მრავალსართულიანი სადგომების და წყლის რეზერვუარების მშენებლობისას, როდესაც წყლის გაჟონვა უნდა იყოს გამორიცხული.

სხვადასხვა მეცნიერების მიერ ნაჩვენებია წყალგაუმტარებლობის გაზრდა (შესაბამისად ფორიანობის შემცირება და ბზარების ნაკლებობა) ერთ წლიან ნიმუშებში კომპოზიციური ცემენტების შემთხვევაში. თუ საწყისი სიმტკიცე მცირეა, ზედაპირიდან სინესტე მალე

ორთქლდება ანუ უფრო ადრე, ვიდრე მოხდა საკმარისი ხარისხით ცემენტის ჰიდრატაცია. ამის შედეგად ზედაპირზე ჩნდება ნაბზარები, იზრდება ფორიანობა და მცირდება ხანმედეგობა.

საინტერესოა, რომ საბჭოთა სტანდარტებით ნებადართული იყო ინერტული მასალების მინერალურ დანამატებად გამოყენება მხოლოდ ფერადი და აგრეთვე სამშენებლო დულაბების დასამზადებელი 200 მარკის ცემენტის წარმოებისას. ევროპაში კი მოქმედი სტანდარტებით გათვალისწინებულია, რომ ყველა კლასის ცემენტის დაფქვის დროს, როგორც აუცილებელი დანამატი, ცემენტის შედგენილობაში შეყვანილი იქნას 5%-მდე შემკვები-ინერტული მასალა, რადგან იგი პრაქტიკულად არ ცვლის ცემენტის ხარისხს.

ცემენტის ასორტიმენტი ევროსტანდარტი EN 197-1-ის მიხედვით დსთ-ში მოქმედ სტანდარტთან ГОСТ-10178-65-თან შედარებით გაფართოებულია მინერალური დანამატების რაოდენობრივი შემცველობით და მათი სახეებით.

ევროსტანდარტით EN 197-1-ის თანახმად ცემენტი იყოფა შემდეგ კლასებად: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5 მათი კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით (მპა).

უმეტეს შემთხვევაში ევროკავშირის ქვეყნებში მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მისაღებად გამოიყენება პორტლანდცემენტი CEMI, CEMII -კომპოზიტური პორტლანდცემენტის აღნიშვნაა, ხოლო CEMIII - წიდაპორტლანდცემენტის.

საქართველოში ცემენტის წარმოება ძირითადად გადასულია ევროპულ სტანდარტ EN 197-1-ზე. ჩვენს მიერ გამოკვლეულ იქნა საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე ყველაზე მეტად გავრცელებული ქ. რუსთავის „ჰაიდელბერგი“-ს და თურქეთში, ქ. ტრაპიზონში წარმოებული პორტლანდცემენტები CEM I 42,5 R. გამოკვლეული იქნა, როგორც მათი ქიმიური შემადგებლობა აგრეთვე მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

აღნიშნული ცემენტების ქიმიური შემადგენლობა მოყვანილია ცხრილ №2 -ში.

ცხრილი №2

რუსთავის და ტრაპიზონის ქარხნების CEM I 42,5 R ცემენტების ქიმიური შემადგენლობა (%)

№	ცემენტის მწარმოებელი	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	20,90	5,31	3,56	64,34	1,19	3,00
2	ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	19,86	5,40	3,25	63,77	1,22	2,50%

ქ. რუსთავის და ქ. ტრაპიზონი ცემენტის ქარხნების პორტლანდცემენტების CEM I 42,5 R EN 196-ით ტესტირების შედეგები მოყვანილია ცხრილ №3 -ში.

ცხრილი № 3

ექსპერიმენტებში გამოყენებული პორტლანდცემენტების EN 196-ის მიხედვით ტესტირების შედეგები

№	ცემენტის მწარმოებელი	დაფქვის სიწმინდე		ცემენტის ცომის ნორმალური სისქე	შეკვრის ვადები, წთ		სიმტკიცე კუმშვაზე მპა		
		ნარჩენი №008 საცერზე %	ხვედრიითი ზედაპირი სმ <sup>2</sup> /მ		დასაწყისი	დასასრული	2 დღის შემდეგ	7 დღის შემდეგ	28 დღის შემდეგ
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	7,0	3412	24	90	165	21,26	36,20	49,7
2	ქ. ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	6,5	3623	28	115	180	28,2	37,8	47,7

ამასთან ერთად ჩატარდა ცემენტის სტრუქტურის კვლევა მიკროსკოპის საშუალებით, რომელიც განხორციელდა გერმანული წარმოების რასტერული ელექტრონული მიკროსკოპით „OPTON“ DSM-960. ცემენტის ქვის სტრუქტურის კვლევა განხორციელდა ნიმუშის გამყარებიდან სამი დღის შემდეგ.

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

ექსპერიმენტალური კვლევების შემდგომ ეტაპზე გამოყენებულ იქნა ძირითადად რუსთავის ცემენტის ქარხნის CEM I 42,5 R ცემენტი, რომლის აქტივობა 500 კგძ/სმ<sup>2</sup>-ია.

ბეტონების მაღალი ტექნიკური თვისებების მისაღწევად აუცილებელია ცემენტის ენერჯის მაქსიმალური გამოყენება, ცემენტის ქვის ოპტიმალური მიკროსტრუქტურის შექმნა, ძლიერ დისპერსული, მაღალაქტიური სილიკატური მასალების და მოდიფიკატორების მიზანმიმართული გამოყენებით ცემენტის ქვისა და შემვსების საკონტაქტო ზონის გაძლიერება.



სურ. №4 ცემენტის ხარისხის საკვლევი ხელსაწყოები

## 2.2.2. საქართველოში სხვადასხვა სამსხვრევ მახარისხებელი საწარმოების მიერ წარმოებული ღორღის თვისებების კვლევა.

ბეტონის სიმტკიცის ზრდასთან ერთად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება შემვსები მასალების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. თუ ჩვეულებრივი ბეტონის შემთხვევაში შემვსები თამაშობს ინერტული მასალის როლს, მაღალი სიმტკიცის ბეტონებში შემვსებების ხარისხსა და თვისებებს თავიანთი წვლილი შეაქვთ ბეტონის სიმტკიცის ზრდაში.

მსხვილი შემვსების სახით მაღალი სიმტკიცის ბეტონებში (მსბ) 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 ეს სიმტკიცე არ უნდა ჩამოუვარდებოდეს მისაღები ბეტონის მარკას. ამ შემთხვევაში საჭიროა ღორღის გამოცდა ბეტონში და სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების შემდეგ უნდა მოხდეს მისი გამოყენება. ამიტომ მსბ-ის მისაღებად ძირითადად იყენებენ ბაზალტის, გაბროს ან გრანიტის ღორღს. გერმანიაში C90/105 და C110/115 ბეტონებისათვის გამოიყენება ძირითადად ბაზალტის ღორღი. მაგრამ ეს საკმაოდ ამვირებს მის ღირებულებას. დისერტაციაში განხილულია მარნეულის ბაზალტის საბადოს ღორღის და კურსების გრანიტის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.

ჩვენს მიზანს შეადგენდა საქართველოს მდინარეების აუზების შემვსებების გამოკვლევა და მათი მსბ-ის წარმოებაში ვარგისიანობის შემოწმება. ამგვარი მასშტაბური კვლევა ჩატარებულია გასული საუკუნის სამოცდაათიან წლებში ა. ტატიშვილის თაოსნობით და შედეგები მოყვანილია კატალოგის სახით გამოცემულ ნაშრომში „ბეტონის შემვსებები საქართველოს სსრ ინერტული მასალების ბაზაზე“. აღნიშნულ ნაშრომში გარდა საქართველოში იმ დროისათვის მოპოვებული და წარმოებული ბეტონის შემვსებების ფიზიკურ - მექანიკური თვისებების მოყვანილი, აგრეთვე მათი მარაგების ოდენობაცაა შეფასებული. რაც შეეხება ჩვენს მიერ ჩატარებულ კვლევებს, ისინი ასახავენ საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში დღეს არსებული სამსხვრევ-სახარისხებელი საწარმოების მიერ გამომუშავებული ღორღისა და ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების კვლევის შედეგებს. დისერტაციაში გამოკვლეულია ახალციხე-ახალქალაქის, ზუგდიდი-მესტიის, ფოთი-ბათუმის, ქუთაისი-ტყიბულის, თელავი-ანძის, თბილისი-რუსთავის, მარნეული-დმანისის რეგიონების შემვსებების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები;



### 2.2.2.1. მდინარე ხრამის აუზში წარმოებული ღორღის ტესტირება

მდინარე ხრამის აუზის ღორღის ფიზიკურ - მექანიკური მახასიათებლებია:

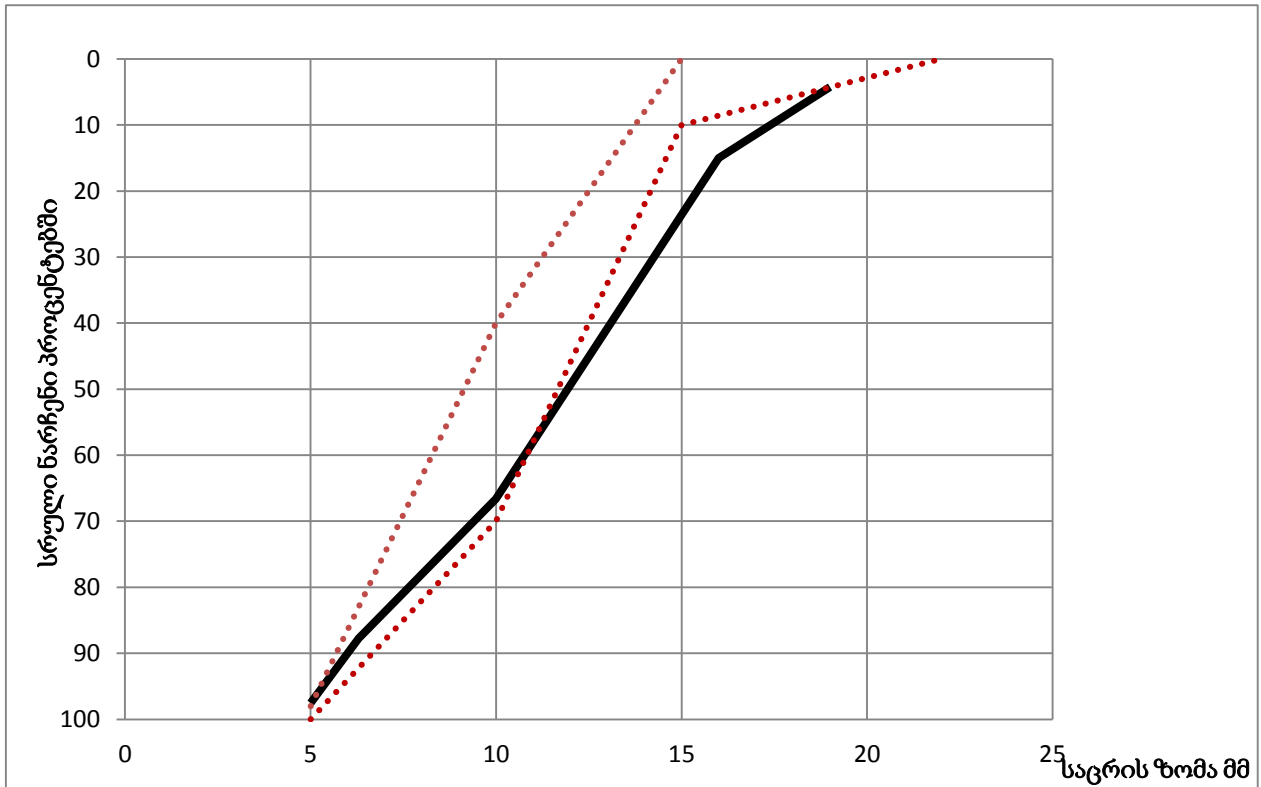
1. ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით ღორღის ტენიანობა გამოცდის მომენტისათვის აღმოჩნდა:  $W_{\text{ვ}} = 0,9\%$ ;
2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის (პიკნომეტრი) მიხედვით:  $\rho_{\text{ნ}} = 2,71$  გ/სმ<sup>3</sup>;
3. ღორღის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით:  $\rho_{\text{ა}} = 1,42$  გ/სმ<sup>3</sup>;
4. ცარიელობა ღორღში ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით:  $V_{\text{ჰვ}} = (1 - \rho_{\text{ა}} / \rho_{\text{ნ}}) 100 = 47,6\%$ ;
5. თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად: იგი შეადგენს – 0,42%-ს, რაც ნაკლებია სტანდარტით განსაზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე – 1%.
6. ღორღის გრანულომეტრული შედგენილობა განსაზღვრულია ევროსტანდარტ EN 933-2-ის და ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად; ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე (იხ. ცხრილი 4):

#### ცხრილი №4

მდ. ხრამის აუზის ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა:

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ							ჯგავიდა №5,0
	19,0	16,0	12,5	9,5	8,00	6,3	5,0	
კერძო,გრ	640	1618	4637	3102	1227	1939	1473	358
კერძო,%	4,23	10,79	30,91	20,68	8,18	12,93	9,82	2,39
სრული,%	4,23	15,02	45,93	66,61	74,79	87,72	97,54	99,93

ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით: ფრაქცია <5მმ-ზე - 2,39%;  
 ფრაქცია 5-10მმ - 41,27%; ფრაქცია 10-20მმ - 56,27%;



ნახ. №2 მდინარე ხრამის აუზში წარმოებლი ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი.

#### 2.2.2.2. თბილისი-რუსთავის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება

შერჩეული იყო თბილისი-რუსთავის რეგიონის ქვიშა-ღორღი. ჩატარდა მათი ხარისხის ტესტირება შესაბამისი სტანდარტების მიხედვით, რომლის შედეგები მოყვანილია ქვემოთ.

თბილისი-რუსთავის რეგიონის ღორღი.

- 1.1. ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=1,1\%$ .
- 1.2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_s=2,70\text{გ/სმ}^3$ .
- 1.3. ღორღის ნაყარი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $\rho_d=1,40\text{გ/სმ}^3$ .
- 1.4. ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $V=(1-\rho_d/\rho_s)100=48,1\%$ .

1.5. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ΓOCT 8269-87-ის შესაბამისად და შეადგენს 0,85 %-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

1. ღორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ΓOCT 8269-87-ის შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცარელ დანადგარზე. შედეგები მოყვანილია ცხრილ №5-ში.

ცხრილი 5

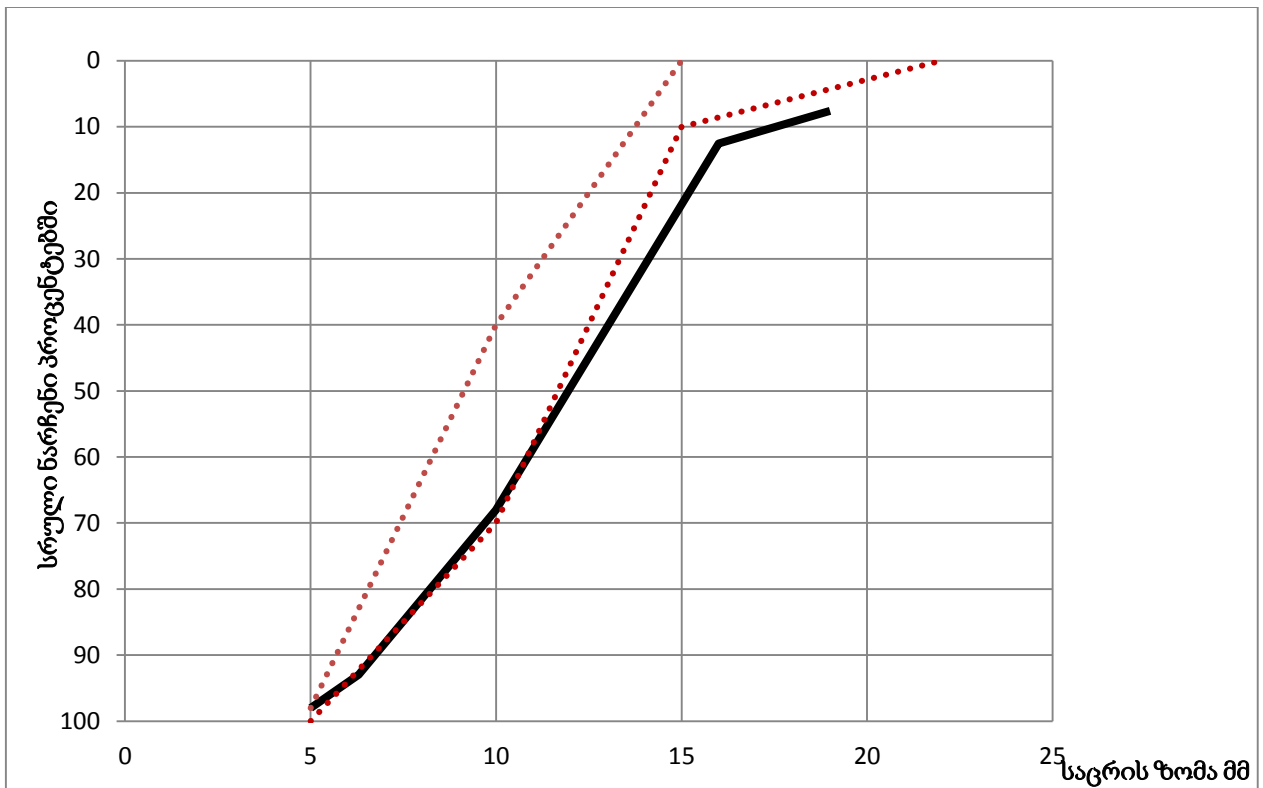
თბილისი-რუსთავის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები							გავიდა 3,35 მმ საცერში
	22	19	16	10	6,30	5,0	3,35	
კერძო გრ.	15	575	384,5	4299,5	1934,5	392,5	75,0	73,5
კერძო %	0,19	7,4	4,96	55,48	24,96	5,06	0,97	0,95
კერძო %	0,19	7,59	12,55	68,03	92,99	98,01	99,02	99,97

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა იქნება

$$G=15+575+384,5+4299,5+1934,5+392,5+75,0+73,5=7750 \text{ გრ.}$$

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ღორღის უდიდესი სიმსხოს ზომად მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ღორღის რაოდენობა არ აღემატება 5 %-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95 %-ისა (საცერში გასულია 5 %). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 19 მმ., ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 5,00 მმ. წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემვსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.



ნახ. №3 თბილისი-რუსთავის რეგიონი ღორღის გრანულმეტრიული მრუდი.

### 2.2.2.3. ფოთი-ბათუმის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება

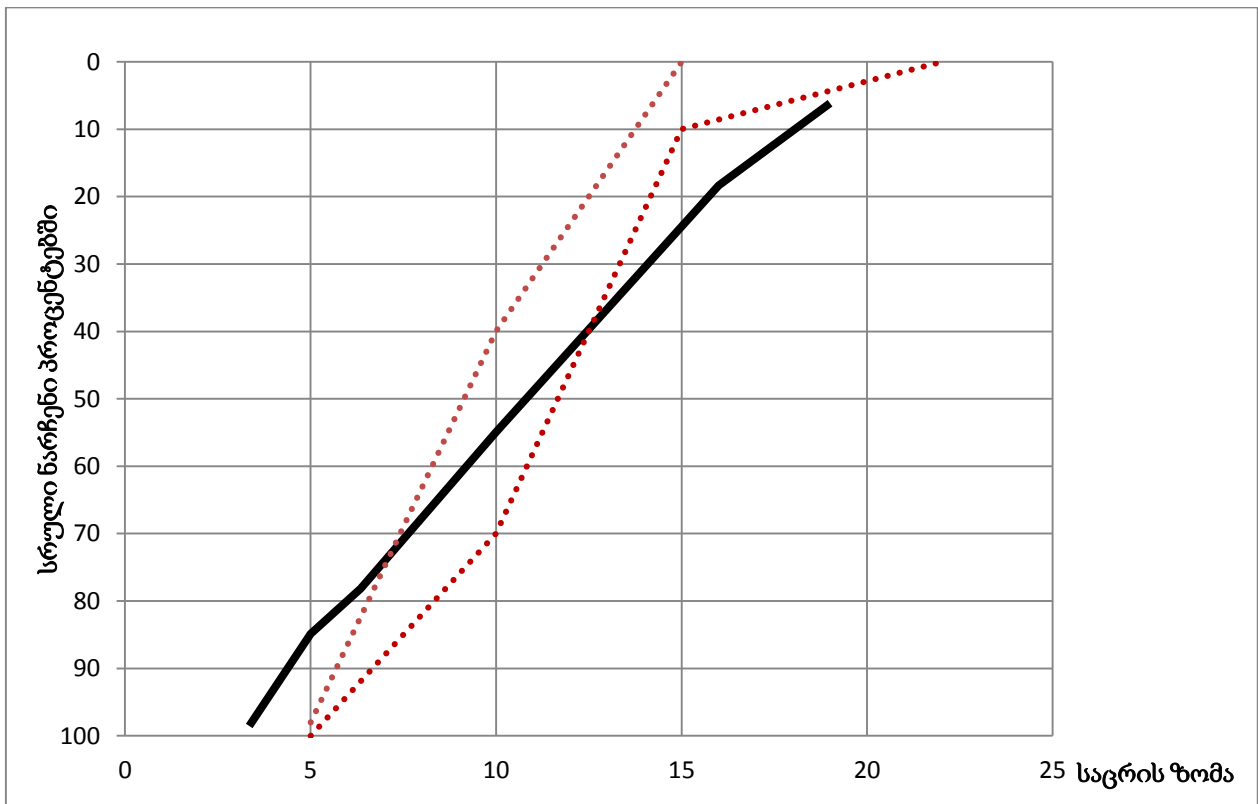
ფოთი-ბათუმის რეგიონში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

- 1.1.ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=1,9\%$ .
- 1.2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_f = 2,50 \text{ გ/სმ}^3$ .
- 1.3. ღორღის ნაყარი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $\rho_f = 1,40 \text{ გ/სმ}^3$ .
- 1.4. ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $V = (1 - \rho_f / \rho_d) 100 = 49,4\%$
- 1.5. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 0,97%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე-1%.

ღორღის გრანულმეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ГОСТ 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე.

ფოთი-ბათუმის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ								გავიდა 3,35 მმ საცერში
	22	19	16	10	8	6,30	5,0	3,35	
კერძო გრ.	19,5	594,5	1220,5	3658,0	2324,5	671,0	1018	350	142
კერძო %	0,2	5,94	12,21	36,58	23,24	6,71	10,18	3,5	1,42
სრული %	0,2	6,14	18,35	54,93	78,17	84,88	95,06	98,56	99,98



ნახ. №4. ფოთი-ბათუმის რეგიონი ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი.

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა იქნება: G=9998 გრ.

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ღორღის უდიდესი სიმსხოს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95%-ისა (საცერში გასულია 5%). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 16მმ, ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 5მმ. წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა ვერ აკმაყოფილებს მძიმე მეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.

#### 2.2.2.4. თელავი-ახმეტის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება

თელავი-ახმეტის რეგიონში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები:

1.1.ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა W-0,9%.

1.2.ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_{\sigma}=2,70\text{გ/სმ}^3$ .

1.3. ღორღის ნაყარი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $\rho_{\sigma}=1,380\text{გ/სმ}^3$ .

1.4.ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $V=(1-\rho_{\sigma}/\rho_{\sigma})100=49,4\%$ .

1.5.თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად და შეადგენს 0,87%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

ღორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ГОСТ 8269-87-ის მოთხოვნის შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე შედეგები მოყვანილია ცხრილ №7-ში.

#### ცხრილი №7

თელავი-ახმეტის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედეგნილობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ								გავიდა 3,35 მმ საცერში
	22	19	16	10	8	6,30	5,0	3,35	
კერძო გრ.	32	1861	1115	3414	2057	1323	110	55	30
კერძო %	0,32	18,61	11,15	34,14	20,57	13,23	1,1	0,55	0,3
სრული %	0,32	18,93	30,08	64,22	84,79	98,02	99,12	99,67	99,97

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა იქნება:

$$G=32+1861+1115+3414+2057+1323+110+55+30=9997 \text{ გრ.}$$

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ღორღის უდიდესი სიმახოს ზომად მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ღორღის რაოდენობა არ აღემატება 5 %-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95 %-ისა (საცერში გასულია 5 %). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 19 მმ., ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 6,3 მმ. წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა ვერ აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემვსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.

### 2.2.2.5. ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება

გამოკვლეული იქნა ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ - მექანიკური თვისებები.

1.1 -ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=0,9\%$ ;

1.2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_n=2,70\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3. ღორღის მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $\rho_m=1,40\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4. ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით

$$V=(1- \rho_m/ \rho_n)100=48.1\%;$$

1.5. თიხოვანი,ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 0,85%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

ღორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ГОСТ 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად.ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანაბგარზე 15D0410 და მოყვანილია ცხრილ № 8-ში.

#### ცხრილი № 8

#### ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა

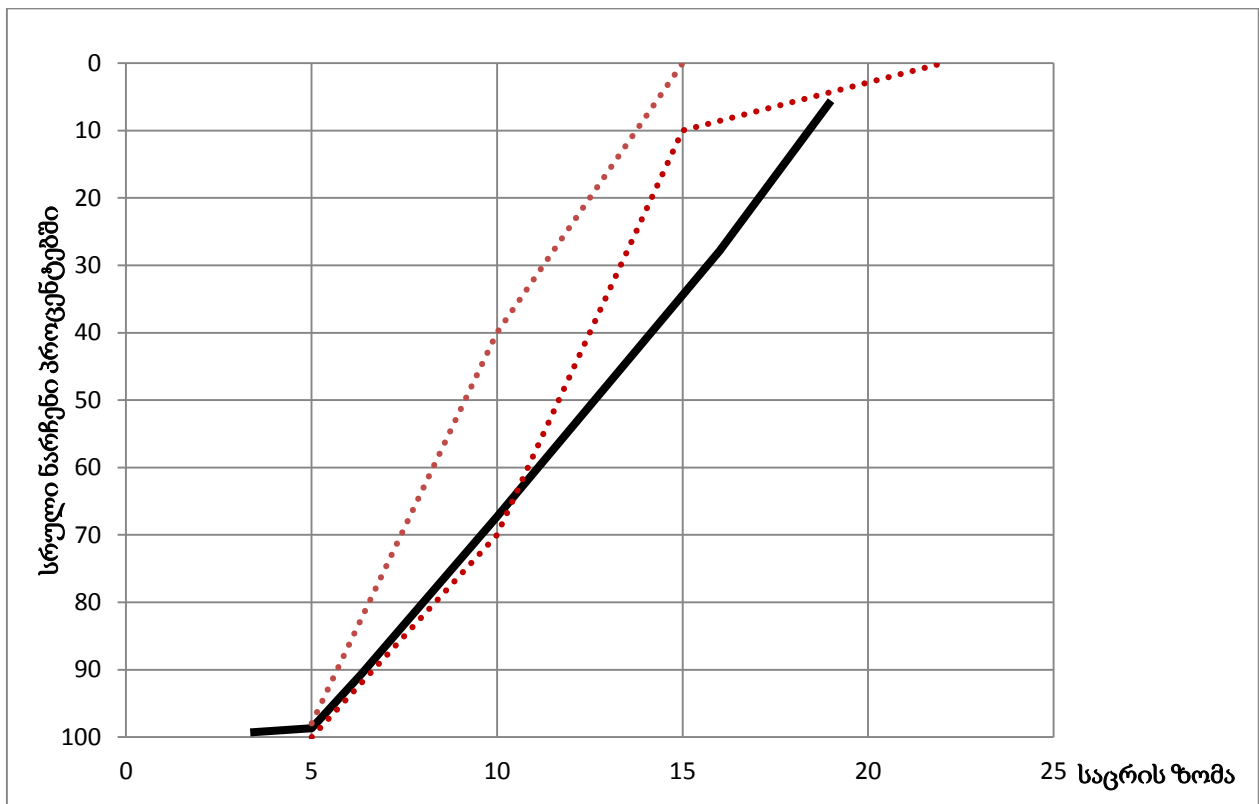
ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ							გავიდა 3,35მმ საცერში
	22	19	16	10	6,30	5,0	3,35	
კერძო გრ.	41	514	2227	3947	2334	804	65	63
კერძო %	0,41	5,14	22,27	39,47	23,34	8,04	0,65	0,63
სრული %	0,41	5,55	27,82	67,29	90,63	98,67	99,32	99,95

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა იქნება:

$$G=8+50,5+484,5+4199,5+1934,5+197,5+65+78,5=7018\text{გრ.}$$

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს.ღორღის უდიდესი სიმახოს ზომად მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ღორღის რაოდენობა არ აღემატება 5%-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა,რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95%-ისა (საცერში გასულია 5%).ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 19მმ, ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 6,30 მმ. წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა ვერ

აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.



**ნახ. №5 ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი.**

### 2.2.2.6. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება

ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები დადგენილი იყო შესაბამისი სტანდარტების გამოყენებით.

1.1 -ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=0,8\%$ ;

1.2 -ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_6=2,72\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3 -ღორღის მიოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $\rho_a=1,380\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4-ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით

$$V=(1- \rho_a/ \rho_6)100=49,4\%;$$



1.5-თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ლორღში დადგენილია GOCT 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 0,87%-ს რაც რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

1. ლორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და GOCT 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანაბარზე 15D0410. შედეგები მოყვანილია ცხრილ №9-ში.

**ცხრილი №9**

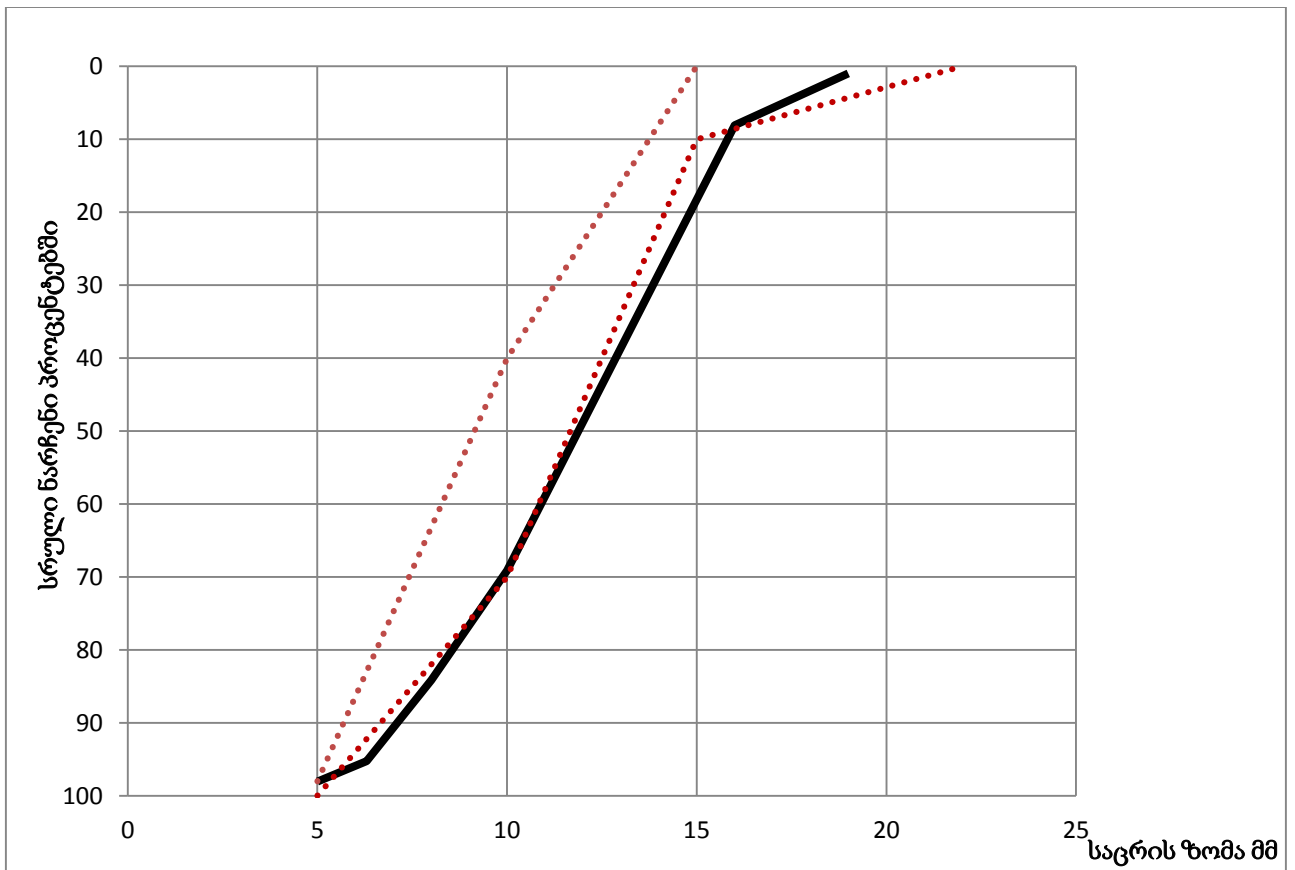
**ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ლორღის გრანულომეტრიული შედგენილობა**

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ								გავიდა 3,35 მმ საცერში
	22	19	16	10	8	6,30	5,0	3,35	
კერძოგრ.	0	9,7	484,5	4186,0	1034,0	760,0	197,0	65	80
კერძო %	0	0,8	7,0	60,8	15,0	11,0	2,8	0,9	1,16
სრული %	0	0,8	7,8	68,6	83,6	94,6	97,4	98,3	99,46

მთლიანად საცერში გატარებული ლორღის რაოდენობა იქნება

$$G = 9,7 + 484,5 + 4186 + 1034 + 760 + 197 + 65 + 80 = 6880 \text{ გრ.}$$

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ლორღის უდიდესი სიმსხოს ზომად მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ლორღის რაოდენობა არ აღემატება 5%-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95%-ისა (საცერში გასულია 5%). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ლორღის ზომაა 19მმ, ხოლო უმცირესი ლორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 6,3მმ. წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ლორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა ვერ აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.



ნახ. №6 ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრია

### 2.2.2.7. ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ღორღის ხარისხის ტესტირება

ზუგდიდი-მესტიის რეგიონში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შესწავლილი იყო შესაბამის სტანდარტებზე დაყრდნობით.

1.1 -ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=0,75\%$ ;

1.2 -ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_6=2,60\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3 -ღორღის მიოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $\rho_a=1,33\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4-ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით

$$V=(1- \rho_a/ \rho_6)100=48.8\%;$$

1.5-თიხოვანი,ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 0,88%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

ღორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ГОСТ 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე და მოყვანილია ცხრილ №10-ში.

ცხრილი №10

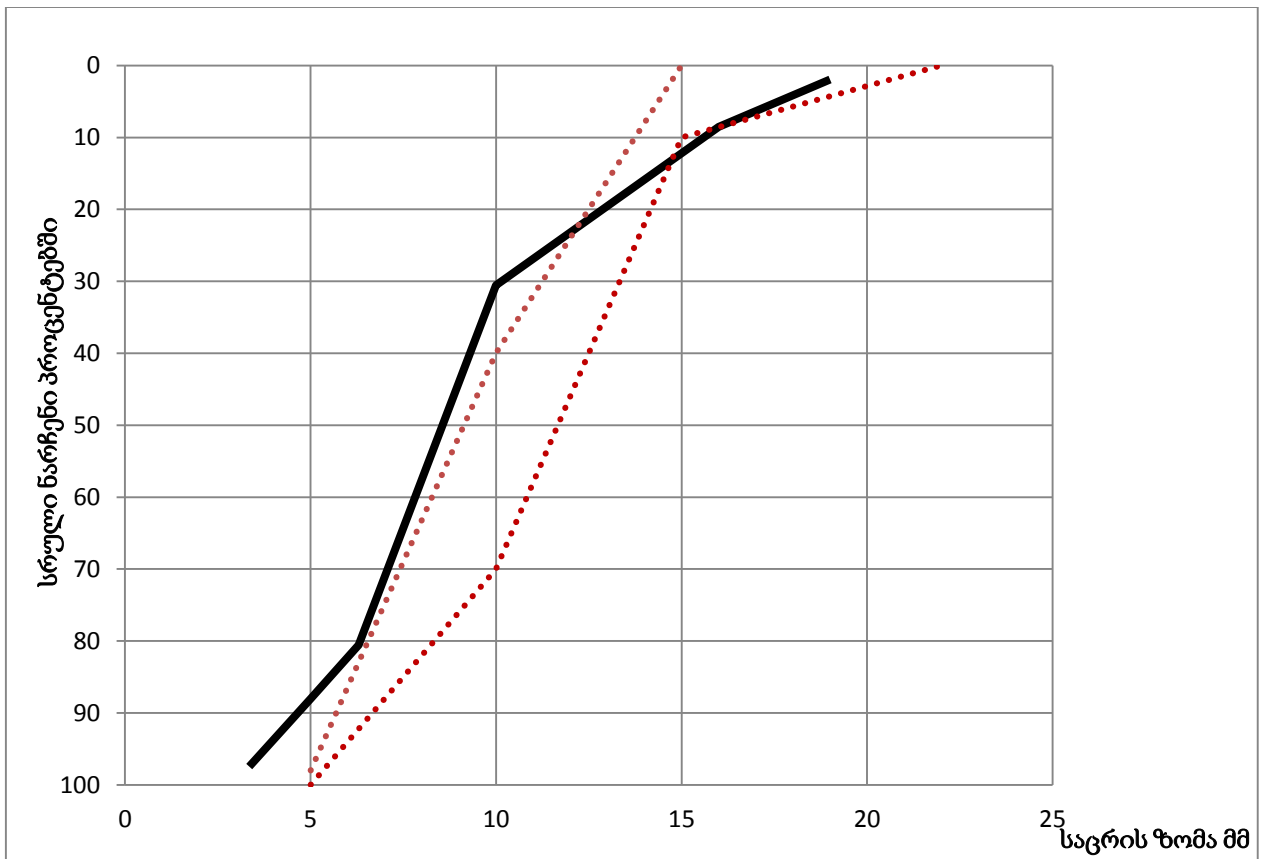
**ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ღორღის გრანულომეტრია**

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ							გავიდა 3,35 მმ საცერში
	22	19	16	10	6,30	5,0	3,35	
კერძოგრ.	0	129	439	1461	3326	950	169	167
კერძო %	0	1,94	6,6	22	50	14,3	2,5	2,5
სრული %	0	1,94	8,54	30,54	80,54	94,8	97,3	99,8

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა იქნება:

$$G=129+439+1461+3326+950+169+167=6641\text{გრ.}$$

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ღორღის უდიდესი სიმსხოს ზომად მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ღორღის რაოდენობა არ აღემატება 5%-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95%-ისა (საცერში გასულია 5%). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 19მ, ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 5,0მმ. წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.



ნახ. №7 ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ღორღის გრანუმეტრიული მრუდი.

#### 2.2.2.8. მარნეულის ბაზალტის ღორღის ხარისხის ტესტირება

1.1 - ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ბაზალტის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=0,5\%$ ;

1.2 - ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით ( პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_n=2,78\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3 - ღორღის მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით  $\rho_m=1,44\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4- ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით

$$V=(1- \rho_m/ \rho_n)100=48.9\%;$$

1.5-თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 0,75%-ს რაც რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

ბაზალტის ღორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და GOCT 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანდგარზე.

**ცხრილი №11**

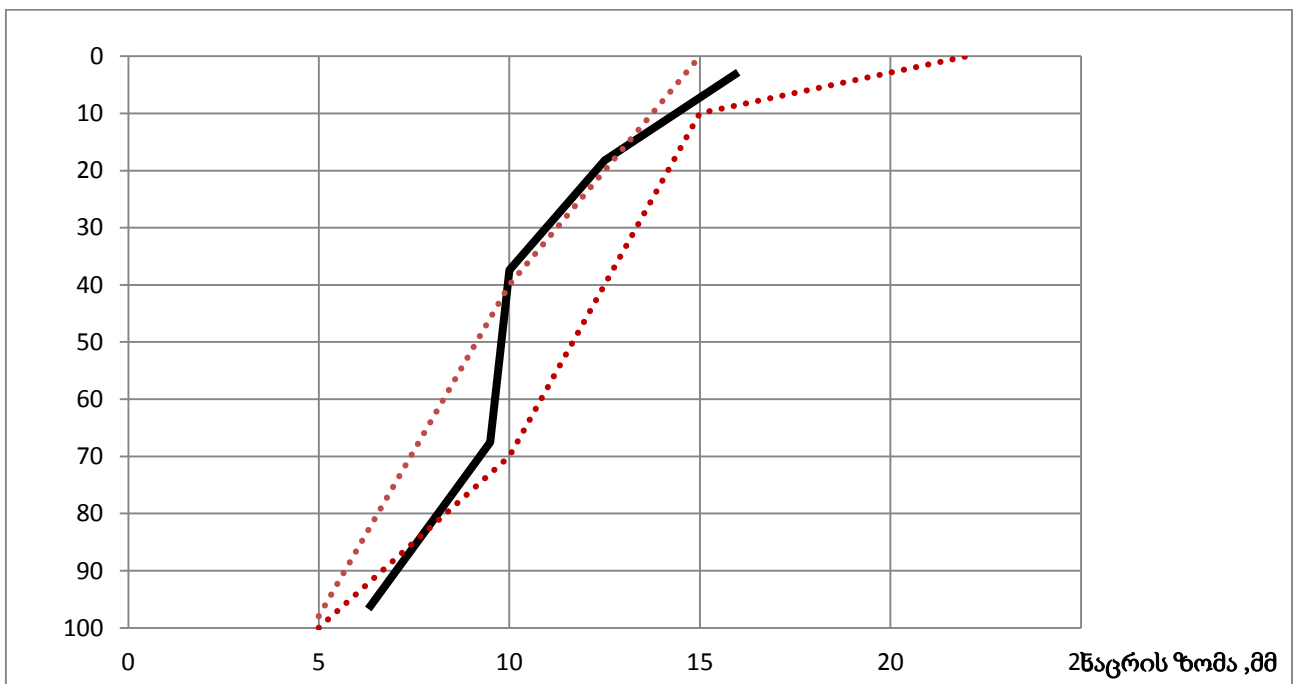
**მარნეულის ბაზალტის ღორღის გრანულომეტრია**

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ						გავიდა 6.30 მმ საცერში
	22	16	12,5	10	9,50	6,30	
კერძოგრ.	0	204	1109,5	1372,5	2165	2098,5	176
კერძო %	0	2,8	15,4	19,1	30,1	29,20	2,4
სრული %	0	2,8	18,2	37,4	67,5	96,7	99,1

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა იქნება

$$G=204,0+1109,5+1372,5+2165,0+2098,5+176,0=7185\text{გრ.}$$

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ღორღის უდიდესი სიმახოს ზომად მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ღორღის რაოდენობა არ აღემატება 5%-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95%-ისა (საცერში გასულია 5%). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 16მმ, ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 5,0მმ.



**ნახ. №8 ბაზალტის გრანულომეტრიული მრუდი**

წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.



სურ. №5 საშრობი ღუმელი

2.2.3. საქართველოში სხვადასხვა სამსხვრევ მახარისხებელი საწარმოების მიერ წარმოებული ქვიშის თვისებების კვლევა.

2.2.3.1. მდინარე ხრამის აუზის ქვიშის ხარისხის ტესტირება.

მდინარე ხრამის აუზის ქვიშის, ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებია:

1. ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით, ქვიშის ტენიანობა გამოცდის მომენტისათვის აღმოჩნდა:  $W_{\text{ж}} = 5,6\%$ ;
2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის (პიკნომეტრი) მიხედვით:  $\rho_5 = 2,61$  გ/სმ<sup>3</sup>;
3. ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით:  $\rho_0 = 1,538$  გ/სმ<sup>3</sup>;
4. ცარიელობა ქვიშაში ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით:  $V_{\text{ж}} = (1 - \rho_0 / \rho_5) 100 = 41\%$ ;
5. თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად: იგი შეადგენს – 1,6%-ს, რაც ნაკლებია სტანდარტით განსაზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე – 3%.

6. ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა განსაზღვრულია ევროსტანდარტ EN 933-2-ის და ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად; ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე (იხ. ცხრილი 12):

**ცხრილი №12**

**მდ. ხრამის აუზის ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა:**

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ										გავიდა №015
	4,75	3,35	2,36	1,70	1,40	1,00	0,71	0,50	0,25	0,15	
კერძო,გრ	36	50	70	92	64	114	144	157	213	49	11
კერძო,%	3,6	5,0	7,0	9,2	6,4	11,4	14,4	15,7	21,3	4,9	1,1
სრული,%	3,6	8,6	15,6	24,8	31,2	42,6	57	72,7	94,0	98,9	100

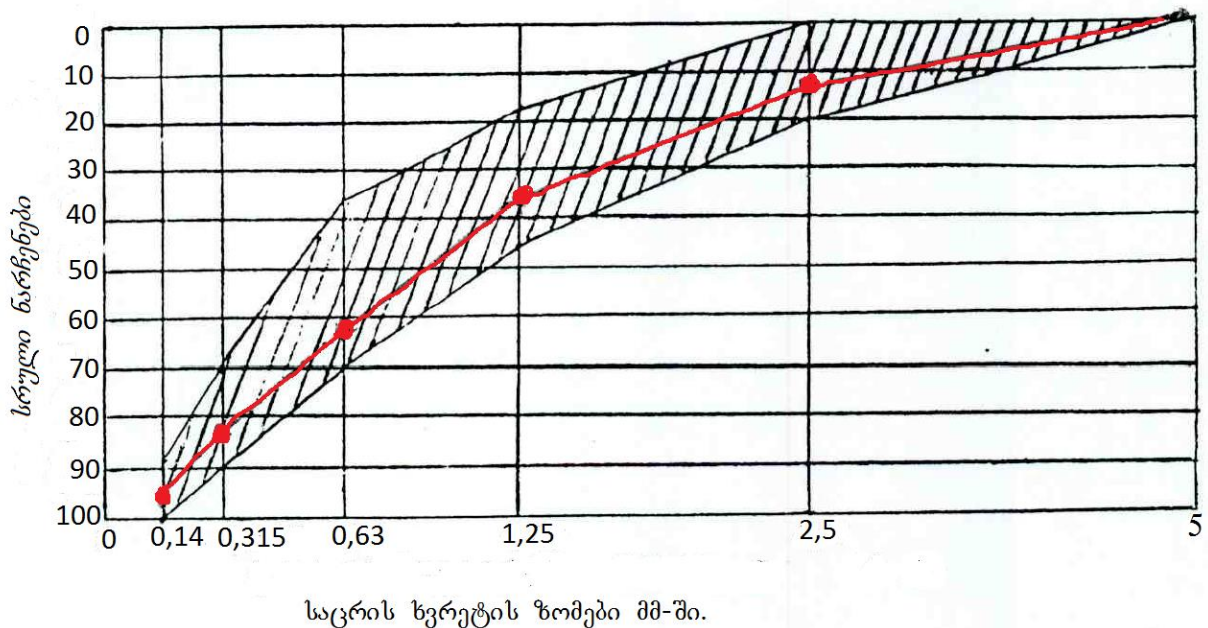
ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით სრული ნარჩენები საცრებზე შეადგენს: 2,5 - 15,6%; 1,25 - 36,9%; 0,63 – 64,85%; 0,315 – 83,5%; 0,15 – 98,9%.

ქვიშის სისხოს მოდულია:

$$M_s = 15,6 + 36,9 + 64,85 + 83,5 + 98,9 / 100 = 3$$

გამოსაკვლევ ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0,63 საცერზე შეადგენს 64,85%-ს).

ნახ. 8-ზე ნაჩვენებია მდ. ხრამის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი.



ნახ. 9 მდ. ხრამის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდი მოთავსდა დაშტრიხულ ზონაში, ამდენად ქვიშა ვარგისია გამოსაყენებლად.

#### 2.2.3.2. მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის ხარისხის ტესტირება.

- 1) მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები:
- 2) მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებია:
  1. ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით, ქვიშის ტენიანობა გამოცდის მომენტისათვის აღმოჩნდა:  $W_{\text{ჰ}} = 5,6\%$ ;
  2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის (პიკნომეტრი) მიხედვით:  $\rho_{\text{წ}} = 2,56$  გ/სმ<sup>3</sup>;
  3. ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით:  $\rho_{\text{ა}} = 1,515$  გ/სმ<sup>3</sup>;
  4. ცარიელობა ქვიშაში ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით:  $V_{\text{ჰ}} = (1 - \rho_{\text{ა}} / \rho_{\text{წ}}) 100 = 41\%$ ;
  5. თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად: იგი შეადგენს – 5,2%-ს, რაც მეტია სტანდარტით განსაზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე – 3%. ქვიშა საჭიროებს გარეცხვას.
  6. ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა განსაზღვრულია ევროსტანდარტ EN 933-2-ის და ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად; ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე (იხ. ცხრილი 13):



## მდ. მტკვრის აუზის ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ										ჯგავიდა №015
	4,75	3,35	2,36	1,70	1,40	1,00	0,71	0,50	0,25	0,15	
კერძო,გრ	42	95	96	75	44	72	81	102	242	110	41
კერძო,%	4,2	9,5	9,6	7,5	4,4	7,2	8,1	10,2	24,2	11,0	4,1
სრული,%	4,2	13,7	23,3	30,8	35,2	42,4	50,5	60,7	84,9	95,9	100

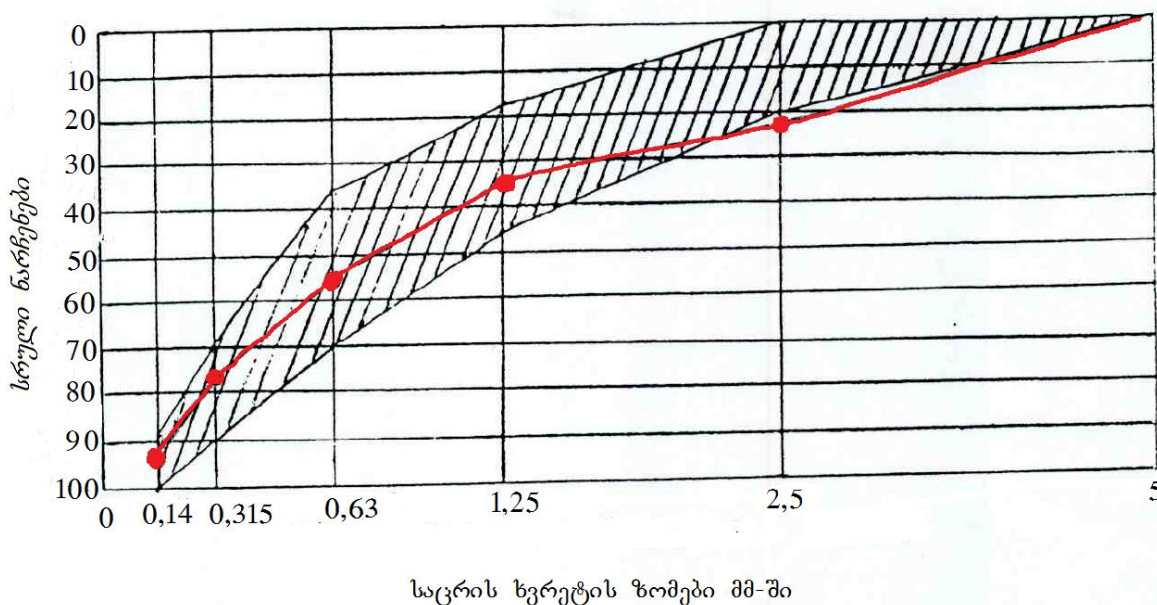
ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით სრული ნარჩენები საცრებზე შეადგენს: 2,5 – 23,3%; 1,25 – 35,5%; 0,63 – 55,6%; 0,315 – 70,7%; 0,15 – 95,9%.

ქვიშის სისხოს მოდულია:

$$M_s = 23,3 + 35,5 + 55,6 + 70,7 + 95,9 / 100 = 2,8$$

გამოსაკვლევი ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0,63 საცერზე შეადგენს 55,6%-ს).

ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია მდ. მტკვრის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი:



ნახ. 10 მდ. მტკვრის ქვიშის გაცრის გრაფიკი.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდი მთლიანად ვერ მოთავსდა დაშტრიხულ ზონაში.

### 2.2.3.3. თბილისი-რუსთავის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება.

თბილისი-რუსთავის რეგიონი ქვიშა

- 1.1. GOCT 8735-88-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ქვიშის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=5,5\%$ .
- 1.2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_f=2,70\text{გ/სმ}^3$ .
- 1.3. ქვიშის მოცულობითი სიმკვრივე GOCT 8735-88-ის მიხედვით  $\rho_s=1,583\text{გ/სმ}^3$ .
- 1.4. ქვიშის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა GOCT 8735-88-ის მიხედვით  $V=(1-\rho_s/\rho_f)100=40,4\%$
- 1.5. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია GOCT 8735-88-ის შესაბამისად შეადგენს 1,90%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე-3%.

ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 939-2-ით და GOCT 8735-88-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე. შედეგები მოყვანილია ცხრილ №14-ში.

თბილისი-რუსთავის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედეგნილობა

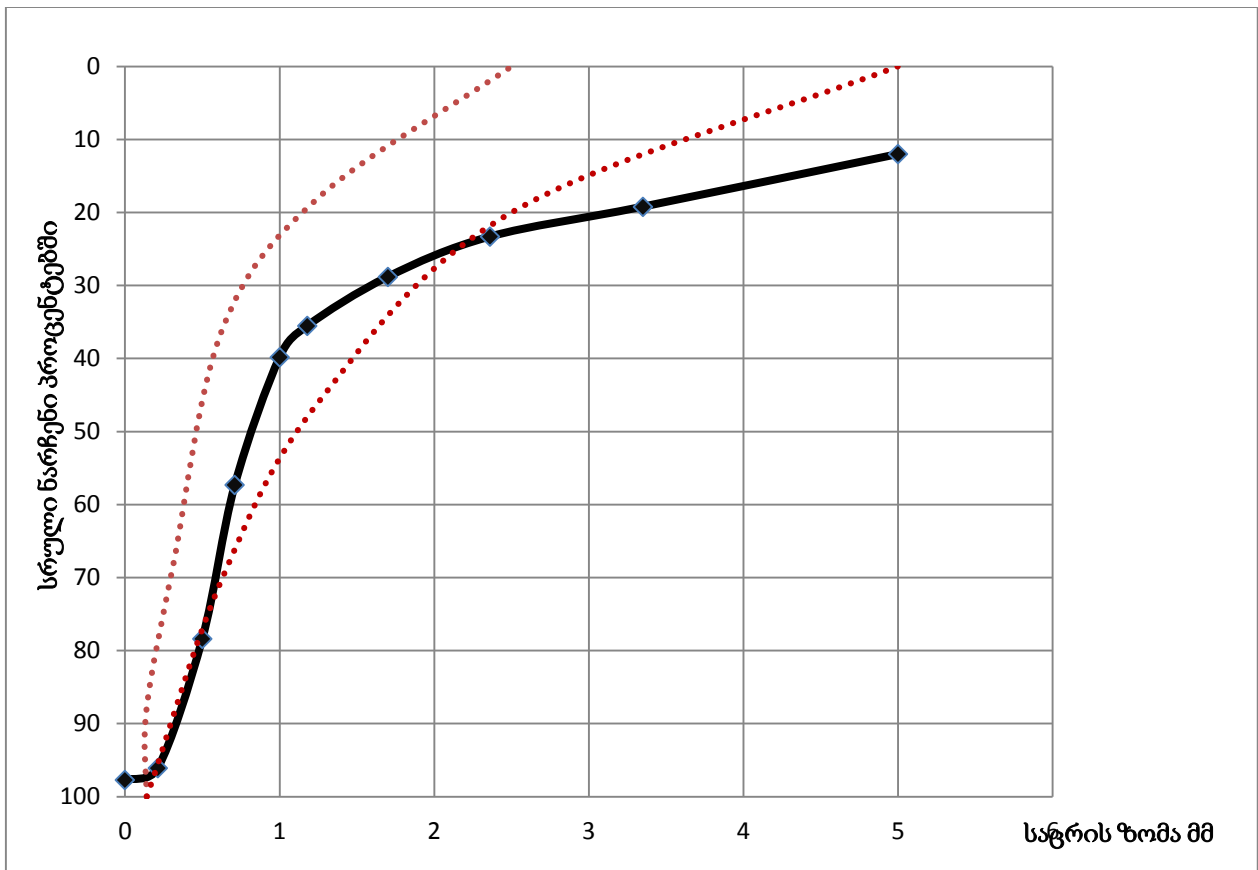
ცხრილი №14

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ									გავიდა 0,12 მმ საცერში
	5	3,35	2,36	1,70	1,18	1,0	0,710	0,500	0,112	
კერძო გრ.	942,5	571,5	323,5	532,5	581,0	337,5	1380,5	1709,0	1404,0	129,5
კერძო %	12	7,2	4,1	5,5	6,7	4,3	17,5	21,06	17,7	1,63
სრული %	12	19,2	23,3	28,8	35,5	39,8	57,3	78,36	96,06	97,69

მთლიანად საცრებზე და საქვეშეზე დარჩენილი ქვიშის რაოდენობის ჯამი  $G=7908$  გრ.

ქვიშის სიმსხოს მოდული  $M_{sm}=23.2+28.8+35.5+57.3+78.3+96/100=2.6$

GOCT 8736-93-ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშა სიმსხოს მოდულით  $M_{sm}=2,6$  მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას, ხოლო სრული ნარჩენით საცერზე 0,63 (მეტი 45-53%-ზე) და 0,16მმ-ზე ნაკლები ქვიშის რაოდენობით (ნაკლები უნდა იყოს 5%) მიეკუთვნება პირველი კლასის ქვიშას.



ნახ. № 11 თბილისი-რუსთავის რეგიონი ქვიშის გრანულმეტრიული მრუდი

#### 2.2.3.4. მარნეულის ბაზალტის ქვიშის ხარისხის ტესტირება.

1. GOCT 8735-88-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ქვიშის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=3,2\%$ ;

1.2 - ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით ( პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_6=2,75\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3 -ქვიშის მოცულობითი სიმკვრივე GOCT 8735-88-ის მიხედვით  $\rho_a=1,47\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4-ქვიშის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა GOCT 8735-88-ის -ის მიხედვით

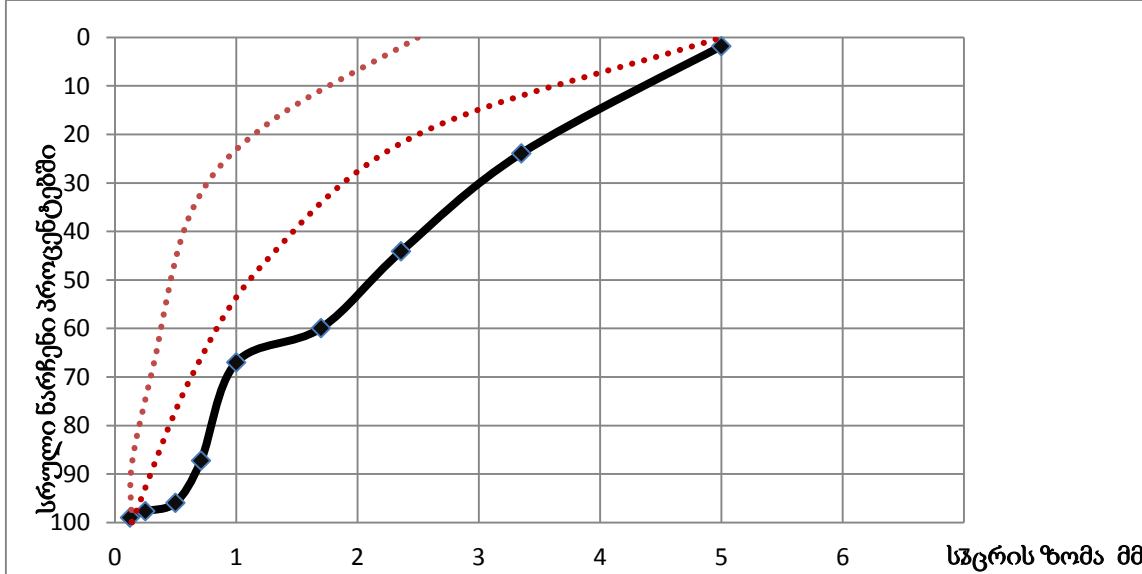
$$V=(1- \rho_a/ \rho_6)100=46,6\%;$$

1.5-თიხოვანი,ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია GOCT 8735-88-ის შესაბამისად შეადგენს 1,90%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე-3%.

1.5 ქვიშის გრანულმეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და GOCT 8735-88-ის მოთხოვნების შესაბამისად.ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე.

მარნეულის ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრია

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ										გავიდა 0,125 მმ საცერში
	6,3	5	3,35	2,36	1,70	1,0	0,710	0,500	0,250	0,125	
კერძო გრ.	0	134,5	1622,5	1483,5	1161	525	1480	640	128	98	25,5
კერძო %	0	1,8	22,1	20,2	15,8	7,1	20,2	8,7	1,74	1,3	0,3
სრული %	0	1,8	23,9	44,1	59,9	67,0	87,2	95,9	97,64	98,94	99,24



ნახ. №12 ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი

მთლიანად საცერებზე და საქვეშეზე დარჩენილი ქვიშის რაოდენობის ჯამი

$$G = 134,5 + 1622,5 + 1483,5 + 525 + 1480 + 640 + 128 + 98 + 25,5 = 7336,5$$

$$\text{ქვიშის მოდული } M_{sm} = 44,1 + 59,9 + 67,0 + 97,64 + 98,94 / 100 = 3,6$$

ГОСТ 8736-93-ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშა სიმსხოს მოდულით  $M_{sm} = 3,6$

მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას, ხოლო სრული ნარჩენით საცერზე 0,63 და 0,16მმ-ზე ნაკლები ქვიშის რაოდენობით (ნაკლები უნა იყოს 5%) არ მიეკუთვნება პირველი კლასის ქვიშას.

### 2.2.3.5. მდინარე ქსნის ქვიშის ტესტირება.

მდინარე ქსნის ქვიშის, ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებია:

1. ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით, ქვიშის ტენიანობა გამოცდის მომენტისათვის აღმოჩნდა:  $W_{\text{ж}} = 3,8\%$ ;
2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის (პიკნომეტრი) მიხედვით:  $\rho_6 = 2,55$  გ/სმ<sup>3</sup>;
3. ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით:  $\rho_0 = 1,523$  გ/სმ<sup>3</sup>;
4. ცარიელობა ქვიშაში ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით:  $V_{\text{ж}} = (1 - \rho_0 / \rho_6) 100 = 40\%$ ;
5. თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად: იგი შეადგენს – 5,4%-ს, რაც მეტია სტანდარტით განსაზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე – 3%. ქვიშა საჭიროებს გარეცხვას.
6. ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა განსაზღვრულია ევროსტანდარტ EN 933-2-ის და ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად; ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე (იხ. ცხრილი 16):

#### ცხრილი №16

#### მდინარე ქსნის ქვიშის მარცვლოვანი შემადგენლობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ										გავიდა №015
	4,75	3,35	2,36	1,70	1,40	1,00	0,71	0,50	0,25	0,15	
კერძო,გრ	67	134	134	104	54	71	63	63	158	90	59
კერძო,%	6,7	13,4	13,4	10,4	5,4	7,1	6,3	6,3	15,8	9,0	5,9
სრული,%	6,7	20,1	33,5	43,9	49,3	56,4	62,7	69,0	84,8	93,8	100

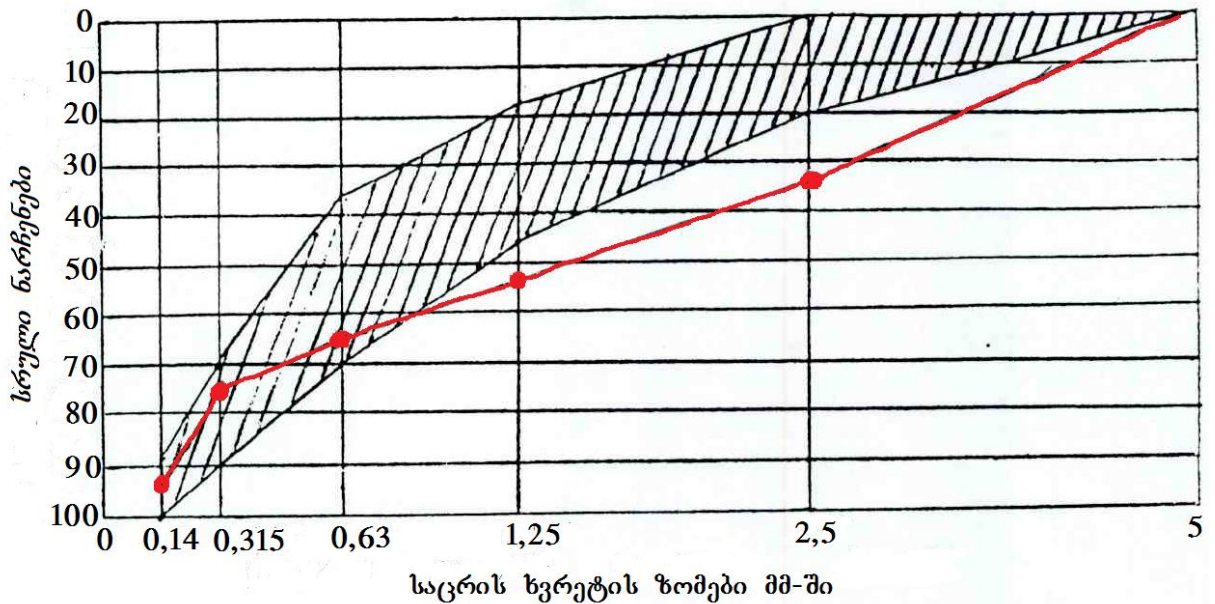
ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით სრული ნარჩენები საცრებზე შეადგენს: 2,5 – 33,5%; 1,25 – 52,85%; 0,63 – 65,85%; 0,315 – 76,9%; 0,15 – 93,8%.

ქვიშის სისხოს მოდულია:

$$M_s = 33,5 + 52,85 + 65,85 + 76,9 + 93,8 / 100 = 3,2$$

გამოსაკვლევი ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0,63 საცერზე შეადგენს-65,85%-ს).

ნახ. 12-ზე ნაჩვენებია მდ. ქსნის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი:



ნახ. 13 მდ. ქსნის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდის მნიშვნელოვანი ნაწილი აცდა დაშტრიხულ ზონას, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ საკვლევი ქვიშა არ იძლევა კარგ ურთიერთშევისებას და ნაკლებად ვარგისია ბეტონების დასამზადებლად.

#### 2.2.3.5. ფოთი-ბათუმის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება

ფოთი-ბათუმის რეგიონის ქვიშის ფიზიკო მექანიკური თვისებებია:

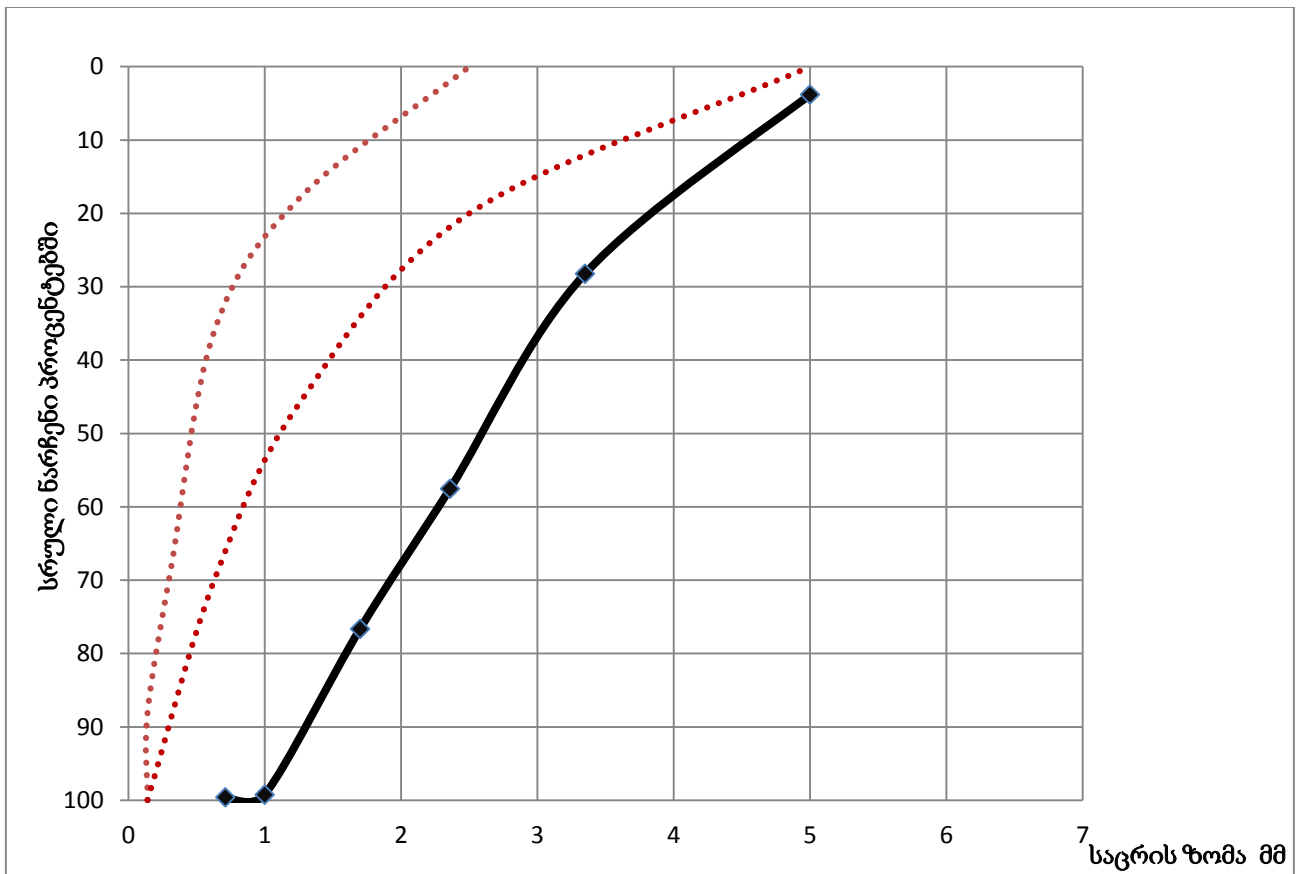
ქვიშის მოდული  $M_{sm}=28$  ГОСТ 8736-93-ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშა სიმსხოს მოდულით  $M_{sm}=3,4$  მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას, ხოლო სრული ნარჩენით სახერხე 0,63 (მეტი 45-53%-ზე) და 0,16მმ-ზე ნაკლები ქვიშის რაოდენობით (ნაკლები უნდა იყოს 5%) მიეკუთვნება პირველი კლასის ქვიშას.

ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN933-2-ით და ГОСТ 8735-88-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე

#### ფოთი-ბათუმის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა

ცხრილი №17

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ										გავიდა 710	
	6,3	5	3,35	2,36	1,70	1,0	710	0,500	0,425	0,125		
კერძო გრ.		236,5	1536	1840,5	1200	1380	24,0					2,5
კერძო %		3,8	24,4	29,3	19,1	22,0	0,38					0,03
სრული %		3,8	28,2	57,5	76,6	99,2	99,58					99,61



ნახ. №14 ფოთი-ბათუმის რეგიონი ქვიშის გრანუმეტრიული მრუდი.

#### 2.2.3.5. თელავი-ახმეტის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება.

$G=8174$ გრ.

ქვიშის მოდული  $M_{sm}=28$  ГОСТ 8736-93-ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშა სიმსხოს მოდულით  $M_{sm}=2,6$  მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას, ხოლო სრული ნარჩენით სახერზე 0,63 (მეტი 45-53%-ზე) და 0,16მმ-ზე ნაკლები ქვისის რაოდენობით (ნაკლები უნდა იყოს 5%) მიეკუთვნება პირველი კლასის ქვიშას.

ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN933-2-ით და ГОСТ 8735-88-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე

თელავი-ახმეტის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ										გავიდა 0,125მმ საცერში
	6,3	5	3,35	2,36	1,70	1,0	710	0,500	0,425	0,125	
კერძო გრ.		231,5	1251	1184	910	1400	1000	577	855	197,5	89,0
კერძო %		8,9	15,3	14,88	11,13	17,1	12,2	7,0	10,45	2,4	1,0
სრული %		8,9	24,2	38,68	49,81	66,91	79,11	86,11	96,56	98,96	99,96

2.2.3.5. ქუთაის - ტყიბულის რეგიონის ქვიშის ხარისხის ტესტირება

1. ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და GOCT 8735-88-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე შედეგები მოყვანილია ცხრილ № 20-ში.

ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ქვიშის ტესტირების შედეგები:

1.1 -GOCT 8735-88-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ქვიშის ტენიანობა აღმოჩნდა W=4,2%;

1.2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით ( პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_n=2,60\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3. ქვიშის მოცულობითი სიმკვრივე GOCT 8735-88-ის მიხედვით  $\rho_m=1,539\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4. ქვიშის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა GOCT 8735-88-ის -ის მიხედვით

$$V=(1- \rho_m/ \rho_n)100=38.8\%;$$

1.5. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია GOCT 8735-88-ის შესაბამისად შეადგენს 1,98%-ს რაც რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე-3%.

ქუთაის - ტყიბულის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ									გავიდა 0,212მმ საცერში
	5	3,35	2,36	1,70	1,18	1,0	0,710	0,500	0,212	
კერძოგრ.	983,5	530,5	423,5	432,5	631,0	287,5	1379,5	1609,0	1501,0	30,5
კერძო %	12,5	6,7	5,4	5,5	7,79	3,6	17,8	20,3	18,9	0,39
სრული %	12,5	19,2	24,6	31,1	38,8	42,49	60,29	80,59	99,58	99,87

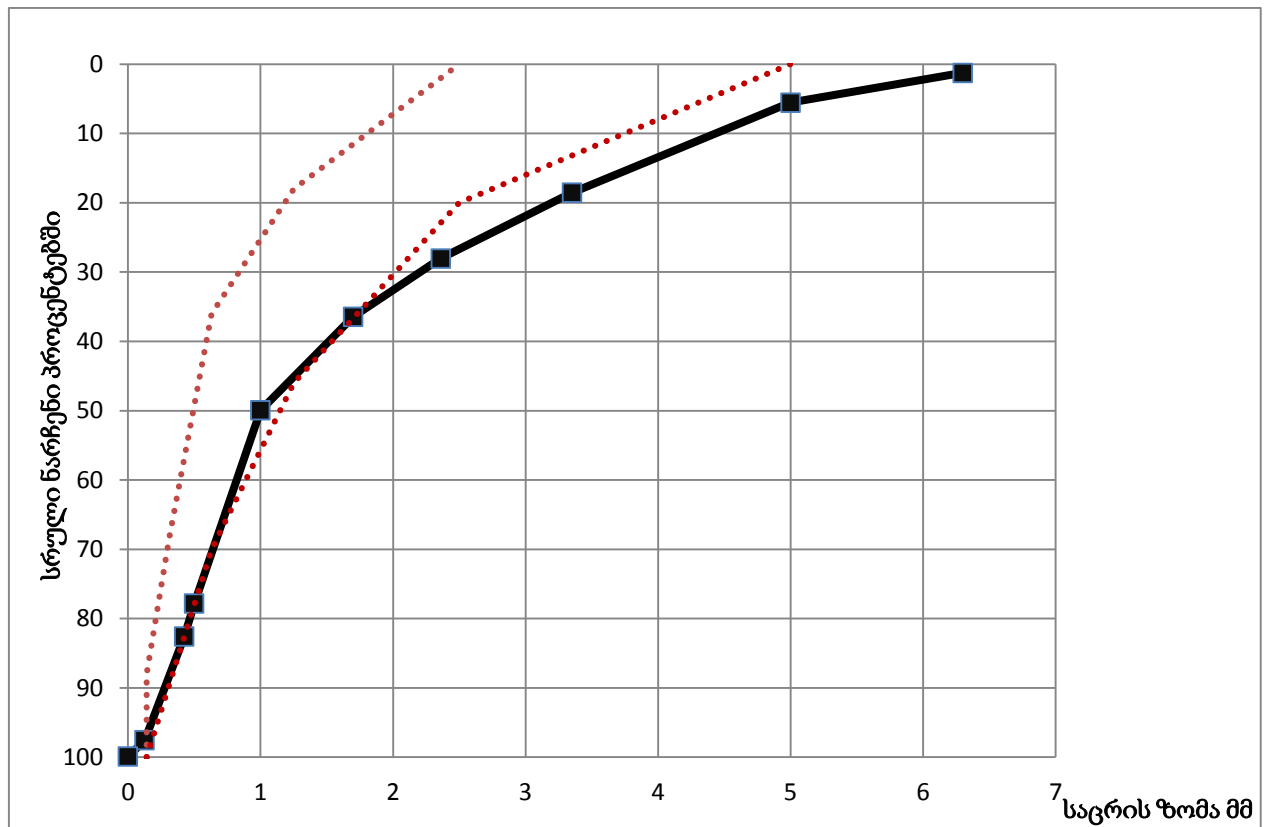


მთლიანად საცრებზე და საქვეშეზე დარჩენილი ქვიშის რაოდენობის ჯამი

$$G=983,5+530,5+423,5+432,5+631,0+287,5+1379,5+1609,0+1501,0+130,5=7808,6\text{გრ.}$$

$$\text{ქვიშის სიმსხოს მოდული } M_{sm}=24,6+31,1+38,8+42,49+60,29+99,58/100=2,96$$

ГОСТ 8736-93-ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშა სიმსხოს მოდულით  $M_{sm}=2,96$  მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას, ხოლო სრული ნარჩენით საცერზე 0,63 და 0,16მმ-ზე ნაკლები ქვიშის რაოდენობით (ნაკლები უნა იყოს 5%) მიეკუთვნება პირველი კლასის ქვიშას.



ნახ. №15 ქუთაისი-ტყიბულის რეგიონის ქვიშის გრანუმეტრიული მრუდი.

### 2.2.3.5. ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ქვიშის ტესტირება

ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ქვიშა.

1.1 -ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ქვიშის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=6,2\%$ ;

1.2 - ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით ( პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_s=2,64\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3 -ქვიშის მოცულობითი სიმკვრივე  $\rho_{\text{OCT}} 8735-88$ -ის მიხედვით  $\rho_a=1,583\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4-ქვიშის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა  $\rho_{\text{OCT}} 8735-88$ -ის -ის მიხედვით

$$V=(1- \rho_a/ \rho_b)100=40,4\%;$$

1.5-თიხოვანი,ლამისებური და მტვრისებური მინარევეების არსებობა ქვიშაში დადგენილია  $\rho_{\text{OCT}} 8735-88$ -ის შესაბამისად შეადგენს 1,90%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე-3%.

ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და  $\rho_{\text{OCT}} 8735-88$ -ის მოთხოვნების შესაბამისად.ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე რომელიც მოყვანილია ცხრილ №20-ში.

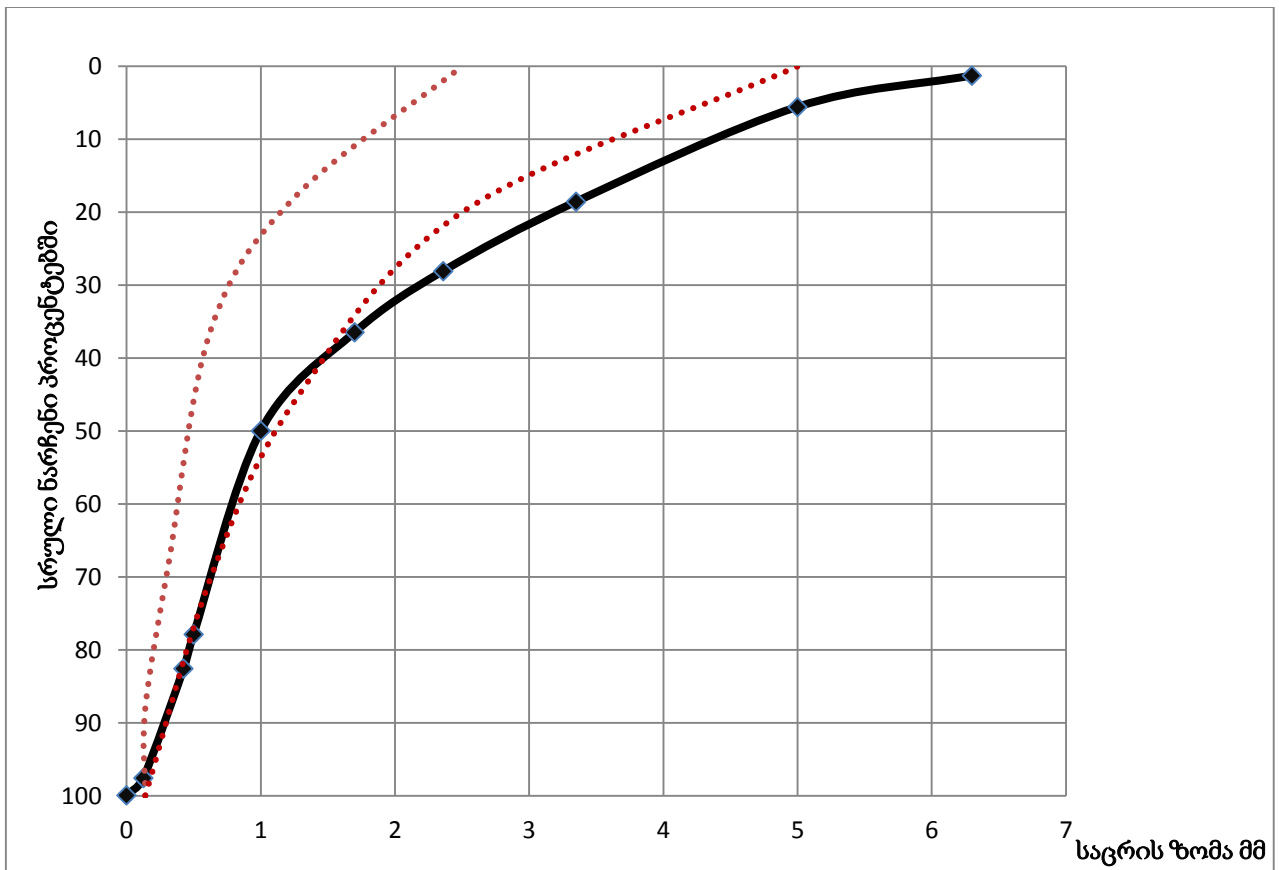
**ცხრილი №20**

**ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობა**

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ									გავიდა 0,125 მმ საცერში
	6,3	5	3,35	2,36	1,70	1,0	0,500	0,425	0,125	
კერძო გრ.	102,5	350	1062,5	777,5	684	1106,5	2278,5	389,5	1226,5	200
კერძო %	1,25	4,3	12,99	9,5	8,4	13,5	27,86	4,76	14,99	2,4
სრული %	1,25	5,55	18,54	28,0	36,44	49,9	77,76	82,52	97,5	99,91

მთლიანად საცრებზე და საქვეშეზე დარჩენილი ქვიშის რაოდენობის ჯამი  $G=8174\text{გრ}$ .

ქვიშის მოდული  $M_{sm}=28\rho_{\text{OCT}} 8736-93$ -ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშა სიმსხოს მოდულით  $M_{sm}=2,6$  მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას, ხოლო სრული ნარჩენით საცერზე 0,63 ( მეტი 45-53%-ზე) და 0,16მმ-ზე ნაკლები ქვიშის რაოდენობით (ნაკლები უნდა იყოს 5%) მიეკუთვნება არ მიეკუთვნება პირველი კლასის ქვიშას



ნახ. №16 ახალციხე-ახალქალაქის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრია

### 2.2.3.10. ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ქვიშის ტესტირება.

ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ქვიშის გამოცდის შედეგები:

1.1 -ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ქვიშის ტენიანობა აღმოჩნდა  $W=4,2\%$ ;

1.2 - ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით ( პინკნომეტრის მეთოდი)  $\rho_6=2,60\text{გ/სმ}^3$ ;

1.3 -ქვიშის მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით  $\rho_a=1,588\text{გ/სმ}^3$ ;

1.4-ქვიშის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8735-88-ის -ის მიხედვით

$$V=(1- \rho_a/ \rho_6)100=38.9\%;$$

1.5-თიხოვანი,ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად შეადგენს 1,90%-ს რაც რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე-3%.

1. ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ГОСТ 8735-88-ის მოთხოვნების შესაბამისად.ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე და მოყვანილია ცხრილ №21-ში.

ცხრილი №21

**ზუგდიდი-მესტიის რეგიონის ქვიშის გრანულომეტრია**

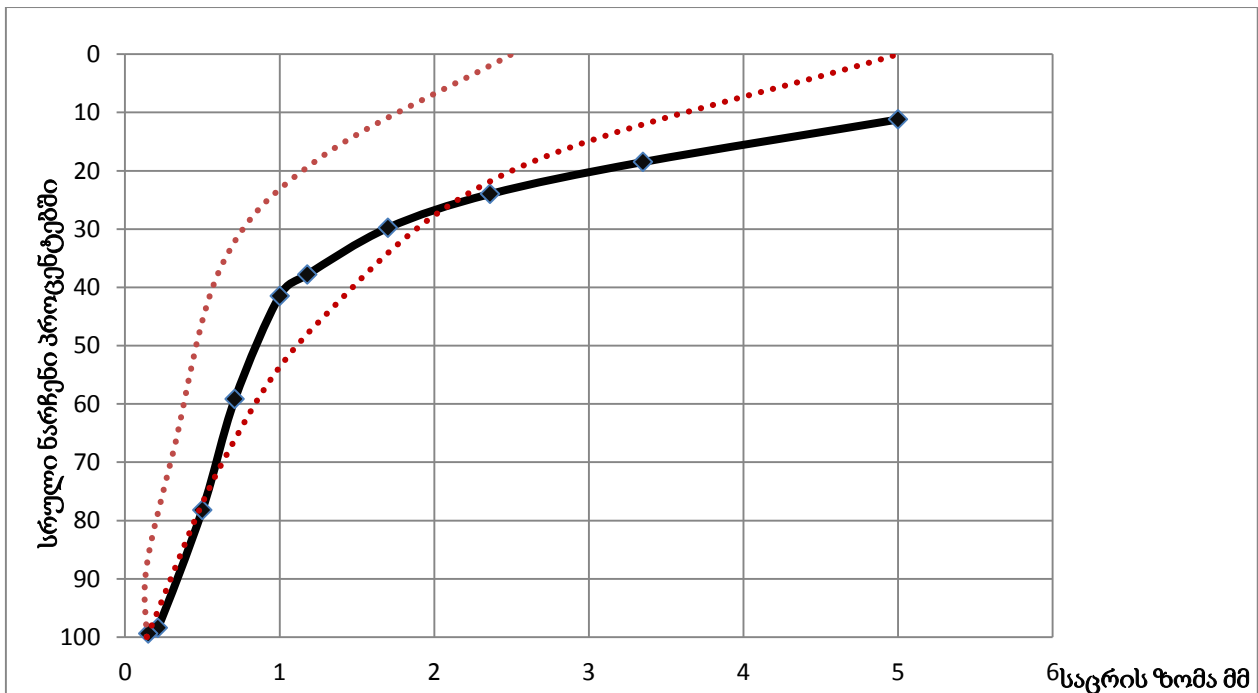
ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები მმ										გავიდა 0,15 მმ საცერში
	5	3,35	2,36	1,70	1,18	1,0	0,710	0,500	0,212	0,15	
კერძოგრ.	885,5	580,5	473,5	462,5	631,0	270,5	1396,5	1509,0	1601,0	80	49,5
კერძო %	11,1	7,3	5,9	5,8	7,9	3,4	17,7	19,0	20,0	1,0	0,6
სრული %	11,1	18,4	24,3	30,1	38,0	41,4	59,1	78,1	98,1	99,0	99,6.0

მთლიანად საცერებზე და საქვეშეზე დარჩენილი ქვიშის რაოდენობის ჯამი

$$G = 885,5 + 580,0 + 473,5 + 462,5 + 631,0 + 270,5 + 1396,0 + 1509,0 + 1601,0 + 80 + 49,5 = 7940 \text{ გრ.}$$

$$\text{ქვიშის მოდული } M_{sm} = 24,6 + 31,1 + 38,8 + 42,49 + 60,29 + 99,58 / 100 = 2,96$$

ГОСТ 8736-93-ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშა სიმსხოს მოდულით  $M_{sm} = 3,1$  მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას.



ნახ. №17 ზუგდიდი-მესტიის ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი



სურ. №6 ქვიშისა და ღორღის საცრელი დანადგარი.

#### 2.2.4. ბეტონის მაპლასტიფიცირებელი დანამატების შერჩევა-ტესტირება

დღეისათვის ევროკავშირისა და ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში ძირითადად გამოიყენება ლიგნოსულფონატების, სულფონაფტალინოვანი ფორმალდეჰიდების და სულფომელამინოვანი ფორმალდეჰიდების ბაზაზე დამზადებული მაპლასტიფიცირებელი დანამატები. უკანასკნელ წლებში დაიწყო ახალი თაობის, მაღალეფექტური ნაერთების პოლიკარბონატების და პოლიკარბოქსილატების გამოყენება. რომელთა მოქმედების ეფექტი 2-3-ჯერ ძლიერია ზემოთ ჩამოთვლილთან შედარებით.

ბეტონის მაპლასტიფიცირებელი დანამატები იგივე პლასტიფიკატორები არიან ქიმიური დანამატ-მოდულიკატორები, რომლებიც აუმჯობესებენ ბეტონის ნარევის და ბეტონის ამა თუ იმ თვისებებს. პლასტიფიკატორები ახდენენ გავლენას, უმთავრესად საწყის კოაგულაციურ სტადიაზე, სტრუქტურის ჩამოყალიბების პროცესებზე და ამით ცვლიან ცემენტის ცომის რეოლოგიურ თვისებებს, ხელს უწყობენ წყლის მოთხოვნილების შემცირებას. ეს კი აისახება შემდგომში კრისტალიზაციური სტრუქტურის პარამეტრებზე.

ახალი თაობის სუპერ და ჰიპერტლასტიფიკატორების გამოყენებამ შეცვალა ტრადიციული შეხედულებები ბეტონზე და მის წარმოების ტექნოლოგიაზე. კერძოდ შესაძლებელი გახდა მაღალპლასტიკური ბეტონების ნარევების გამოყენებით ჩვეულებრივ პორტლანდცემენტების და

შემვსებების ფუმეზე მაღალი სიმტკიცის და დაბალი შეღწევადობის ბეტონების მიღება, ცემენტის და ენერგორესურსების ხარჯვის შემცირება.

პლასტიფიკატორების მოქმედების მექანიზმი მდგომარეობს ცემენტის ნაწილაკების ელექტროსტატიკურ განზიდვაში და სტაბილიზაციაში, რაც გამოწვეულია პლასტიფიკატორის ადსორბციული ფენების გავლენით ცემენტის ნაწილაკების ზედაპირზე და ზეტა-პოტენციალის სიდიდის გაზრდით.

ზოგიერთ სუპერპლასტიფიკატორის მოლეკულებს ახასიათებს არა ხაზოვანი პოლიმერული ჯაჭვური მოლეკულის აღნაგობა, არამედ განივი ორ-სამ განზომილებიანი ფორმა. სწორედ ეს განივი ჯაჭვი წარმოქმნის მყარი ფაზის ნაწილაკების ირგვლივ ადსორბციულ მოცულობით დამცავ გარსს, რომელიც ხელს უწყობს ნაწილაკების განზიდვას. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ თავისუფალი და ადსორბციულად დაკავშირებული წყლის საერთო მოცულობაში ეს უკანასკნელი ჭარბობს.

ბეტონის ნარევის დამზადებისას და ჩასხმისას პლასტიფიკატორების გამოყენება

საშუალებას გვაძლევს:

1. ადვილადჩაწყობად ბეტონის ნარევი შევამციროთ წყლის რაოდენობა.
2. უზრუნველყოფს ბეტონის ნარევის ერთეულოვან მოცემულობაზე წყლის რაოდენობის მომატების გარეშე ადვილჩაწყობადობას.
3. შეამციროს ბეტონის ნარევის ძვრადობის დაკარგვის უნარი ტრანსპორტირების და დაყალიბების დროს.
4. შეანელოს ან ააჩქაროს ბეტონის ნარევის შეკვრა.
5. გააუმჯობესოს ბეტონის დენადობის ხარისხი ბეტონტუმბოდან ბეტონის ნარევის გადატუმბვისას.

ფართოდ გავრცელებული ქიმიური დანამატების ძირითადი სახეებია: წყალდამწვევი და ჰაერშეღწევადობის დანამატები, რომლებიც ან აჩქარებენ ან ანელებენ გამყარებას.

ბეტონში დანამატების ზემოქმედების ეფექტურობის შესასწავლად საჭიროა შევავასოთ დანამატის ზეგავლენა ბეტონის ნარევის შემდეგ თვისებებზე: წყლის მოხმარება, ჰაერშეღწევადობა, დანაკარგები ტრანსპორტირების დროს, დენადობა (კონუსის ჯდენა), ბეტონის შეკვრის საწყისი და ბოლო დრო, სიმტკიცე, სიმკვრივე, ყინვამედეგობა და წყალშეუღწევადობა. ეს პროცედურები საკმაოდ რთულია და ხანგრძლივი, ამიტომ ასეთი ბეტონის შემადგენლობის პროექტირება მსხვილი ობიექტებისათვის შესასრულებელია მშენებლობის დაწყებამდე.

ბეტონის შემადგენლობის შერჩევისას ეფექტურად და მიზანმიმართულად რომ გამოვიყენოთ დანამატი, საჭიროა ქიმიური დანამატების ტექნიკური პირობების ცოდნა და შესაბამისი სახელმწიფო სტანდარტების მოთხოვნების გათვალისწინება.

დანამატების ტექნიკური მონაცემები ჰარმონიზებული უნდა იყოს ევროსტანდარტ EN934:2-2001-თან. ქვემოთ განვიხილავთ საქართველოს ბაზარზე ყველაზე მეტად გავრცელებულ პლასტიფიკატორებს.

#### 2.2.4.1. ექსპერიმენტები Sika-ს დანამატების გამოყენებით

ჩვენს მიერ გამოყენებული იყო ბეტონის ნარევი შვეიცარიული ფირმა Sika-ს მიერ წარმოებული სუპერპლასტიფიკატორი ვისკოკრეტი SF-18.

მაღალი ეფექტურობის სუპერპლასტიფიკატორი ვისკოკრეტი SF-18 წარმოადგენს მესამე თაობის სუპერპლასტიფიკატორს ბეტონის ნარევისათვის. ის არის უნიკალური, მრავალმხრივი, განსაკუთრებით ეფექტურია ნარევი დასამატებლად. ის უზრუნველყოფს წყლის რაოდენობის შემცირებას, რაც იწვევს ნარევის თვისებების გაუმჯობესებას, ვლებულობთ მაღალი სიმტკიცის ბეტონს, რომელიც არის ადვილად ჩაწყობადი, ამცირებს წყლის შეღწევადობას, შეკლების ხარისხს და ა. შ. ამ სუპერპლასტიფიკატორის გამოყენებით ცემენტის ხარჯი მცირდება.

ვისკოკრეტი SF-18 წარმოადგენს ახალი ტექნოლოგიის პროდუქტს და გამოიყენება შემდეგი მიზნებისათვის:

1. გამოიყენება ისეთ კონსტრუქციებში, სადაც მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მოთხოვნილებაა.
2. ამცირებს წყლის რაოდენობას 30 %-ით.
3. ვლებულობთ მაღალი ეფექტურობის ბეტონს, მაღალი სიმკვრივით და მაღალი სიმტკიცით.

არ შეიცავს ქლორიდებს და ისეთ ნარევებს, რომელიც იწვევს არმატურის კოროზიას, ამიტომ მისი გამოყენება მოხერხებულია რკინაბეტონის კონსტრუქციებში.

შემუშავებული იყო ბეტონის ნარევის 2 სხვადასხვა შემადგენლობა და დამზადდა ყოველი შემადგენლობიდან ნიმუშების 4-4 სერია. ბეტონის ნარევების შემადგენლობა მოცემულია ცხრილ №22 და ცხრილ №23 .

#### ცხრილი №22

##### ბეტონის ნარევის შემადგენლობა ვისკოკრეტის დამატებით (ნარევი №1)

ბეტონის ნარევის სერიები №№	ბეტონის შემადგენლობა				წყალი ლ/მ <sup>3</sup>	დანამატის სახე და დოზირება %-ში	წყალ/ცემენტი	კონუსის ჯდენა სმ
	ცემენტი კგ/მ <sup>3</sup>	ბაზალტის ქვიშა კგ/მ <sup>3</sup>	ბაზალტის ღორღი კგ/მ <sup>3</sup>					
			5-10	10-20				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	530	480	550	550	254,4	უდანამატო	0,48	2,0
2.	530	480	550	550	201,4	ვისკოკრეტი SF 18 0,8%	0,38	12,0

3.	530	480	550	550	201,4	ვისკოკრეტი SF 18 1%	0,38	14,5
4.	530	480	550	550	201,4	ვისკოკრეტი SF 18 1,5%	0,38	19,0

**ცხრილი №23**

**ბეტონის ნარევის შემადგენლობა ვისკოკრეტის დამატებით (ნარევი №2)**

ბეტონის ნარევის სერიები №№	ბეტონის შემადგენლობა				წყალი ლ/მ <sup>3</sup>	დანამატის სახე და დოზირება %-ში	წყალ/ცემენტი	კონუსის ჯდენა სმ
	ცემენტი კგ/მ <sup>3</sup>	ბაზალტის ქვიშა კგ/მ <sup>3</sup>	ბაზალტის ღორღი კგ/მ <sup>3</sup>					
			5-10	10-20				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5.	450	760	360	740	202,5	უდანამატო	0,45	2,5
6.	450	760	360	740	184,5	ვისკოკრეტი SF 18 0,8%	0,41	12,0
7.	450	760	360	740	171,0	ვისკოკრეტი SF 18 1%	0,38	13
8.	450	760	360	740	157,5	ვისკოკრეტი SF 18 1,5%	0,35	14,5

ორივე ბეტონის ნარევისაგან დამზადებული ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილი №24 და ცხრილი №25

**ცხრილი №24**

**ვისკოკრეტის დამატებით მიღებული ბეტონის სიმტკიცის საშუალო მაჩვენებლები ასაკის მიხედვით (ნარევი №1)**

ბეტონის ნარევის სერიების №№	დანამატის სახე და დოზირება	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მკა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მკა	ბეტონის სიმტკიცე 60 დღის ასაკში მკა	ბეტონის სიმტკიცე 90 დღის ასაკში მკა
1	2	3	4	5	6
1.	უდანამატო	34,75	53,55	56,60	59,00
2.	ვისკოკრეტი SF 18 0,8%	48,95	72,00	74,00	75,63
3.	ვისკოკრეტი SF 18 1,0%	53,00	75,50	77,10	79,20
4.	ვისკოკრეტი SF 18 1,5%	45,00	70,30	72,10	74,30



ვისკოკრეტის დამატებით მიღებული ბეტონის სიმტკიცის საშუალო მაჩვენებლები ასაკის მიხედვით (ნარევი №2)

ბეტონის ნარევის სერიების №№	დანამატის სახე და დოზირება	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 60 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 90 დღის ასაკში მპა
1	2	3	4	5	6
1.	უდანამატო	24,50	39,2	41,55	43,60
2.	ვისკოკრეტი SF 18 0,8%	38,43	59,50	62,20	64,50
3.	ვისკოკრეტი SF 18 1,0%	48,85	75,70	78,80	81,30
4.	ვისკოკრეტი SF 18 1,5%	59,50	84,00	87,00	90,00

#### 2.2.4.2. ექსპერიმენტები BASF-ის დანამატების გამოყენებით.

წინა პარაგრაფში აღწერილი ექსპერიმენტების ანალოგიურად ჩავატარეთ ცდები BASF დანამატის გამოყენებით, რათა გვეჩვენა საშუალება შეგვედარებინა ამ პლასტიფიკატორების გავლენა ბეტონის მახასიათებლებზე.

ცხრილ №15 მოყვანილია ბეტონის ნიმუშების ტესტირების შედეგები. სულ დამზადებული იყო ნიმუშების 12 სერია. ქვიშა I მარცვლის ზომა 0-3მმ, ქვიშა II მარცვლის ზომა 0-5 მმ; ღორღი I ნატეხის ზომა 5-10 მმ, ხოლო ღორღი II ნატეხის ზომა საშუალოდ 10-20 მმ. პლასტიფიკატორის დოზირება იყო 1% ცემენტის მასიდან. ნიმუშები გამოიცადა 3, 7 და 28 დღის ასაკში.

**ბეტონის BASF-ის დანამატების გამოყენებით ტესტირების მონაცემები**

**ცხრილი №26**

ნიმუშების სერიის №	ბეტონნარევის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>							ნარევის კონუსის ჯდენა სმ	ნარევის სიმკვრივე ტ/მ <sup>3</sup>	გამყარებული ბეტონი			
	ცემენტი	ქვიშა		ლორღი		პლასტიფიკატორი	წყალი			სიმკვრივე ტ/მ <sup>3</sup>	სიმტკიცე კუმშვაზე მპა		
		I	II	I	II						3 დღე	7 დღე	28 დღე
1	375	675	260	340	550	-	212	16,5	2,412	2,390	20,8	23,8	36,5
2	320	695	285	375	555	3,2	173	15,5	2,406	2,420	31,0	38,6	53,3
3	310	700	290	375	560	3,1	186	16,0	2,424	2,375	26,0	39,0	47,5
4	300	705	295	370	570	3,0	180	19,0	2,423	2,385	24,4	33,0	44,5
5	390	-	914,7	121,4	702,1	3,9	197,4	14,5	2,3296	2,310	34,90	43,2	61,5
6	390	-	914,7	121,4	702,1	3,9	197,4	14,5	2,3296	2,315	31,20	42,0	55,3
7	350	-	977,1	129,6	750,0	3,5	165,1	14,5	2,3754	2,360	30,80	40,6	57,3
8	350	-	977,1	129,6	750,0	3,5	165,1	14,5	2,3754	2,360	27,15	36,0	54,4
9	510	-	720	-	920	5,0	160	21,0	2,315	2,30	27,5	34,5	63,5
10	510	-	720	-	920	5,0	187	22,0	2,340	2,33	26,0	36,5	63,5
11	510	-	720	-	920	5,0	147	22,0	2,300	2,30	43,5	50,0	78,0
12	510	-	690	-	940	5,4	173	21,0	2,360	2,35	28,0	37,5	69,0

**2.2.5. ბეტონის სტრუქტურის მამოდიფიცირებელი დანამატების კვლევა**

ცემენტის ქვის თვისებები განისაზღვრება მისი სტრუქტურის მახასიათებლებით - ფორიანობა, სიცარიელების რაოდენობით და კრისტალჰიდრატების შედგენილობით, კერძოდ, გელის სუბმიკროკრისტალებს და მსხვილ კრისტალებს შორის ბალანსით. ამის გათვალისწინებით მაღალი სიმტკიცის ბეტონის დეფორმაციული მახასიათებლების რეგულირების პირობების

გადაწყვეტა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ცემენტის ქვის მოდიფიცირების შესაძლებლობაზე სხვადასხვა მიკროშემდგენლების და დანამატების გამოყენების გზით.

მიკროშემდგენლების გამოყენება, როგორცაა ნაცარი, დაფქვილი მინერალური მასალები, დიატომიტი და სხვა, როგორც ვიცით, ამცირებს ცემენტის ხარჯს ბეტონში, მაგრამ ზრდის ბეტონის ნარევის წყლის მოხმარებას. მიუხედავად ამისა, ხშირად ადგილი აქვს სიმტკიცის ზრდას, რასაც მიკროდანამატის ეფექტს უწოდებენ. სიმტკიცის ზრდა აიხსნება იმით, რომ მიკროშემდგენლების წვრილი, თითქმის კოლოიდური ზომის ნაწილაკები განლაგდებიან ცემენტის მარცვლებს შორის ან მათთან ახლოს და ქმნიან კრისტალიზაციის ახალ ცენტრებს, რითაც ჩქარდება ჰიდრატაციის პროცესი და შედეგად იზრდება ცემენტის ქვისა და ბეტონის სიმტკიცე.

მიკროშემდგენლების ბეტონში შეყვანის დროს ვითარდება ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო პროცესი: სიმტკიცის ზრდა ცემენტის საკონტაქტო ზონაში ახლი საკრისტალიზაციო ცენტრების წარმოქმნის გამო და სიმტკიცის შემცირება წყალ-ცემენტის ფარდობის მომატების გამო (რაც იწვევს ფორების და სიცარიელების მოცულობის ზრდას), მაგრამ პირველი პროცესი უფრო მნიშვნელოვანია და მისი გავლენა ჭარბობს.

რაც უფრო მაღალია მიკროშემდგენლის ხვედრითი ზედაპირი, მით უფრო ეფექტურია და მით უფრო ნაკლებია საჭირო ბეტონის სიმტკიცის მაქსიმალური ეფექტის მისაღწევად.

ბეტონის სტრუქტურის ცვლილება მიკროშემდგენლების გამოყენებით დაკავშირებულია ცემენტის ქვის და ბეტონის როგორც ხარისხობრივი, ასევე რაოდენობრივი მახასიათებლების ცვლილებებით ანუ მისი გელისა და კრისტალური მოცულობების და მათი დრეკადობის მოდულის ბალანსით.

როგორც აღნიშნული იყო, მაღალი სიმტკიცის ბეტონებისათვის გამოიყენება მიკროკაჟმიწის მტვერი ან წყლოვანი სუსპენზია 1:1 თანაფარდობით; ასევე ნაცარწატა და მეტაკაოლინი. ზოგ შემთხვევაში შეიძლება დაფქული კვარცის ან კირქვის გამოყენებაც. ამ მასალების დამატება ბეტონში იწვევს შემდეგ ეფექტებს – ბეტონის სიმტკიცის მომატებას, ცემენტის ქვასა და შემდგენლებთან საკონტაქტო ზონის გაფართოებას.

ნაცარწატა – ქვანახშირის წვის პროდუქტია; იგი წარმოადგენს თბოელექტროსადგურების წარმოების ნარჩენს და მისი დაგროვება ხდება ელექტროფილტრებში.

მიკროკაჟმიწა – სილიციუმის ორჟანგის შემცველი, თეთრი ან მურა ფერის მჭვარტლია. წარმოიქმნება როგორც ფეროსილიციუმის წარმოების ნარჩენი და ილექება ელექტროფილტრებში.

გერმანიაში შემდგენლებად ძირითადად იყენებენ კაჟმიწის მტვერს. მოქმედი ნორმებით ბეტონის ნარევი მიკროკაჟმიწის რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს ცემენტის მასის 10%-ს. ამასთან, ცემენტის მასის 2%-იც კი არის საკმარისი, რომ საგრძნობლად გავზარდოთ ბეტონის სიმტკიცე და გავაუმჯობესოთ მისი თვისებები.

ნაცრის გამოყენების შემთხვევაში (პორტლანდცემენტში შესაძლებელია მისი მასის 25%-მდე, ხოლო წიდაპც-ში 38%-მდე დამატება) ასევე მიიღწევა ბეტონის უფრო მკვრივი სტრუქტურა.

ამ დანამატების გათვალისწინებით, ბეტონის შემკვრელების საერთო რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

$$შ=ც+მკ+0,45წ; \quad (1)$$

სადაც ც – არის ერთ კუბურ მეტრ ბეტონში ცემენტის რაოდენობა;

მკ – მიკროკაჟმიწის რაოდენობა;

წწ – ნაცარწატაცი არა უმეტეს 25%-ისა.

ამ შემთხვევაში წყალცემენტის ფარდობა გამოითვლება ბეტონის მოდიფიცირების მიხედვით და უდრის

$$წ/ც=(წ+წ_{მკ}+წ_{წწ})/შ; \quad (2)$$

სადაც წ – არის პორტლანდცემენტის ადუღაბებისათვის საჭირო წყლის რაოდენობა;

წ<sub>მკ</sub> – მიკროკაჟმიწის წყალი;

წ<sub>წწ</sub> – ნაცარწატაცი წყალი;

წ – შემკვრელებში არსებული წყალი;

შ – კომბინირებული შემკვრელი.

საქართველოში მიკროკაჟმიწის შემცველი დანამატი ძირითადად საზღვარგარეთიდან შემოდის (ე.წ. ნორვეგიული მიკროსილიკა), რაც საკმაოდ აძვირებს ბეტონის თვითღირებულებას.

### **2.2.5.1. ნორვეგიული მიკროსილიციუმის (Mikrosilica) და ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სილიკომანგანუმის მტერის ტესტირება**

ბეტონის ტექნოლოგიის განვითარებაში ერთ-ერთი გადამწყვეტი ფაქტორია ბეტონის მოდიფიცირების მეცნიერული საფუძვლების დამუშავება.

კომპოზიციური საშენი მასალების სტრუქტურის მოდიფიცირების ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მეთოდია მის შემადგენლობაში მაღალაქტიური დანამატების შეყვანა.

მინერალური დანამატები შეიძლება იყოს ბუნებრივი და ხელოვნური წარმოშობის. ისინი შეიცავენ სხვადასხვა სილიკატურ მინერალებს, რომლებიც შესაძლებელია იყვნენ კრისტალურ წვრილკრისტალურ, კოლოიდურ ან ამორფულ მდგომარეობაში. მიკროსილიციუმში, მიკროთიხამიწა, მეტაკაოლინი - ეს სწორედ ასეთი ტიპის დანამატებია. მათი შეყვანა ბეტონის შემადგენლობაში ხელს უწყობს ბეტონის ნარევის დენადობის შენარჩუნებას გარკვეული პერიოდით, რაც მეტად მნიშვნელოვანია ბეტონის ტექნოლოგიაში და განსაკუთრებით თვითშემჭიდროვებადი ბეტონებისათვის. მათ ახასიათებთ გარკვეული რეოლოგიური თვისებები, არ უნდა მოხდეს ბეტონის ნარევის განშრევადობა და გარკვეული დროის მანძილზე შენარჩუნებული უნდა იყოს ოპტიმალური სიბლანტე.

განვიხილოთ მიკროსილიციუმი. დღეს იგი გამოიყენება მთელ მსოფლიოში მძიმე ბეტონების, ქაფბეტონების, მშრალი სამშენებლო ნარევების და სხვა მასალების წარმოებაში. და ეს აიხსნება ამ მასალის თვისებების უნიკალობით. მის ძლიერ მაღალ პუცოლანურ აქტიობას განაპირობებს მაღალი დისპერსიულობა და ამორფული SiO<sub>2</sub>-ის სიჭარბე. მიკროსილიციუმი არის სუპერდისპერსული ფხვნილი, რომელსაც გააჩნია ძალიან დიდი ხვედრითი ზედაპირი. მას აქვს მცირე ნაყარი სიმკვრივე, ხოლო ჭეშმარიტი სიმკვრივე 10 და მეტჯერ მეტია, ანუ მიკროსილიციუმი ხასიათდება SiO<sub>2</sub> (98%-ის მაღალი შემცველობით უმეტესად აქტიური ამორფული სახით, მისი ნაყარი სიმკვრივე არის 120...450 კგ/მ<sup>3</sup>, ჭეშმარიტი სიმკვრივე კი 2200...2300 კგ/მ<sup>3</sup>; ნაწილაკების საშუალო ზომა 0,1...0,2 მკვ, ე.ი. 50-10-ჯერ წვრილია ცემენტის ნაწილაკებზე, ხოლო ხვედრითი ზედაპირი მერყეობს 13000...35000 მ<sup>2</sup>/კგ-ს შორის.

მიკროსილიციუმის გავლენა სტრუქტურის ჩამოყალიბებაზე დამოკიდებულია ორი ფაქტორის ურთიერთობაზე. ეს ფაქტორები პირობითად გავყოთ ფიზიკურად და ქიმიურად. ფიზიკური ფაქტორი დაკავშირებულია მიკროსილიციუმის ულტრადისპერსიულობასთან და ახდენს გავლენას ცემენტის სისტემის სტრუქტურის წარმოქმნის კოაგულაციურ სტადიაზე, ე.ი. საწყის სტადიაზე, როდესაც სისტემა იმყოფება პლასტიკურ მდგომარეობაში, ამ დროს ხდება მიკროსილიციუმის ულტრადისპერსული ნაწილაკებით ცემენტის უხეშ დისპერსიულ ნაწილაკებს შორის არსებული სივრცეების შევსება და ადგილი აქვს მყარი ფაზის შემადგენლებს შორის მრავალრიცხოვანი კოაგულაციური კონტაქტების წარმოქმნას.

ფიზიკური ფაქტორი დადებითად მოქმედებს სტრუქტურის ფორმირების შემდგომ კრისტალიზაციურ სტადიაზე, რაც გამოიხატება იმაში, რომ ულტრადისპერსული მასალა ავსებს გამყარებად ქვის სტრუქტურაში არსებულ ფორებს და შესაბამისად ზრდის მის სიმკვრივეს.

ქიმიური ფაქტორის როლი დაკავშირებულია მიკროსილიციუმის ქიმიურ-მინერალოგიურ შემადგენლობასთან და გამოიხატება ცემენტის ქვის ჰიდრატული ფაზების ბალანსის შეცვლაში: იზრდება უფრო მტკიცე და მედეგი კალციუმის ჰიდროსილიკატების მოცულობა. შეიძლება ითქვას, რომ მაღალდისპერსიული მიკროსილიციუმის გამოყენებით შესაძლოა ისეთი ბეტონების წარმოება, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიმტკიცით, დაბალი შეღწევადობით და გაზრდილი კოროზია და ხანმედეგობით. ცხრილებში მოყვანილია ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სილიკომანგანუმის მტვრის ქიმიური შემადგენლობა და ზოგიერთი ფიზიკურ - ტექნიკური მაჩვენებელი ყოფილი საბჭოთა კავშირის სხვა ანალოგიური ქარხნების მონაცემებთან ერთად.

ზოგიერთი მიკროშემდგენლის ქიმიური შემადგენლობა

ცხრილი 27

მიკროშემდგენლის წარმოშობა	მიკროგამაჯერებლის დასახელება	კომპონენტების შემცველობა, %-ში							
		SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>
ნოვოკუზნეცი	ფეროსილიციუმი	89,7	2,0	1,7	2,5	1,76	1,89	–	0,3
ჩელიაბინსკი	ფეროსილიციუმი	89,2	2,84	1,68	2,1	1,75	1,43	–	0,5
ერმაკი	ფეროსილიციუმი	70,1	3,43	2,03	11,4	0,9	0,9	–	0,4
აქტიუბინსკი	ფეროსილიციუმქრომი	66,1	2,2	1,3	0,44	14,65	1,8	–	4,2
ზესტაფონი	სილიკომანგანუმი	25,2	2,64	4,27	18,6	4,0	2,1	35,8	4,2
ზესტაფონი	სილიკომანგანუმი	35,4	2,3	3,86	4,58	4,2	2,4	39,1	3,4

ცხრილი 28

ფეროშენადნობთა წარმოების ულტრადისპერული ნარჩენების ზოგიერთი

ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებელი

მწარმოებელი ქარხანა	ნოვოკუზნეცი	ჩელიაბინსკი	ერმაკი	აქტიუბინსკი	ზესტაფონი	ზესტაფონი
ულტრადისპერ-სული ნარჩენების სახეობა	ფეროსილი-ციუმი	ფეროსილი-ციუმი	ფეროსილი-ციუმი	ფეროსილი-ციუმქრომი	სილიკომანგანუმი	სილიკომანგანუმი
SiO <sub>2</sub> -ის შემცველობა, %-ში	89,7	89,2	70,1	66,1	25,2	35,4
ჰიდრავლიკური აქტივობა	98	94	58	40	14,2	25
წყალმომთხოვნი-ლობა	40	33	137	43	26	33
ნაყარი ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	260	228	130	266	621	800
ხვედრითი ზედაპირი, სმ <sup>2</sup> /გ	20 000 – 25 000	20 000 – 22 000	25 000 – 50 000	20 000 – 22 000	8 000 – 10 000	12 000 – 14 000

ცხრილებიდან ჩანს, რომ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სილიკომანგანუმის მტვერი ხასიათდება აქტიური SiO<sub>2</sub>-ის ყველაზე დაბალი შემცველობით. ექსპერიმენტალურ კვლევებში გამოვიყენეთ ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნის ფილტრებში დაგროვილი სილიკომანგანუმის მტვერი, რომლის ქიმიურმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მასში SiO<sub>2</sub> შემცველობა 20%-ს არ აღემატება და ნორვეგიული წარმოების მიკროსილიციუმის დანამატი Microsilica. დანამატების საერთაშორისო სტანდარტის მონაცემებით SiO<sub>2</sub> -ის რაოდენობა Microsilica - ში უნდა აღემატებოდეს 85%-ს, რასაც აკმაყოფილებს უცხოური დანამატი. ჩვენ გავითვალისწინეთ მისი მაღალი ღირებულება ერთის მხრივ და აგრეთვე ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნის ბრძმედის საკვამლე მილის ფილტრებში დაგროვილი სილიკომანგანუმის მტვერის SiO<sub>2</sub> -ით გამდიდრების შესაძლებლობა მანგანუმის შემცირების ხარჯზე და მისი უტილიზაციის საჭიროება. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები მოყვანილია ცხრილი №29 და ცხრილი №30

### ცხრილი №29

ზესტაფონის სილიკო - მანგანუმით და ნორვეგიული მიკროსილიკით მოდიფიცირებული ბეტონის ნარევების შემადგენლობა

ბეტონის ნარევის სერიები №№	ცემენტი კგ/მ <sup>3</sup>	ბაზალტის ღორღი (5-16 მმ) კგ/მ <sup>3</sup>		ბაზალტის ქვიშა კგ/მ <sup>3</sup>		წყალი ლ/მ <sup>3</sup>	დანამატის სახე და დოზირება %-ში	ქ. ზესტაფონის ქარხნის სილიკა მანგანუმი	წყალ/ცემენტი	
		0-2,5 მმ	2,5-5 მმ	0-2,5 მმ	2,5-5 მმ					
ნარევი №1										
1.	420	820	600	320	190	ვისკოკრეტი SF 18 1,0%	84	0,45		
2.	450	920	400	400	180	ვისკოკრეტი SF 18 1,0%	90	0.4		
ნარევი №2										
ბეტონის ნარევის სერიები №№	ცემენტი კგ/მ <sup>3</sup>	ბაზალტის ღორღი კგ/მ <sup>3</sup>		ბაზალტის ქვიშა კგ/მ <sup>3</sup>		კვარცხის ქვიშა კგ/მ <sup>3</sup>	წყალი ლ/მ <sup>3</sup>	დანამატის სახე და დოზირება %-ში	უცხოური წარმოების მიკროსილიკა კგ/მ <sup>3</sup>	წყალ/ცემენტი
		5-10 მმ	10-16 მმ	0-2,5 მმ	2,5-5 მმ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	420	480	340	270	370	280	190	SF 18 1,0%	84	0,45
2.	450	530	340	260	220	350	180	SF 18 1,0%	90	0,4

## კუმშვისას ბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება მასალის ასაკზე

ნარევი №1						
ბეტონის ნარევის სერიები №	დანამატის სახე და დოზირება	ბეტონის სიმტკიცე 1 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 3 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 14 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მპა
1	2	3	4	5	6	7
1.	ვისკოკრეტი SF 18 1,0%	10,6	21,5	32,3	37,5	45,3
2.	ვისკოკრეტი SF 18 1,0%	12,8	25,5	34,4	41,8	50,4
ნარევი №2						
ბეტონის ნარევის სერიები №	დანამატის სახე და დოზირება	ბეტონის სიმტკიცე 1 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 3 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 14 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მპა
1	2	3	4	5	6	7
1.	ვისკოკრეტი SF 18 1%	18,1	30,8	54,3	73,5	84,6
2.	ვისკოკრეტი SF 18 1%	21,4	34,5	68,9	83,8	99,5

ცხრილებიდან ჩანს, რომ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სილიკომანგანუმის მტვერი ხასიათდება აქტიური SiO<sub>2</sub>-ის ყველაზე დაბალი შემცველობით და როგორც ექსპერიმენტებმა აჩვენა, მისი გამოყენება ბეტონის ნარევებში მიკროდანამატად ვერ გვამღევს სათანადო შედეგს.

#### 2.2.5.2. ცემენტის ქარხნის ღუმელის მტვრის ტესტირება

ცემენტის ქარხნის ღუმელის მტვრის ტესტირებისას გარდა აღნიშნული ცემენტის მტვრისა პლასტიფიკატორად გამოყენებული იყო Sika-ს ფირმის პლასტიფიკატორი Viscocrete SF-18. ერთი სერია ნიმუშების დამზადებული უდანამატოდ და პლასტიფიკატორის გარეშე, ხოლო კიდევ



ერთ სერიაში (სერია 2) ნახმარია მხოლოდ Viscocrete SF-18. ნიმუშები გამოცდილი იყო 7 და 28 დღის ასაკში. შედეგები მოყვანილია ცხრილ №31-ში.

**ცხრილი №31**

**ცემენტის მტვრის მიკროშემავსებელზე დამზადებული ბეტონის ტესტირება**

№	მიკროშემავსებლის სახე	ბეტონის შემადგენლობა კვ/მ <sup>3</sup>						კონუსის ჯდება	მოცულობითი მასა კვ/მ <sup>3</sup>		სიმტკიცე კუმშვაზე მპა	
		ცემენტი	ქვიშა	ღორღი	მიკროშემავსებელი	პლასტ	წყალი		7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	500	800	860	-	-	250	5	2,29	2,33	33,1	52,3
2	-	500	800	860	-	5	175	5	2,32	2,34	51,3	73,6
3	ცემენტის მტვერი	500	800	860	80	5	205	5	2,33	2,40	58,4	86,8

როგორც აღვნიშნეთ, მინერალურ მიკროშემავსებლებთან ერთად იყო გამოყენებული სუპერპლასტიფიკატორი Sika Viscocrete SF-18-ს. მისი დოზირება იყო 1% ცემენტის მასიდან, ხოლო მიკროშემავსებლების რაოდენობა ბეტონის ნარევიში შეადგენდა ცემენტის მასის ≈16%-ს. შედეგების განხილვა გვიჩვენებს, რომ მიკროშემავსებლების გამოყენება პლასტიფიკატორთან ერთად უდანამატოსთან შედარებით ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს კუმშვაზე, ე.ი. შესაძლებელია ბეტონის კლასის ამაღლება.

როგორც ცნობილია, არსებობს ცემენტის მტვრის უტილიზაციის პრობლემა. ამიტომ მისი გამოყენება ბეტონებში ხელს შეუწყობს ამ საკითხის მოგვარებას.

**2.2.5.3. საქართველოში ფართოდ გავრცელებული წყლიანი ალუმოსილიკატების ჯგუფის მინერალების შემცველი ზოგიერთი არამადნეული წიაღისეულის (თიხა-ფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები) კვლევა.**

ჩვენი ძალისხმევა მიმართულ იქნა საქართველოში ფართოდ გავრცელებული წყლიანი ალუმოსილიკატების ჯგუფის მინერალების შემცველ ზოგიერთ არამადნეული წარმოშობის წიაღისეულის (თიხა-ფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები) კვლევაზე და მათ მოდიფიცირებაზე.

კვლევები განპირობებული იყო კიდევ იმ ფაქტორით, რომ საქართველოს ზოგიერთი მდინარის მიერ ჩამონატანი მაგ. თიხა-ფიქლის დიდი მარაგები ზოგ შემთხვევაში ეკოლოგიურ პრობლემებსაც კი ქმნის (ყვარელი, მდ. დურუჯი), კერძოდ დგება მათი უტილიზაციის პრობლემა.

ამ კონკრეტული საკითხის შესწავლის პროცესში ლაბორატორიულად გამოკვლეულ იქნა ცეოლითების, თიხა-ფიქლის და ბენტონიტური თიხების, როგორც ქიმიური შემადგენილობა და სტრუქტურა, ასევე თერმული მდგრადობა, რაც მაღალი ხარისხის ცემენტებისა და ბეტონის მიღების აუცილებელი წინაპირობაა.

### ცხრილი N32

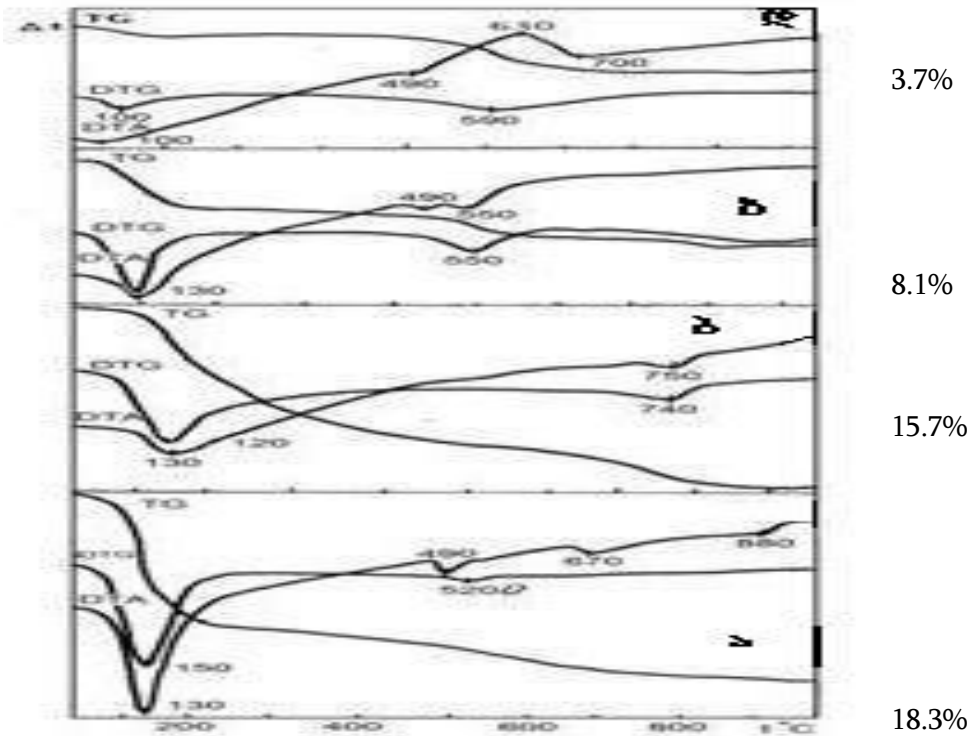
#### მინერალების ქიმიური შემადგენლობა ოქსიდების სახით.

დასახელება	ქიმიური შემადგენლობა ოქსიდების სახით %							
	$(Na, K)P_2O$	$CaO$	$MgO$	$Fe_2O_3$	$SO_3$	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$H_2O$
თიხა-ფიქალი	4,7	1,32	2,83	7,59	0,58	18,73	59,5	4,1
ბენტონიტური თიხა	3,25	2,26	3,3	3,13	0,58	18,3	52,2	8,6
ცეოლითური ტუფი	3,35	2,13	2,78	2,42	1,32	12,3	62,6	8,6

მინერალების შესწავლა ხდებოდა ე.წ. თერმული ანალიზის მეთოდით, რითაც ვადგენდით ნიმუშების სრული გაუწყლოვნების ტემპერატურას. მინერალების სტრუქტურული ცვლილებების დადგენა ხდებოდა რენტგენოდიფრაქტომეტრული ანალიზის საშუალებით, აგრეთვე ი.წ. სპექტროსკოპიის მეთოდით.

თერმული ანალიზი არის კვლევის მეთოდი, სადაც ნიმუშის გახურების შედეგად წონის ცვლილებით ტემპერატურაზე ან დროზე დამოკიდებულებით საზღვრავენ ან მსჯელობენ მათ გარდაქმნაზე ან შუალედური პროდუქტის შემადგენლობაზე. განასხვავებენ დინამიკურ და სტატიკურ თერმოგრაფომეტრულ მეთოდებს.

ნიმუშების სრული გაუწყლოების ტემპერატურის დადგენის მიზნით ჩატარებული მინერალების კვლევა დიფერენციალური თერმული ანალიზის მეთოდით მოცემულია ნახაზზე.



ნახ.18 შესწავლილი მინერალების თერმოგრაფიული კვლევის შედეგები.

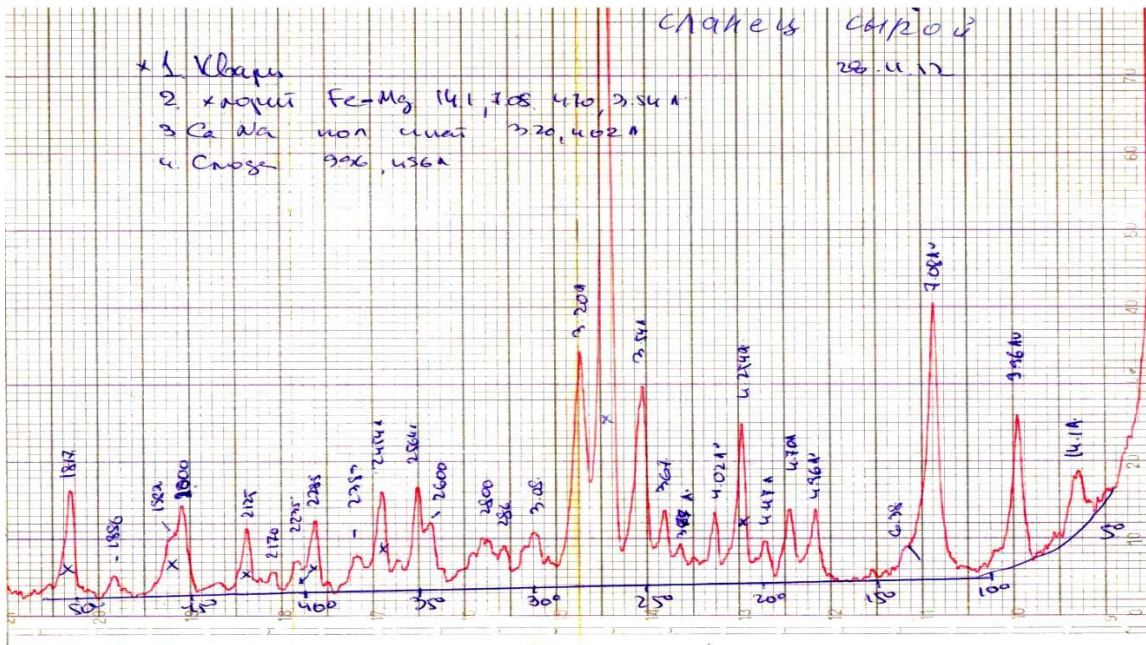
ა) ბენტონიტური თიხა; ბ) კლინოპტილოლიტი; გ) სპონგოლიტი; დ) თიხაფიქალი

ბენტონიტური თიხის DTA (დიფერენციალური თერმული ანალიზი) მრუდზე წყლის ძირითადი დანაკარგი 130°C-ზე გახურებისას გვაქვს. 490°C -ზე დეჰიდრატაცია დასრულებულია. ნიმუშის მასის დანაკარგი 18.3%-ს შეადგენს.

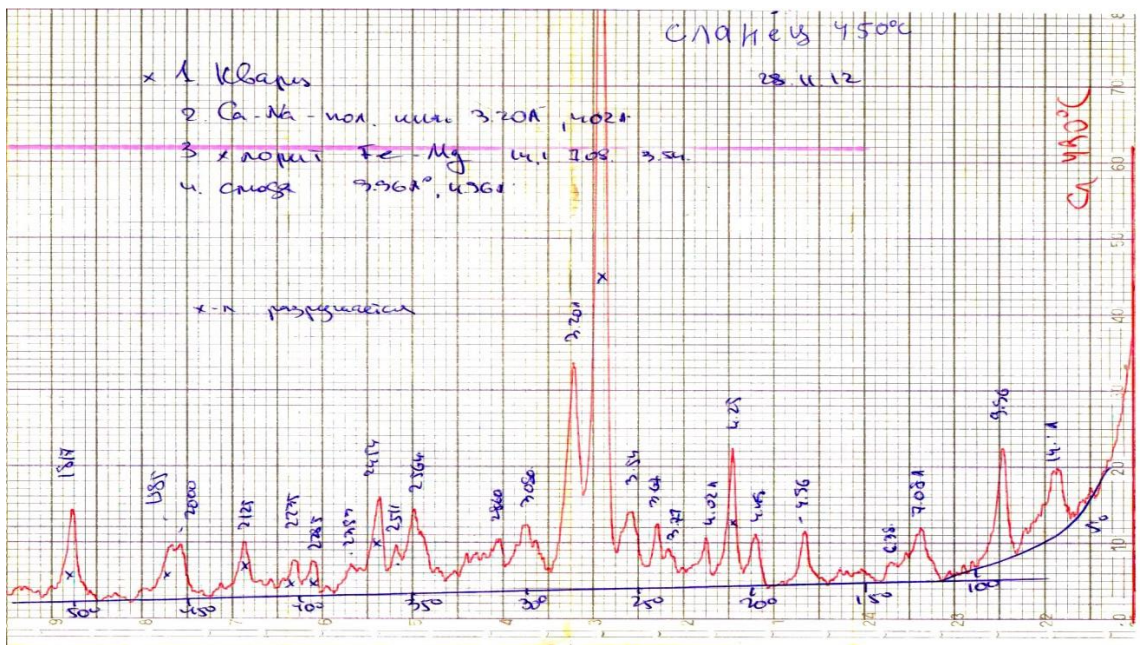
ცოლით კლინოპტილოლიტის თერმული ანალიზის შედეგად წყლის ძირითადი დანაკარგი DTA მრუდზე 130 °C-ზე აღინიშნება. ენდოთერმული პიკი 740°C-ზე წყლის სრულ დესორბციაზე მიუთითებს. ნიმუშის მასის დანაკარგი 15.7%-ია. სპონგოლიტშიც წყლის ძირითადი დანაკარგი 130°C - ზე მოდის DTA მრუდზე ორი ენდოთერმული პიკი 490 და 550°C-ზე სპონგოლიტის შემადგენლობაში ორ განსხვავებულ ფაზაზე მიგვიითებს. ნიმუშში მასის დანაკარგი აქ 8.3%-ია.

თიხაფიქლის DTA მრუდზე წყლის დისოციაცია ძირითადად 100°C-ზე ხდება. მცირე ინტენსივობის ენდოთერმული პიკი 490°C-ზე მიუთითებს თიხაფიქლის შემადგენლობაში არსებული რკინა-მანგანუმის ქლორიდის სტრუქტურის რღვევაზე. ეგზოთერმული პიკი 700 °C - ზე, დეჰიდრატაციის დასრულებაზე მიგვანიშნებს. ნიმუშში მასის დანაკარგი 3.7%-ს შეადგენს.

თერმული ანალიზის საფუძველზე, დეჰიდრატაციის დამთავრების ტემპერატურაზე, მოხდა ყველა შესასწავლი ნიმუშის თერმული დამუშავება. ხოლო შემდეგ რენდგენოდიფრაქტომეტრული ანალიზის მეთოდით შევისწავლეთ სამი მინერალის, როგორც საწყის ასევე შესაბამის ტემპერატურაზე დამუშავებული ნიმუშები.

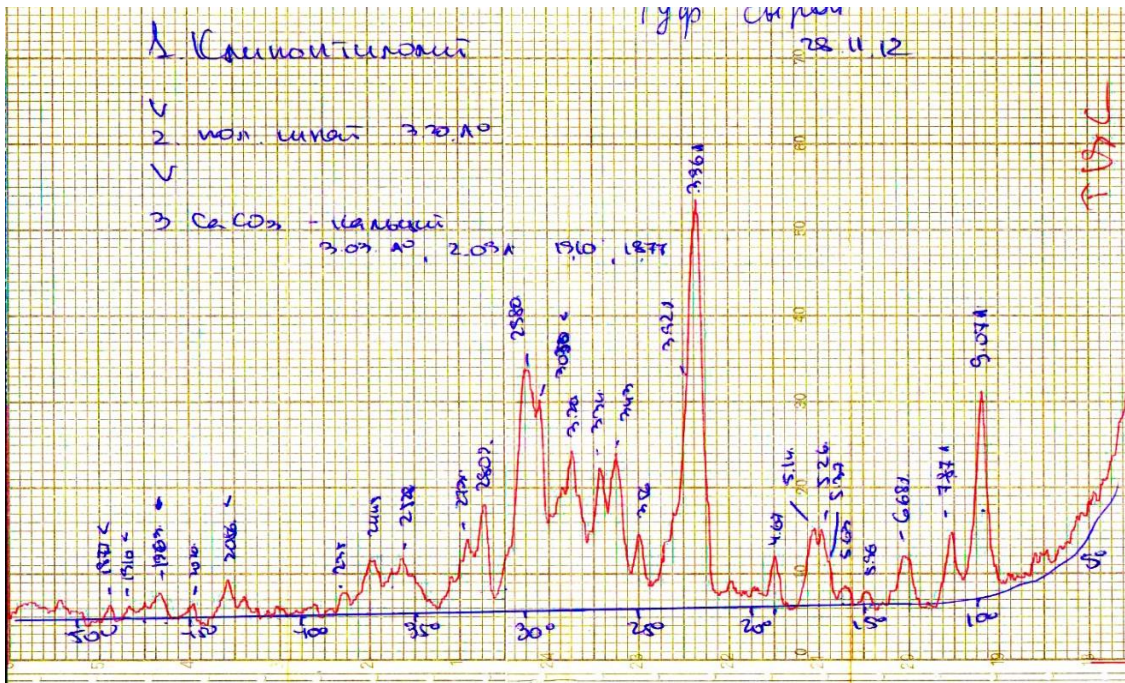


ნახ. 19 ნედლი თიხა-ფიქლის რენდგენოდიფრაქტოგრამა

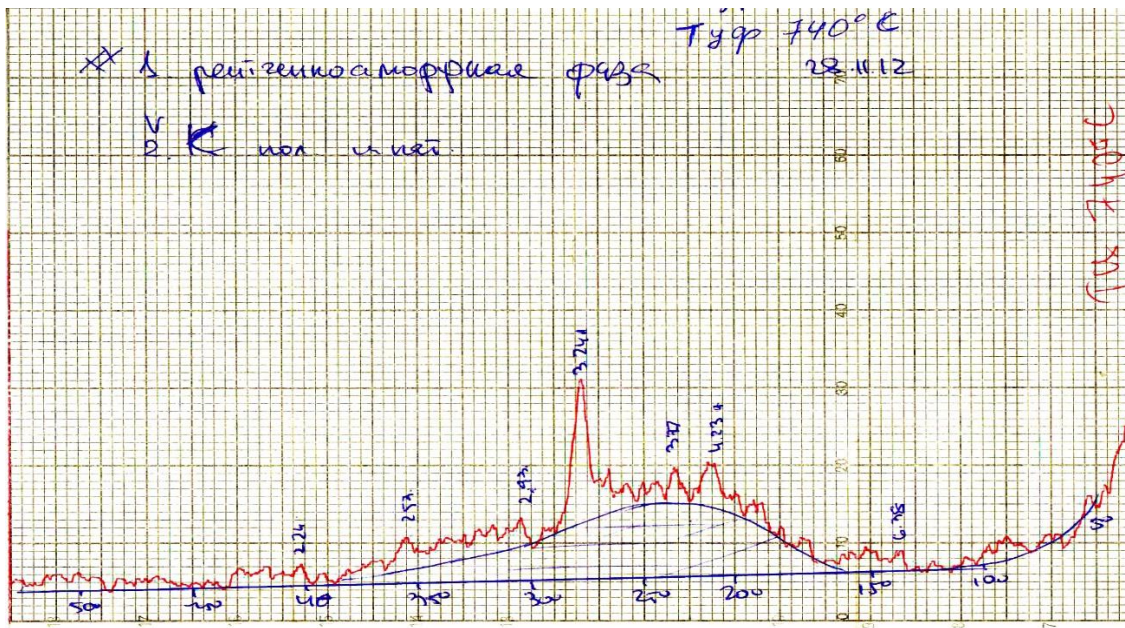


ნახ. 20 თერმულად დამუშავებული თიხა-ფიქლის რენდგენოდიფრაქტოგრამა

თიხაფიქლის დიფრაქტოგრამიდან ჩანს, რომ ის შედგება კვარცის 2.0; 2.12; 2.28; 2.3 2.54; 3.34; 4.25 A<sup>0</sup>, Fe-Mg-ის ქლორიდის 3.54; 4.70; 7.09; 14,1 A<sup>0</sup>, Ca-Na - მინდვრის შპატისა 2.90; 4.02 A<sup>0</sup> და ქარსისგან 4.96; 9.96 A<sup>0</sup>. ნიმუშის 490 °C - ზე გახურებამ სტრუქტურის მცირედ შეცვლა გამოიწვია, რაც ძირითადად რკინა-მანგანუმის ქლორიდის სტრუქტურის რღვევაში გამოიხატება.



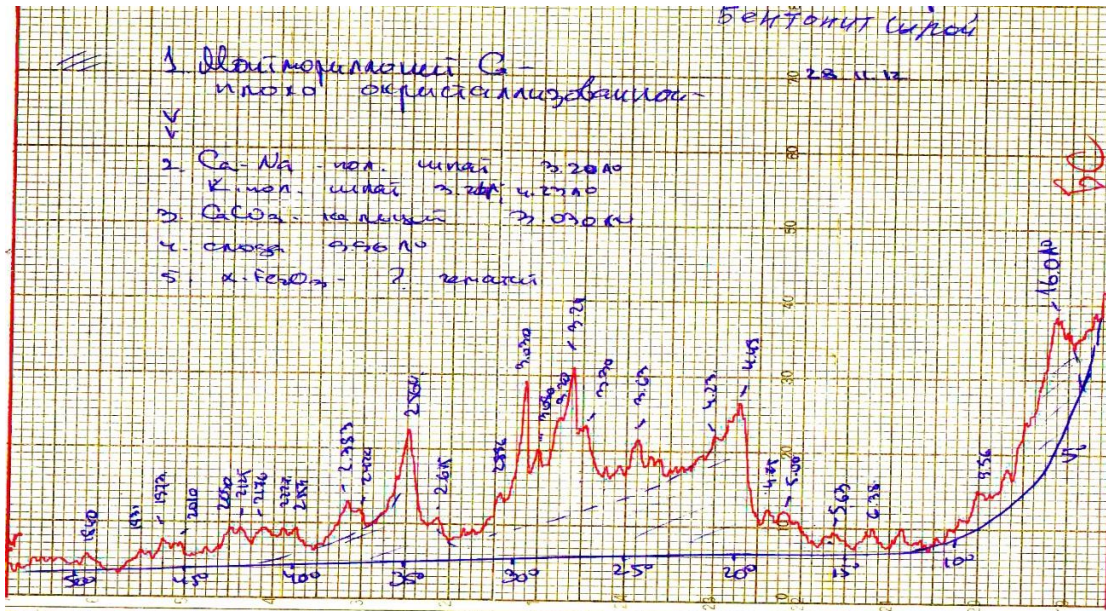
ნახ. 21 ნედლი ცეოლით კლინოპტელოლიტის რენდგენოდიფრაქტოგრამა



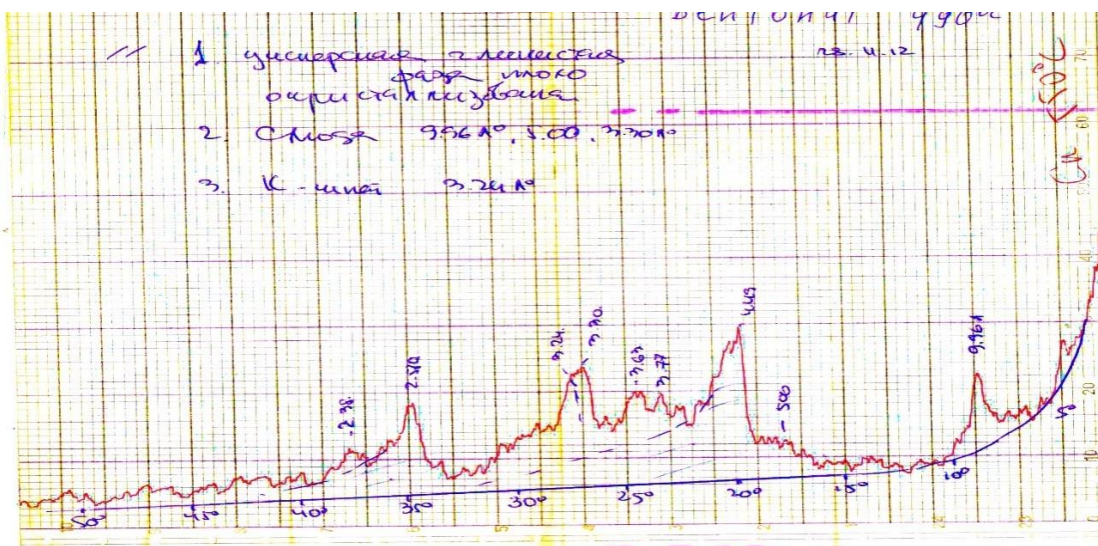
ნახ. 22 თერმულად დამუშავებული ცეოლით კლინოპტელოლიტის რენდგენოდიფრაქტოგრამა

ცეოლით კლინოპტელოლიტის რენტგენოდიფრაქტოგრამაში გარდა კლინოპტელოლიტისა 2.01; 2.35; 2.44; 2.52 2.70; 2.80 2.98 3.2; 3.34; 3.43; 3.56; 3.92; 3.96; 4.07 5.14; 5.26; 5.37 5.63; 6.68 A°,

შეინიშნება მინდვრის შპატის პიკები 3.2 A<sup>0</sup> და კალციტი 3.0; 2.03; 1.96; 1.87 A<sup>0</sup>. ნიმუშის 740°C - ზე გახურების შედეგად მისი სტრუქტურა საგრძნობლად ირღვევა თუმცა ნიმუშში ამორფული ფაზის გარდა კლინოპტელოლიტის 2.24; 2.53; 2.93; 3.77; 6.38 A<sup>0</sup> და მინდვრის შპატის 3.24; 4.23 A<sup>0</sup> კრისტალური სტრუქტურის აღმნიშვნელი პიკები მაინც გვაქვს.



ნახ. 23 ნედლი ბენტონიტური თიხის რენტგენოდიფრაქტოგრამა



ნახ. 24 თერმულად დამუშავებული ბენტონიტური თიხის რენტგენოდიფრაქტოგრამა

ბენტონიტური თიხის რენტგენოდიფრაქტოგრამიდან ჩანს, რომ ნიმუშები ძირითადად ცუდად დაკრისტალებული მონტმორილონიტისაგან შედგება. გარდა ამისა მინარევების სახით გვაქვს Ca-Na მინერალის შპატი 3.20; 3.21; 4.23 A<sup>0</sup>, კალციტი CaCO<sub>3</sub> - 3.03A<sup>0</sup> და ქარსი 3.96 A<sup>0</sup>. თიხის 490 °C -

ზე გახურების შემდეგ, რენტგენოდიფრაქტოგრამაში აღარ შეიმჩნევა მინდვრის შპატისა და კალციტის პიკები. სამაგიეროდ უფრო გამოკვეთილად გამოჩნდა ქარსის ზოლები.

ამრიგად, საქართველოს მინერალური ნედლეულის ბაზაზე შესწავლილი და შემოთავაზებულია თიხა-ფიქლი, ცეოლითი და ბენტონიტური თიხა, რომლებიც საშენი მასალების წარმოების თანამედროვე ტექნოლოგიებში საჭიროებისამებრ შეიძლება გამოვიყენოთ მაღალეფექტურ მინერალურ მიკრო დანამატად.

ჩვენს შემთხვევაში ბეტონის მოდიფიკატორად შერჩეულია წვრილდისპერსული დაბალტემპერატურული რეჟიმით (490°C) მიღებული აქტიური მინერალური დანამატები - თიხა-ფიქლის, ცეოლითების და ბენტონიტური თიხების ფხვნილი, რომელიც გამოწვის შემდეგ დაფქულ იქნა ლაბორატორიულ წისქვილში, დაფქვის სიწმინდით - ნარჩენი საცერზე N 008 – 5%.

### 2.3. მოცულობითი მიკროარმირების ხერხების ძიება

საინტერესო შედეგები მივიღეთ ბოჭკოს გამოყენებით ცემენტის მოცულობითი მიკრო არმირების კვლევის დროს. მარმირებელი შემსესებს შორის (ფოლადის ფიბრა, არაორგანული და ორგანული ბოჭკოები) განსაკუთრებული ადგილი უკავია აზბესტს. მიუხედავად მისი მავნე თვისებების შესახებ დისკუსიისა, აზბესტი გამოიყენება უამრავ ნაკეთობებში, რადგან მას გააჩნია მთელი რიგი უნიკალური თვისება და მისი სრული შემცველი დღეისათვის ცნობილი არ არის. აზბესტი არის ბუნებრივი მინერალური წარმოშობის ბოჭკო, წარმოიქმნება ბუნებრივ პირობებში. ძირითადად შედგება მაღალმოლეკულური მინერალ ქრიზოტილისაგან, რომელიც არის მაგნიუმის სილიკატი.

ქრიზოტილ აზბესტის ნანობოჭკოები ეფექტურია არა მარტო სპეციალური დანიშნულების კომპოზიციურ ბეტონებში, არამედ ექსტრემალურ პირობებში მომუშავე სხვა კომპოზიციურ მასალებში. მაგალითად, ასეთი ბოჭკოებით დისპერსიულად არმირებული ბეტონი გამოირჩევა თავისი ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლებით. მათ გააჩნიათ მაღალი სიმტკიცე, რადიაციისგან დაცვის უნარი, აგრეთვე არიან ცეცხლმედეგნი.

ექსპერიმენტებში ვიყენებდით სხვადასხვა წარმოშობის ბოჭკოვან მასალას: აზბესტს, მინაბოჭკოს, ლითონის ფიბრას, ბაზალტის ფიბრას და ვადარებდით ამ ნიმუშების სიმტკიცის მახასიათებლებს, როგორც საკონტროლო (უდანამატო) ნიმუშების მაჩვენებლებს, ასევე ერთმანეთს.

### ცხრილი N33

#### სხვადასხვა წარმოშობის ბოჭკოვანი მასალის ზემოქმედება ცემენტის ქვის ღუნვა-კუმშვაზე

N	ნარევის შედგენილობა			სიმტკიცე კგძ/სმ <sup>2</sup>	
	ცემენტი, გ	წყალი, გ	ბოჭკოვანი მასალა, გ	ღუნვაზე	კუმშვაზე
1	CEMI SR 500 გ	140	-	51,48	473
2	CEMI SR	140	5, BF <sub>6</sub>	72,16	444

	500 გ				
3	CEMI SR 500 გ	140	5, აზბესტი	51,48	372
4	CEMI SR 500 გ	140	5, მინაბოქკო	72,16	440
5	CEMI SR 500 გ	140	5, ლითონის ფიბრა	61,82	476

როგორც მოყვანილი მასალიდან ვხედავთ, 1 % ბაზალტის ფიბრა (N2), 40%-ით ზრდის ცემენტის გამძლეობას ღუნვაზე, მაგრამ იმავედროულად 6 %-ით ამცირებს გამძლეობას კუმშვაზე, ხოლო ზოგადი სიმტკიცე უფრო მაღალი აქვს გამლღვალ მდგომარეობაში ნამყოფ სილიკატებს (ბაზალტის ფიბრა, მინაბოქკო) დამატებით მიღებულ ცემენტის ქვას, სავარაუდოდ ცემენტის მინერალუბთან უკეთესი შეჭიდულობის გამო.

### 2.3.1. მოცულობითი მიკროარმირების გავლენა დულაბის თვისებებზე

არმირების თანამედროვე მეთოდია ე. წ. მოცულობითი დისპერსული არმირება: ფიბრების, ულტრამცირე ზომის ძაფისა და ნემსისმაგვარი ნივთიერებებით და შინაგანი სტრუქტურული წარმონაქმნებით. მაგალითად, ეტრინგიტის ან მისი მსგავსი კრისტალებით თვითნაწარმირება.

მიზნების მისაღწევად აუცილებლად მიგვაჩნდა საშენი მასალების თვისებების დასახვეწად არმირების ინოვაციური მეთოდების გამოყენება, რომელშიც მოიაზრება მოცულობითი დისპერსული მაკროარმირება, მაგალითად ბაზალტის ფიბრის საშუალებით; მოცულობითი-დისპერსული მიკრო თვითარმირება ცეოლითური ძაფისა და ნემსისმაგვარი კრისტალების-ნატროლიტის გამოყენებით, ახალწარმონაქმნების კრისტალების ჩანასახის სახით გამოყენებით, როდესაც ახალწარმოქმნილი კრისტალებით ხდება მიკრო თვითარმირება. ვსწავლობდით დულაბის თვისებებზე მოცულობით დისპერსიულ არმირების გავლენას, რომელიც ხორციელდებოდა სხვადასხვა სიგრძის და რაოდენობის ბაზალტის ფიბრის შეყვანით მის შედგენილობაში.

დულაბის შემადგენლობა და გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილ N34-ში და ცხრილ N35-ში.



ბაზალტის ფიბრის სიგრძის და რაოდენობის გავლენა დულაბის თვისებებზე

ცხრილი № 34

№	დულაბის შედგენილობა, კგ/მ <sup>3</sup>						სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>			სიმტკიცის ზღვარი, მპა			
	ცემენტი CEM I	ქვიშა 0-5 მმ	წყალი	ბაზალტის ფიბრა			ნიმუში კგ	საშ.	$\frac{საშ}{3}$	ლუნვაზე		კუმშვაზე	
				სიგრძე F	% ცემენტის მასის	კგ/ მ <sup>3</sup>				ნიმუში ს	$\frac{საშ}{3}$	ნიმუში ს	$\frac{საშ}{3}$
1	520	1760	260	-	-	-	1,79	2,268	2,268	5,03	5,03	34,76	34,76
2	520	1760	260	F <sub>6</sub>	0,190	1	1,785	2,262	-	5,03	-	35,42	-
3	520	1760	260	F <sub>6</sub>	0,384	2	1,785	2,268	-	5,27	-	34,85	-
4	520	1760	260	F <sub>6</sub>	0,768	4	1,785	2,253	2,261	4,90	5,06	33,55	34,60
5	520	1760	260	F <sub>12</sub>	0,190	1	1,780	2,248	-	5,50	-	35,65	-
6	520	1760	260	F <sub>12</sub>	0,384	2	1,790	2,243	-	5,50	-	35,97	-
7	520	1760	260	F <sub>12</sub>	0,768	4	1,810	2,250	2,247	4,80	5,03	32,70	34,80
8	520	1760	260	F <sub>16</sub>	0,190	1	1,743	2,211	-	5,38	-	35,80	-
9	520	1760	260	F <sub>16</sub>	0,384	2	1,770	2,261	-	5,03	-	35,40	-
10	520	1760	260	F <sub>16</sub>	0,768	4	1,760	2,221	2,231	5,62	5,34	36,80	36,0
11	520	1760	260	F <sub>24</sub>	0,190	1	1,775	2,247	-	5,38	-	36,32	-
12	520	1760	260	F <sub>24</sub>	0,384	2	1,775	2,258	-	5,62	-	35,97	-
13	520	1760	260	F <sub>24</sub>	0,768	4	1,780	2,227	2,244	5,50	5,50	36,33	36,23

როგორც ვხედავთ:

1. ბაზალტის ფიბრა F<sub>6</sub>- F<sub>24</sub> მმ სიგრძის ფარგლებში, სიგრძის მომატებასთან ერთად დულაბის სიმტკიცე ღუნვაზე იზრდება 5,03 მპა-დან 5,50 მპა-მდე, ანუ 9-10 %-ით;
2. ბაზალტის ფიბრა F<sub>6</sub> და F<sub>24</sub> 1-4კგ/მ<sup>3</sup> ფარგლებში ამცირებს, ხოლო F<sub>12</sub>-ზრდის დულაბის სიმტკიცეს კუმშვაზე;
3. F<sub>6</sub>- F<sub>24</sub> მმ-ის ფარგლებში, როცა ფიბრის რაოდენობა 0,19-0,77%-ის ფარგლებშია, დულაბის მოცულობითი მასის კლების მიუხედავად, მექანიკური სიმტკიცე ღუნვაზე მატულობს;
4. ფიბრის სიგრძის ზრდა, ზრდის დულაბის მექანიკურ სიმტკიცეს ღუნვაზე პროპორციულად;
5. როდესაც ფიბრის რაოდენობა 1-10% ფარგლებშია, სიმტკიცე კუმშვაზე იგივეა, ან მატულობს.
6. თუ ფიბრის რაოდენობა 11-20% ფარგლებშია სიმტკიცე კუმშვაზე კლებულობს ღუნვაზე-მატულობს;
7. ფიბრა 25%-ზე მეტი რაოდენობით, ამცირებს სიმტკიცეს ღუნვაზე.

**ცხრილი №35**

**ბაზალტის ფიბრის სიგრძის და რაოდენობის გავლენა დულაბის სიმტკიცეზე ღუნვასა და კუმშვაზე**

№	ნარევის შედგენილობა				სიმკვრივე გ/სმ <sup>3</sup>	სიმტკიცე კგ/სმ <sup>2</sup>		შენიშვნა, ნიშუმის ნახევრები
	ცემენტი, გ	წყალი, გ	ფიბრა			ღუნვაზე	კუმშვა ზე	
			სიგრძე	%				
1	460	130	-	-	1,975	60,8	476	დაცილდა
2	465	130	F <sub>6</sub>	0,25	2,148	51,5	484	დაცილდა
3	465	130	F <sub>6</sub>	0,50	2,217	72,5	460	დაცილდა
4	465		F <sub>6</sub>	0,75	2,189	49,1	440	დაცილდა
5	465	130	F <sub>6</sub>	1,00	2,381	70,2	480	არ დაცილდა
6	465	130	F <sub>12</sub>	0,25	2,168	63,2	478	დაცილდა
7	465	130	F <sub>12</sub>	0,50	2,311	60,8	458	არ დაცილდა
8	465	135	F <sub>10</sub>	0,75	1,989	53,8	416	არ დაცილდა
9	465	140	F <sub>12</sub>	1,00	2,248	60,8	400	არ დაცილდა
10	465	140	F <sub>18</sub>	0,25	2,207	67,9	452	არ

								დაცილდა
11	465	135	F <sub>18</sub>	0,50	2,179	67,9	496	არ დაცილდა
12	465	135	F <sub>18</sub>	0,75	2,132	58,5	480	არ დაცილდა
13	465	140	F <sub>18</sub>	1,00	2,748	60,8	482	არ დაცილდა
14	465	130	F <sub>24</sub>	0,25	2,164	53,8	458	არ დაცილდა
15	465	130	F <sub>24</sub>	0,50	2,071	49,1	438	არ დაცილდა
16	465	135	F <sub>24</sub>	0,75	1,907	58,5	464	არ დაცილდა
17	465	140	F <sub>124</sub>	1,00	0,075	53,8	476	არ დაცილდა

როგორც ვხედავთ, F<sub>6</sub> ფიბრა 1% და F<sub>12</sub> 0,5%-დან დაწყებული, F<sub>24</sub> 1,0%-ის ჩათვლით, ღუნვაზე გატეხვის შემდეგ ძელაკის ნახევრები ერთმანეთს არ შორდება, რადგან ფიბრა აკავშირებს ერთმანეთთან.

როდესაც ფიბრის სიგრძე აღემატება შემვსების საშუალო დიამეტრს, F<sub>6</sub>- F<sub>24</sub> სიგრძის ფარგლებში, რაც უფრო გრძელია ფიბრა, მით მეტი რაოდენობითაა იგი საჭირო არმირებისათვის და ღუნვაზე სიმტკიცის გასაზრდელად და პირიქით, რაც უფრო მოკლეა ფიბრა, მით ნაკლები რაოდენობითაა იგი საჭირო მოცულობითი არმირებისას ღუნვაზე სიმტკიცის გასაზრდელად;

ღუნვაზე სიმტკიცეს, ყველაზე უკეთ ზრდის ფიბრა სიგრძით F<sub>18</sub> (განსაკუთრებით 0,25-0,5% ცემენტის მასისგა), შემდეგ F<sub>12</sub> 0,25-1,0 %-ის ფარგლებში;

კუმშვაზე სიმტკიცეს ყველაზე კარგად ზრდის F<sub>6</sub>- F<sub>12</sub> ფიბრა, როდესაც მისი რაოდენობა 0,25-0,75%-ის ფარგლებშია.

ბაზალტის ფიბრის რაოდენობის და ვიბრირების გავლენა დულაბის თვისებებზე

№	დულაბის შედგენილობა						სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	სიმტკიცის ზღვარი, კგ/მ <sup>2</sup>			
	ცემენტი CEMI	ქვიშა 0-5 მმ	წყალი	ბაზალტის ფიბრა			საშ.	ღუნვაზე		კუმშვაზე	
				სიგრძე F მმ	% ცემენტ ის მასის	კგ/მ <sup>3</sup>		საშ	საშ 3	საშ	საშ 3
0	400	1350	200	-	-	-	2,270	5,03	5,03	34,76	34,76
1				F <sub>6</sub>	0,77	1,0	2,262	5,03	-	35,42	-
2				F <sub>6</sub>	1,54	2,0	2,268	5,27	-	34,85	-
3				F <sub>6</sub>	3,07	4,0	2,253	4,90	5,06	33,55	34,60
4	400	1350	200	F <sub>12</sub>	0,77	1,0	2,248	4,80	-	35,65	-
5				F <sub>12</sub>	1,54	2,0	2,243	5,50	-	35,97	-
6				F <sub>12</sub>	3,07	4,0	2,250	4,80	5,03	32,70	34,80
7	400	1350	200	F <sub>18</sub>	0,77	1,0	2,211	5,38	-	35,80	-
8				F <sub>18</sub>	1,54	2,0	2,261	5,03	-	35,40	-
9				F <sub>18</sub>	3,07	4,0	2,297	5,62	5,34	36,80	36,00
10	400	1350	200	F <sub>24</sub>	0,77	1,0	2,247	5,38	-	36,30	-
11				F <sub>24</sub>	1,54	2,0	2,258	5,62	-	35,97	-
12				F <sub>24</sub>	3,07	4,0	2,227	5,50	5,50	36,33	36,23

აღმოჩნდა, რომ ბაზალტის ფიბრის შერევა ამცირებს ცემენტის ქვის მოცულობით სიმკვრივეს; მოც. სიმკვრივის კლების მიუხედავად ცემენტის ქვის მექანიკური სიმტკიცე ღუნვაზე იზრდება 12- დან 9 შემთხვევაში, ხოლო მექ. სიმტკიცე კუმშვაზე მატულობა 12-დან 10 შემთხვევაში.

მექანიკური სიმტკიცე ღუნვა-კუმშვაზე მატულობს ბაზალტის ფიბრის სიგრძის მატებასთან ერთად და ყველაზე კარგად სიმტკიცეს აუმჯობესებს F<sub>24</sub> ფიბრა.

ბაზალტის ფიბრის რაოდენობის და ვიბრირების გავლენა დულაბის თვისებებზე

№	დულაბის შედგენილობა						სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>		სიმტკიცის ზღვარი, კგ/მ <sup>2</sup>			
	ცემენტი CEMI	ქვიშა 0-5 მმ	წყალი	ბაზალტის ფიბრა			ნიმ.	საშ.	ღუნვაზე		კუმშვაზე	
				სიგრძე F მმ	% ცემენტის წონის	კგ/მ <sup>3</sup>			ნიმუში	ნიმუში	შენიშვნა	
0	520	1760	260	-	-	-	1,79	2,268	5,03	5,03	34,76	
1	520	1760	260	F <sub>24</sub>	0,77	4,0	1,74	2,266	5,00	-	33,49	
2	520	1760	260	F <sub>24</sub>	1,54	8,0	1,735	2,259	5,40	-	34,68	
3	520	1760	260	F <sub>24</sub>	3,84	20,0	1,755	2,285	5,2		32,38	ფიბრა გარეთ დარჩა
4	520	1760	260	F <sub>24</sub>	7,68	40,0	1,755	2,311	9,89	-	34,60	
5	520	1760	260	F <sub>24</sub>	15,36	80,0	1,705	2,220	11,85	-	25,10	ცუდად
6	520	1760	260	F <sub>24</sub>	19,20	100,0	1,655	2,155	9,31		15,62	დაყალიბდა
7	520	1760	385	F <sub>12</sub>	15,3	80	1,645	2,145	5,91	-	14,48	ვიბრირება 3 წთ
8	520	1760	385	F <sub>24</sub>	15,36	80	1,755	2,285	8,72	-	16,76	ვიბრირება 3 წთ
9	520	1760	385	F <sub>12</sub>	15,36	80	1,620	2,10	4,51	-	10,86	უვიბრაციო

ექსპერიმენტებმა დაგვანახა, რომ 20კგ/მ<sup>3</sup>-ის რაოდენობის შემთხვევაში „ველარ ეტევა“ ბეტონის მოცულობაში და რჩება ზედაპირზე „ჯეჯილივით“, ანუ დულაბის ე.წ. „ფიბროტევადობა“ (ახალი ტერმინია) 20კგ/მ<sup>3</sup>-ზე ნაკლებია. ფიბრის რაოდენობა კი არის ცემენტის მასის 3,8%. აქედან გამომდინარე,

ბეტონებში ფიბრის მამოდიფიცირებულ რაოდენობად შეიძლება მივიჩნიოთ 1%-ცემენტის მასიდან (ახალი მიგნება); იმ შემთხვევაში, თუ ფიბრით მოდიფიცირებული ბეტონი არ განიცდის ვიბრირებას, მისი სიმტკიცე, ვიბრირებულთან შედარებით 24-25%-ით ნაკლებია.

**2.4. ახალგაზრდა ბეტონის გამოზრდა - მოვლა ფორიანობის და სიცარიელების შემცირების ხელშემწყობი ღონისძიებების გამოყენებით**

ახალგაზრდა ბეტონის გამოზრდა - მოვლაზე სხვა ტექნოლოგიურ ფაქტორებთან ერთად მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ბეტონის ფორიანობა, სიცარიელების მოცულობა ანუ მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები: სიმტკიცე, ხანმედეგობა, ყინვამედეგობა, ბზარმედეგობა. არის მაგალითები, როდესაც ბეტონის კლასი, მისი შემადგენლობა, პარამეტრები იყო

უზრუნველყოფილი და შეესაბამებოდა ნორმატულ და საპროექტო დოკუმენტებს, ხოლო გამყარებული ბეტონი არ აღმოჩნდა არც ხანმედეგი და არც ყინვამედეგი. ეს აიხსნება იმით, რომ ბეტონის სამუშაოების ჩატარების დროს არ იყო უზრუნველყოფილი ახალგაზრდა, ახალჩაწყობილი და გამყარებადი ბეტონის დროული და საჭირო მოვლა.

ახლადჩაწყობილი ბეტონის ზედაპირი დროულად უნდა იყოს დაფარული, რათა გამყარების და ჰიდრატაციის პერიოდში შექმნილი ჰქონდეს ნორმალური ტემპერატურული და ტენიანობის პირობები. ახალგაზრდა ბეტონი ამ შემთხვევაში დაცულია ატმოსფერული ნალექების, მზის და ქარის პირდაპირი ზემოქმედებისაგან. დროული მოვლა ბეტონის გამყარების დაწყებამდე არის აუცილებელი ღონისძიება, რომელიც იცავს ბეტონს გადაშრობისაგან და გადამეტენიანობისაგან, გამორიცხავს ბეტონის ზედაპირული ბზარების წარმოქმნას და უზრუნველყოფს მის ხანმედეგობას და ყინვამედეგობას. ასეთ პირობებში ბეტონის გამყარება მიმდინარეობს გაჯერებული ჰაერის გარემოში. ბეტონისათვის ნორმალური ტემპერატურული და ტენიანი პირობების შენარჩუნება აუცილებელია მის გამყარების დროს. ამისათვის ბეტონის ზედაპირი უნდა დაიფაროს ქვიშის ფენით, ან ჯვალთით, ან პარუსინით ან საერთოდ სხვა ტენშემცველი მასალებით.

ახალგაზრდა ბეტონის გამოზრდა-მოვლის ყველა ღონისძიების დროული ჩატარება უზრუნველყოფს გამყარებული ბეტონის ხარისხს და მაღალი სიმტკიცის, ნაკლებად ფორიანი, ბზარმედეგი, ხანმედეგი, ყინვამედეგი ბეტონის მიღებას.

ყინვამედეგობის გაზრდის მიზნით ფორების და სიცარიელების შექმნა შესაძლებელია სპეციალური ჰაერჩამთრევი დანამატების გამოყენებით, რომლებიც ქმნიან ბეტონში ფორების სარეზერვო მოცულობას. ეს სარეზერვო მოცულობა არ ივსება ჩვეულებრივ პირობებში ბეტონის წყლით გაჯერებისას, მაგრამ წყალშედწევადია მის გაყინვისას წარმოქმნილ წნევის პირობებში. ჩათრეული ჰაერის ოპტიმალური მოცულობა 4-6 % -ია. ამ გზით წარმოქმნილი ფორების ზომა უნდა იყოს მინიმალური, რომ არ გამოიწვიოს ბეტონის სიმტკიცის შემცირება.

ლაბორატორიული კვლევის დროს გათვალისწინებული იყო ამ საკითხის თეორია, ამიტომ ბეტონის ნიმუშების მოვლა ხორციელდებოდა ამ ღონისძიებების ჩატარებით ე.ი. სხვა პარაგრაფებში შესასრულებლად დამზადებული ნიმუშების მოვლა-დახანება მიმდინარეობდა შესაბამისი მოთხოვნების შესრულებით, რათა შემცირებულიყო ფორებისა და სიცარიელების მოცულობა.

## 2.5. ჰიდროთერმოდამუშავების თანამედროვე მეთოდების ძიება

ბეტონის სტრუქტურის ჩამოყალიბების და მისი შემდგომი გამყარების პროცესში იცვლება როგორც ბეტონის სიმტკიცე, ასევე მისი სხვა თვისებები: ფორიანობა, ელექტროგამტარობა, სითბოს გამოყოფა და სხვა. ზოგადად ბეტონის სიმტკიცე გამოისახება შემდეგნაირად:  $R=R_0+\Delta R$ ,

სადაც  $R_0$  - ბეტონის სტრუქტურის საწყისი სიმტკიცეა;

$\Delta R = f(t; T)$  - ბეტონის სიმტკიცე, რომელსაც ის იძენს შემდგომი გამყარების პროცესში.

Δ R-ის სიდიდე დამოკიდებულია დროზე და გამყარების ტემპერატურაზე.

ბეტონის სტრუქტურის ფორმირების პროცესებს თან ახლავს მოცულობითი ცვლილებები: ბეტონის გამყარების პირობების მიხედვით შეიძლება მისი მოცულობა გაიზარდოს ან შემცირდეს. ბეტონის თვისებების ცვლილება დაკავშირებულია ძირითადად ცემენტის ჰიდრატაციასთან, რომელიც არის წამყვანი და მისი განვითარება განაპირობებს ბეტონის სტრუქტურის და თვისებების ცვლილებას. სხვა ფაქტორები (ბეტონის შემადგენლობა, შემცვლებების თვისებები, გამყარების პირობები და სხვა), აგრეთვე ახდენენ გავლენას ბეტონის სტრუქტურაზე და თვისებებზე, მაგრამ მათი გავლენა ბეტონის თვისების ცვლილების კინეტიკაზე არის მეორადი და განპირობებულია მათი გავლენით ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესებზე. ბეტონის თვისებების თანდათანობითი მიღევა და მათი სტაბილიზაცია დროში აიხსნება ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესის დროში მიღევით.

ტემპერატურის მომატება აჩქარებს ბეტონის გამყარების პროცესს, განსაკუთრებით ტენიან პირობებში.

საერთოდ, ბეტონის გამყარების დასაჩქარებლად გამოიყენება სხვადასხვა ტექნოლოგიური მეთოდები: მექანიკური, ქიმიური და და სითბური.

როგორც ცნობილია, გახურება აჩქარებს ქიმიურ რეაქციებს, კერძოდ, ბეტონის ტემპერატურის გაზრდა გაააქტიურებს წყლის და ცემენტის მინერალების ურთიერთქმედებას და შესაბამისად აჩქარებს ბეტონის გამყარებას. საინტერესოა, რომ ცემენტის ჰიდრატაციის შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზური შემადგენლობა პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული გამყარების ტემპერატურაზე.

ბეტონის სიმტკიცის ზრდა გახურების დროს აიწერება შემდეგი ლოგარიფმული დამოკიდებულებით:

$$R=A(\lg t - \lg t_0),$$

სადაც A - პარამეტრია, რომელიც ახასიათებს გამოყენებულ ცემენტს მოცემულ გაორთქვლის რეჟიმის დროს (მპა); t - სითბური დამუშავების დრო (საათი), t<sub>0</sub> - გამყარების ინდუქციური პერიოდი (საათი), მყარი სტრუქტურის წარმოქმნის წინა პერიოდი.

ჰიდროდამუშავების ყველაზე გავრცელებული სახეა ბეტონის გაორთქვლა. ბეტონის სიმტკიცეს გაორთქვლის შემდეგ განსაზღვრავს გაორთქვლის რეჟიმი, ცემენტის სახე და აქტივობა, ბეტონის შედგენილობა.

მეტად მნიშვნელოვანია ჰიდროთერმოდამუშავების ოპტიმალური რეჟიმის გამოყენება, რომლის დარღვევამ შეიძლება გამოიწვიოს ბეტონის თვისებების მკვეთრი გაუარესება, ზზარების და სხვა დეფექტების წარმოქმნა. რაც უფრო მტკიცეა ბეტონის სტრუქტურა, მით უფრო უკეთესად გაუწევს წინააღმდეგობას შიგა ძაბვებს, რომელიც ჩნდება გახურების დროს, უპირველესად წყლის და

აირისებრი ფაზის გახურებისას. საერთოდ ბეტონის გახურება იწვევს მის გაფართოვებას, ფორიანობის გაზრდას, მიკრო ბზარების და სხვა დეფექტების წარმოქმნას.

ამიტომა მნიშვნელოვანია ჰიდროთერმოდამუშავების ოპტიმალური რეჟიმის შემუშავება და მისი დაცვა.

ჰიდროთერმოდამუშავების დროს ბეტონის ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სითბომასმომოცვლის პროცესი. ამ პირობებში ადგილი აქვს ტემპერატურის და ტენიანობის გრადიენტების წარმოქმნას. მათი გავლენით ტენი და აირადი ფაზა ბეტონში გადაადგილდებიან, რითაც იწვევენ სტრუქტურის გაფხვიერებას. იმ შემთხვევაში, როდესაც თბოდამუშავების რეჟიმი არ არის ოპტიმალური, შესაძლოა წყლის აორთქლება ბეტონიდან, რაც შეანელებს ცემენტის ჰიდრატაციას და წარმოქმნის გამჭოლ კაპილარებს. გასაგებია, რომ ამის შედეგად მკვეთრად იზრდება ბეტონის შეღწევადობა და უარესდება მისი ხანმდეგობა. ამის გათვალისწინებით ყურადღება გავამახვილეთ იმ ხერხებზე, რომლებიც ჰიდროთერმოდამუშავების დროს ბეტონში დესტრუქციულ პროცესების მინიმიზაციას შეუწყობდნენ ხელს.

მარტივი და ეფექტურია ბეტონის წინასწარი დაყოვნება, რადგან ხელს უწყობს კონტრაქციური მოვლენების განვითარებას და ბეტონის საწყისი „კრიტიკული“ სიმტკიცის წარმოქმნას. ეს კი ზრდის ბეტონის წინაღობადობის უნარს შინაგანი დამაბულობების მიმართ, რომლებიც ვითარდება გახურების დროს, და მათ შემცირებას.

ბეტონში ჭარბი წნევის შემცირების, შიგა და გარე თბომასმომოცვლის რეგულირების მიღწევა შეიძლება, თუ ჰიდროთერმოდამუშავება ხორციელდება ცვლადი ფარდობითი ტენიანობის პირობებში.

ერთ-ერთი ხერხი დესტრუქციული პროცესების შემცირებისა არის ბეტონის ნარევის წინასწარი ელექტრო ან ორთქლით გახურება, რადგან ისპობა ტემპერატურის და ტენის გრადიენტი ნაკეთობის კვეთში და იზრდება ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესები.

სასარგებლოა, თუ გახურების ტემპერატურა არ აღემატება 80° C. ამ პირობებში მცირდება ბეტონის შემადგენლობის გაფართოება. როგორც ვიცით, აირადი ფაზის მოცულობა მკვეთრად იზრდება 80°C-ის ზემოთ. ეს კი შესაბამისად შეამცირებს ბეტონში ჭარბ წნევას და შიგა დამაბულობების წარმოქმნას.

თბოდამუშავება დახშულ ფორმებში შეზღუდავს ბეტონის თავისუფალ გაფართოვებას და ადგილი ექნება გარე მასმომოცვლის აცილებას. გაორთქვლა ტემპერატურის მომატებით პროგრესულად მზარდ ტემპში ან საფეხუროვანი გრაფიკით ისე, რომ მოცემულ დროისათვის შიგა ძაბვები არ აღემატებოდეს ბეტონის სიმტკიცეს, უზრუნველყოფს ბეტონში წარმოქმნილი ჭარბი წნევის კომპენსირებას ტემპერატურული შიგამოცულობით ვაკუუმით. შეიძლება ითქვას, რომ ბეტონის ტემპერატურული დეფორმაციები არ აღემატება გამყარებული ბეტონის ტემპერატურულ დეფორმაციებს. ეს კი თითქმის გამორიცხავს დესტრუქციული პროცესების განვითარებას.



ჰიდროთერმოდამუშავება ავტოკლავებში ან სადაწნეო გასაორთქლ კამერებში, რომლებშიც ვითარდება ჭარბი წნევა და იგი აწონასწორებს ბეტონში წარმოქმნილ ჭარბ წნევას, ამცირებს შიგა მასმომოცვლას, ამკვრივებს ბეტონის სტრუქტურას, რაც ამცირებს მის გაფართოებას. როგორც ვხედავთ ეს ყველაფერი ხელს შეუშლის დესტრუქციული პროცესების განვითარებას.

ზემოთ თქმულის გათვალისწინებით, ჩატარებულია კვლევა ჰიდროთერმული დამუშავების სხვადასხვა რეჟიმის და გამყარების პირობების გავლენისა ბეტონის სიმტკიცეზე. ჩასხმული იყო ბეტონის ნიმუშების VI სერია. სერიების ნიმუშები არ განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან შემადგენლობით; იცვლებოდა ჰიდროთერმოდამუშავების მაქსიმალური ტემპერატურა და აგრეთვე ნაწილი ნიმუშების თბოდამუშავებამდე 2 საათი მყარდებოდნენ ტენიან გარემოში, ხოლო ნაწილი ნიმუშებისა დაყალიბების შემდეგ დაყოვნების გარეშე განიცდიდნენ თბოდამუშავებას. ნიმუშების ნაწილი კი მყარდებოდა ტენიან გარემოში. მეტად მნიშვნელოვანია, თუ როდის იწყება ბეტონის თერმოდამუშავება. როდესაც გაორთქვლა იწყება უშუალოდ დაყალიბების შემდეგ და ბეტონის სტრუქტურის სიმტკიცე მცირეა და ვერ უწევს წინააღმდეგობას ბეტონის კომპონენტების გაფართოვებას, ამ შემთხვევაში მის სტრუქტურაში ძლიერ ცვლილებებს აქვს ადგილი, ნაწილობრივ დაშლასაც. თუ კი თერმოდამუშავება იწყება დაყოვნების დაყოვნების შემდეგ, როდესაც ბეტონს გააჩნია გარკვეული სიმტკიცე, ტემპერატურული დეფორმაციები მკვეთრად მცირდება და ბეტონის ხარისხი უმჯობესდება. როგორც ვიცით, ბეტონის გახურება იწვევს მის გაფართოვებას. ამ დროს ნაკლებ გაფართოვებას განიცდიან ცემენტი, ქვიშა და ღორღი, რადგან მათი ტემპერატურული გაფართოვების კოეფიციენტი ბევრად ნაკლებია წყლის და ბეტონის შემადგენელ აიროვანი ფაზის მოცულობით გაფართოვების კოეფიციენტზე.

ჭარბი შიგა წნევის ანუ შიგა ძაბვები ნაკლებია, თუ ტემპერატურის მატება თერმოდამუშავების დროს მიმდინარეობს ნელა. ძაბვები ბეტონში წარმოიქმნება თერმოდამუშავების დამთავრების შემდეგაც, გაცივებისას, რადგან ბეტონის სტრუქტურა ეწინააღმდეგება მის ტემპერატურულ შეკუმშვას.

საუკეთესო მაჩვენებლების მისაღწევად აუცილებელია, რომ ბეტონის სტრუქტურის სიმტკიცე თერმოდამუშავების პროცესში აღემატებოდეს შიგა ძაბვებს.

ბეტონის ნიმუშების გამოცდას წარმოებდა გაორთქვლის მეორე დღეს, 7 დღის და 28 დღის შემდეგ. მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში 38-ში.

გაორთქლილი ბეტონის ნიმუშების გამოცდის შედეგები

შემადგენლობა ტ/მ <sup>3</sup>					კონუსის ჯდენა სმ	გამყარების პირობები	თერმოდამუშავებ ის რეჟიმი სთ	1 დღე		7 დღე		28 დღე	
ცემენტი	ქვიშა	ლორღი	წყალი	პლასტ.				მასა კგ	სიმტკიცე მპა	მასა კგ	სიმტკიცე მპა	მასა კგ	სიმტკიცე მპა
510	800	880	153	5,1	17	ჰიდროთერმოდამუ შავება 2 საათიანი დაყოვნების შემდეგ	2-3-3 t <sub>max</sub> = 80°C	2.415	48.5	2.410	53.6	2.408	60.0
510	800	880	153	5.1	17	ჰიდროთერმოდამ უშავება დაყოვნებისგარეშე		2.355	48.0	2.342	46.5	2.342	55.5
510	800	880	153	5.1	17	ტენიანი გარემო t=20°C φ =95%	-	2.410	44.3 8	2.405	50.5	2.403	67.8
510	800	880	153	5.1	17	ჰიდროთერმოდამუ შავება 2 საათიანი დაყოვნების შემდეგ	2-3-3 t <sub>max</sub> = 60°C	2.443	57.6	2.442	72.5	2.438	82.5
510	800	880	153	5.1	17	ჰიდროთერმოდამუ შავება დაყოვნების გარეშე		2.464	58.0	2.460	57.3	2.462	68.2

510	800	880	153	5.1	17	ტენიანი გარემო t=20°C φ=95%	-	2.460	51.3	2.460	59.5	2.455	77.6
510	800	880	153	5.1	17	ჰიდროთერმოდამუშავება 2 საათიანი დაყოვნების შემდეგ	2-3-3 t <sub>max</sub> = 40°C	2.468	50.0	2.468	68.0	2.460	74.0
510	800	880	153	5.1	17	ჰიდროთერმოდამუ შავება დაყოვნების გარეშე		2.450	48.5	2.540	62.4	2.450	70.0
510	800	880	153	5.1	17	ტენიანი გარემო t=20°C φ=95%	-	2.452	40.5	2.465	63.5	2.460	60.5

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ლაბორატორიაში შემოტანილი იყო Sika ფირმის უახლესი მეოთხე თაობის დანამატები Sika Viscocrete Hi-Tech 66, Hi-Tech 1169, Hi-Tech 1451 და Hi-Tech 1237. ამ დანამატების გამოყენებით დამზადდა ბეტონის ნიმუშების VI სერია, რომელთა შემადგენლობა იყო ისეთივე, როგორც პირველ 6 სერიაში (ცხრილი №19). ნიმუშების შემადგენლობაში იცვლებოდა პლასტიფიკატორი, და ბოლო მე-12 სერიაში გამოყენებულ იქნა კასპის ქარხნის ცემენტი CEM I 42.5(N) D-0.

ჰიდროთერმოდამუშავება მიმდინარეობდა 80°C-ზე.



სურ. №7. ბეტონის ნიმუშების გასაორთქლი კამერა.

2.6. ჩატარებულ კვლევების საფუძველზე შერჩეული: მდინარეული წარმოშობის შემვსებებით, პლასტიფიკატორით და მოდიფიცირებული არამადნეული მინერალური წიაღისეულით, ახალი თაობის მაღალი სიმტკიცის C 50/60 – C100/115 კლასის ბეტონის ოპტიმალური შემადგენლობების შედგენა და ტესტირება.

2.6.1. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება.

ზემოთ მოყვანილი მონაცემების საფუძველზე განხორციელდა B40 კლასის ბეტონის შედგენილობის დაპროექტება და დამზადებულ იქნა ე.წ. საბაზო ნიმუშები (6 ცალი კუბი ზომებით 150X150X150 მმ) ყოველგვარი დანამატის გარეშე; წყალცემენტის ფარდობა ამ შემთხვევაში შეადგენდა  $f/c=0,5$ ;

შედარების მიზნით დაპროექტებულ იქნა მეორე შედგენილობა, სადაც მაპლასტიფიცირებელ დანამატად გამოყენებულ იქნა Sika-ს ფირმის პლასტიფიკატორი Viscocrete SF-18 (1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან), რამაც საშუალება მოგვცა წყალცემენტის ფარდობა შეგვემცირებინა  $f/c=0,34$ -მდე; ამ სერიაშიც დამზადებულ იქნა 6 კუბის ფორმის ნიმუში, ზომებით 150X150X150 მმ; დაპროექტებულ იქნა ასევე ბეტონის მესამე შედგენილობაც, სადაც ცემენტის ხარჯი შემცირებულ იქნა 10%-ით, ბეტონის შედგენილობაში შეყვანილ იქნა თიხა-ფიქლის თერმოდაამუშავების შედეგად მიღებული წვრილდისპერსული მამოდიფიცირებელი დანამატი ცემენტის მასის 10%-ის ოდენობით; ბეტონის შემადგენელი სხვა კომპონენტების

ცვლილება არ განხორციელებულა. ნიმუშები გამოცდილი იქნა 7 და 28 დღის ასაკში. ნიმუშების გამოცდის გასაშუალოებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში №39.

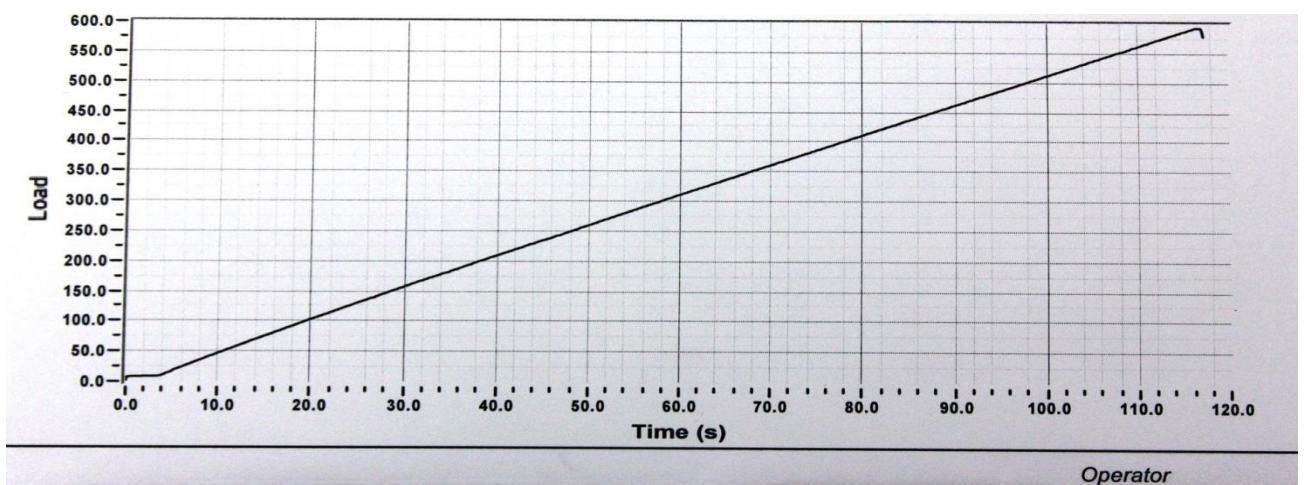
მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება.

ცხრილი №39

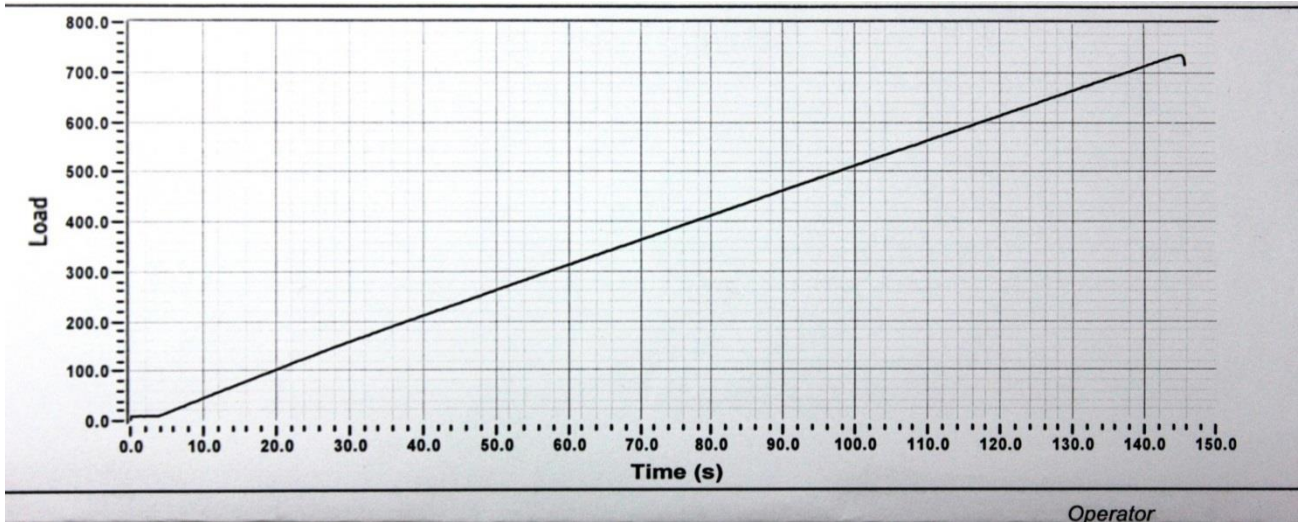
მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება

№	მიკროშემვსების სახე	ბეტონის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ლორღი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემვსებები	პლასტიფიკატორი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	488	815	838	-	-	244	2,34	2,35	41,3	53,9
2	-	488	845	858	-	4,88	166	2,31	2,32	57,7	70,1
3	თიხა-ფიქალი	438	845	858	50	4,88	166	2,32	2,33	59,4	72,8

როგორც N10 ცხრილიდან ჩანს, ბეტონის მეორე შედგენილობის (მაპლასტიფიცირებელ დანამატად გამოყენებული იქნა Sika Viscocrete SF-18 - 1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან, რამაც შეგვამღებინა წ/ც-ის 0,34-მდე შემცირება) ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობა (70,1 მპა) დაახლოებით 30%-ით აღემატება საბაზო ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობას (53,9 მპა), ხოლო მინერალური მიკროშემვსების თიხა-ფიქლის ცემენტის მასიდან 10%-ის ოდენობით დამატებამ, ცემენტის ხარჯის 10%-ით შემცირების შემთხვევაში, მიგვალწევინა ბეტონის სიმტკიცის კიდევ უფრო მნიშვნელოვან მატებას 72,8- მპა.



ნახ. 25. თიხა -ფიქალი მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 7 დღის ასაკში



ნახ. 26. თიხა-ფიქალით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 28 დღის ასაკში

2.6.2. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება:

ზემოთ მოყვანილი ბეტონის შედგენილობების ანალოგიურად დაპროექტდა ბეტონის შედგენილობები ჩვენს მიერ გამოკვლეულ მტკვრის აუზის შემვსებებზე. ნიმუშები გამოცდილი იქნა 7 და 28 დღის ასაკში. ნიმუშების გამოცდის გასაშუალოებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში №40.

ცხრილი №40

მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება

№	მიკროშემვსების სახე	ბეტონის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ღორღი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემვსებები	პლასტიფიკატორი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	496	812	832	-	-	248	2,34	2,35	40,8	52,8
2	-	496	836	847	-	4,96	169	2,32	2,33	55,4	68,7
3	თიხა-ფიქალი	446	836	847	50	4,96	169	2,33	2,33	58,0	71,5

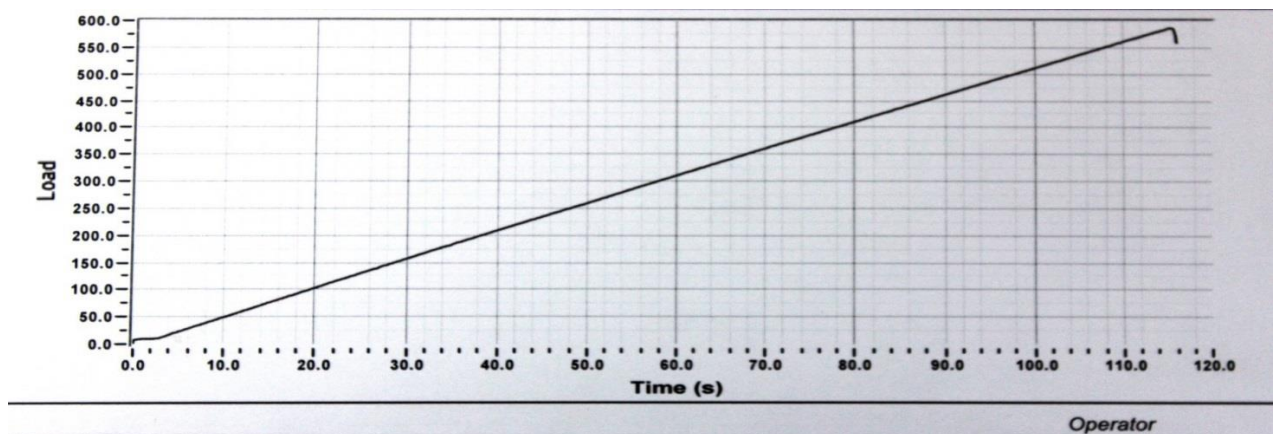
ცხრილი 40-დან ჩანს, რომ საბაზო ნიმუშებში, მტკვრის აუზის შემვსებების ხრამის აუზის შემვსებებთან შედარებით დაბალი ხარისხის კომპენსირება განხორციელდა ცემენტის ხარჯის გაზრდით, თუმცა შედეგები ოდნავ დაბალია ცხრილ N39-ში მოყვანილ მონაცემებთან შედარებით. ამ შემთხვევაშიც, ბეტონის მეორე შედგენილობის (მაკლასტიფიცირებელ დანამატად გამოყენებული იქნა Sika Viscocrete SF-18 - 1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან, რამაც შეგვამღებინა წ/ც-ის 0,34-მდე შემცირება) ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობა (68,7 მპა) დაახლოებით 30%-ით აღემატება საბაზო ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობას (52,8 მპა), ხოლო მინერალური მიკროშემვსების თიხა-ფიქლის ცემენტის მასიდან 10%-ის ოდენობით დამატებამ, ცემენტის ხარჯის 10%-ით შემცირების შემთხვევაში, მიგვალწევინა ბეტონის სიმტკიცის კიდევ უფრო მნიშვნელოვან მატებას 71,5- მპა (35% საბაზო ნიმუშებთან შედარებით). ანალოგიური ქმედებები იქნა განხორციელებული ცეოლითური ტუფების და ბენტონიტური თიხების შემთხვევაშიც. მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილებში.

**2.6.3. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება**

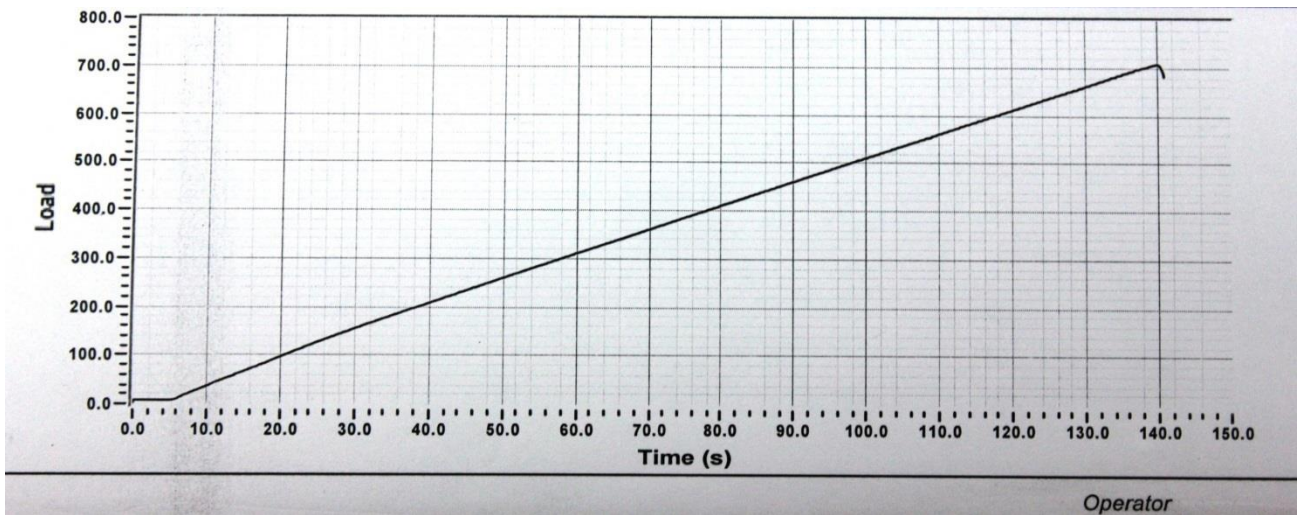
ცხრილი 41

მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება

№	მიკროშემვსების სახე	ბეტონის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ღორღი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემვსები	პლასტიკი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	488	815	838	-	-	244	2,34	2,35	41,3	53,9
2	-	488	845	858	-	4,88	166	2,31	2,32	57,7	70,1
3	ცეოლითი	438	845	858	50	4,88	166	2,32	2,33	58,4	71,3



ნახ. 27. ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 7 დღის ასაკში



ნახ. 28. ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 28 დღის ასაკში

2.6.4. მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება.

ცხრილი №42

მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება.

№	მიკროშემვსების სახე	ბეტონის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ღორღი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემვსებები	პლასტიფიკატორი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	496	812	832	-	-	248	2,34	2,35	40,8	52,8
2	-	496	836	847	-	4,96	169	2,32	2,33	55,4	68,7
3	ცეოლითი	446	836	847	50	4,96	169	2,31	2,33	57,7	69,9

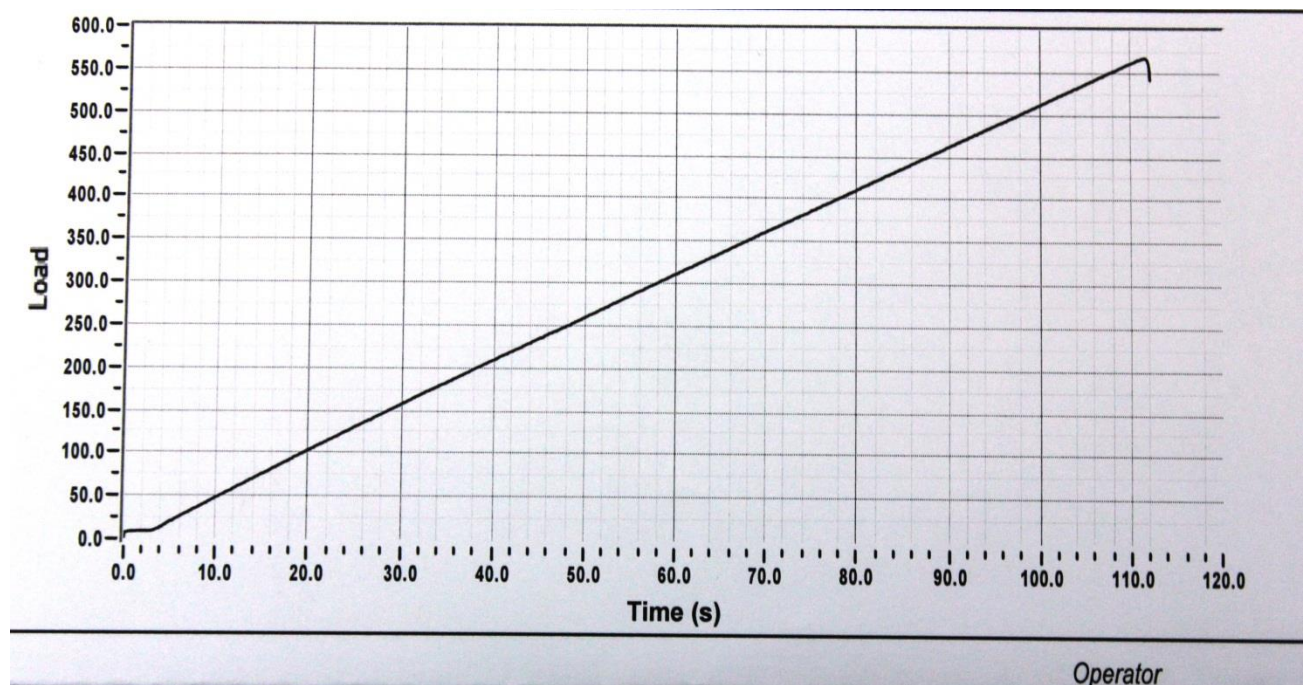


2.6.5. მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება.

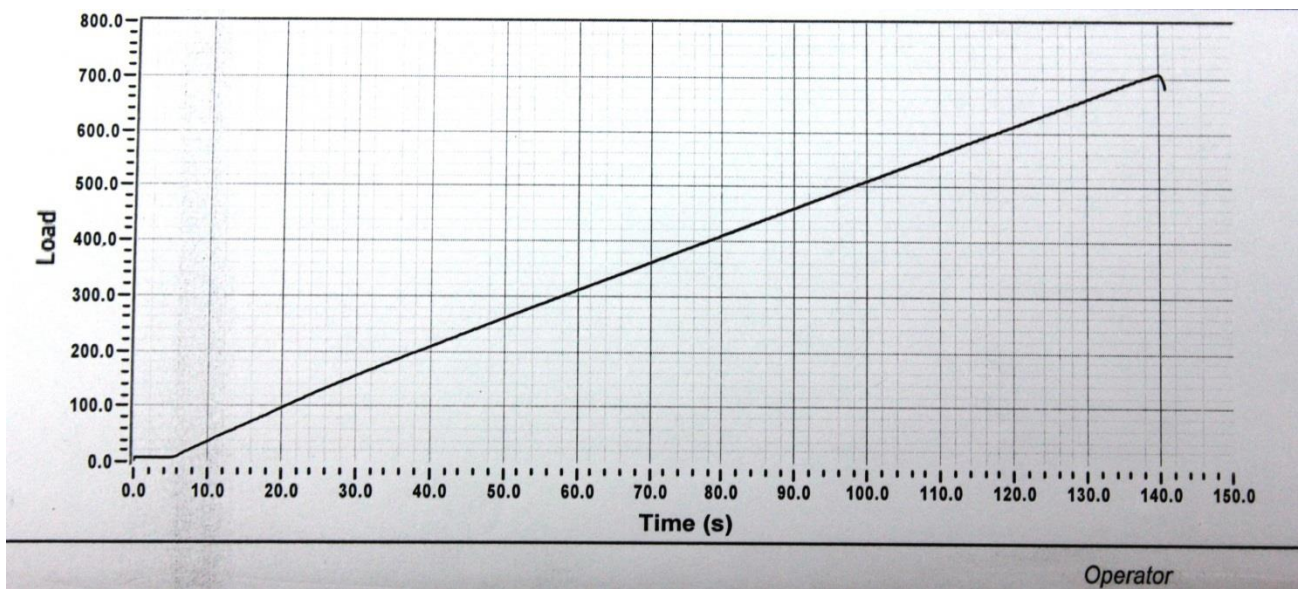
ცხრილი 43

მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება.

№	მიკროშემვსებ ის სახე	ბეტონის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ლორღი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშე მსებში	პლასტი ფიკატო რი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	488	815	838	-	-	244	2,34	2,35	41,3	53,9
2	-	488	845	858	-	4,88	166	2,31	2,32	57,7	70,1
3	ბენტონიტი	438	845	858	50	4,88	166	2,32	2,33	58,9	71,2



ნახ. 29. ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 7 დღის ასაკში



ნახ. 30 ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკი 28 დღის ასაკში

2.6.6. მდინარე მტკვრის აუზის შემგსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება:

ცხრილი №44

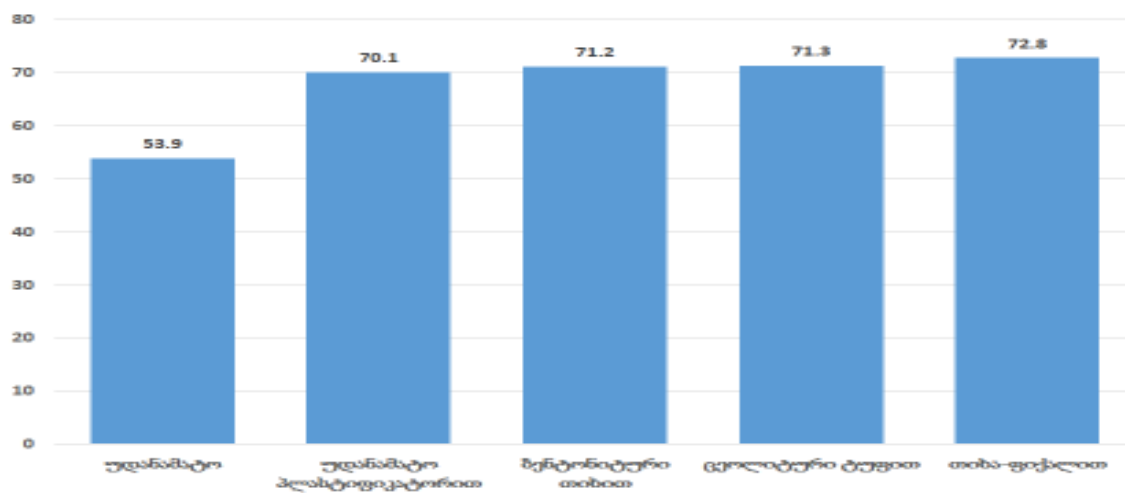
მდინარე მტკვრის აუზის შემგსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შედგენილობა და ტესტირება

№	მიკროშემგსების სახე	ბეტონის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ლორდი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემგსი	პლასტიფიკატორი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	496	812	832	-	-	248	2,34	2,35	40,8	52,8
2	-	496	836	847	-	4,96	169	2,32	2,33	55,4	68,7
3	ცეოლითი	446	836	847	50	4,96	169	2,31	2,33	58,5	70,8



სურ. №8 ბეტონისა და ცემენტის ნიმუშების დასაყალიბებელი დანადგარები.

მდინარე ხრამის შემესვრებზე დამზადებული ბეტონების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები (მპა)



ნახ.31. მდ. ხრამის შემესვრებზე დამზადებული ბეტონების კუმშვაზე გამოცდის დიაგრამა

## 2.7. ნიმუშების გამოცდა წყალუქონალობაზე

15X15X15სმ ზომის კუბის ფორმის ნიმუშების წყალშეუღწევადობის დადგენის მიზნით გამოცდილ იქნა წყალშეუღწევადობის დანადგარზე, თითოეული შედგენილობისათვის 3-3 ნიმუში. ნიმუშები გამოიცადა წყალშეუღწევადობაზე GOCT 12730.5-84-ის („ბეტონები. წყალშეუღწევადობის განსაზღვრის მეთოდები“) პუნქტი 2-ის მიხედვით. წყლის წნევის აწევა ამ სტანდარტის მიხედვით, ყოველ 16 საათში ხდებოდა 0,2 მპა-ით; საბოლოო შედეგის დაფიქსირება ხდებოდა ზედაპირზე წყლის გამოჟონვის მიხედვით. გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში 45.



სურ. №9 ბეტონის ნიმუშების წყალშეუღწევადობის განმსაზღვრელი დანადგარი

## 2.8. ნიმუშების გამოცდა ყინვამედეგობაზე

ყინვამედეგობაზე გამოცდა ჩატარდა GOCT 10060.0-95-ის („ბეტონები, ყინვამედეგობის განსაზღვრის მეთოდები. ძირითადი მოთხოვნები“) და GOCT 10060.1-95-ის („ბეტონები, ყინვამედეგობის განსაზღვრის საბაზო მეთოდი“) მიხედვით. ნიმუშების გაყინვა-გაღვლის ციკლების გავლის შემდეგ ტყუპისცალი ნიმუშები გამოცდილ იქნენ კუმშვაზე ნორმატიული

დოკუმენტის EN 12390-3 „ბეტონის კუმშვაზე გამოცდა“ გათვალისწინებით, წნეხ CONTROLS ADVANTEST9 50-C9842-ზე.

ГОСТ 10060.1 –95 - ის („ბეტონები. ყინვამედეგობის განსაზღვრის საბაზო მეთოდი“) პუნქტ 7.1-ის მიხედვით ყინვამედეგობის მარკად მიჩნეულია გაყინვა-გალხობის ციკლების ის რაოდენობა, რომლის შემდეგაც ყინვამედეგობის ციკლებგამოვლილი ნიმუშების კუმშვაზე სიმტკიცე 5%-ით შემცირდება საბაზო ნიმუშების სიმტკიცეებთან შედარებით. დანამატებიანმა ნიმუშებმა გაუძლეს ყინვამედეგობის 600 ციკლს.



სურ. №10 ნიმუშების ყინვამედეგობაზე გამოსაცდელი დანადგარი.

გამოკვლეული მაღალი სიმტკიცის ბეტონის ნიმუშების შედგენილობა და მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

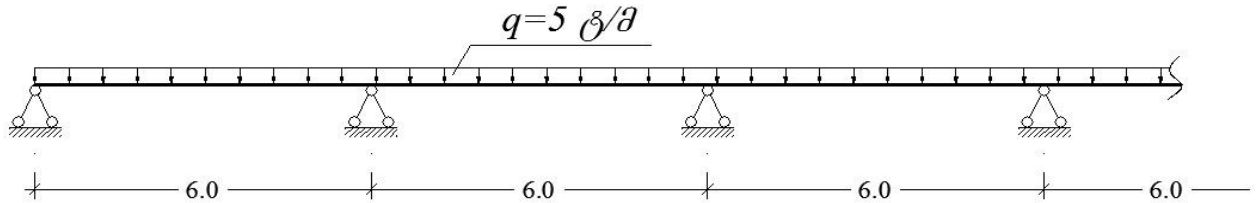
№	მიკროშემცობის სახე	ბეტონის შემადგენლობა კგ/მ <sup>3</sup>						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	სიმტკიცე ლუნვაზე კუმშვისას, მპა	წყალუფონადობა	ყინვაემდეგობა
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ღორღი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემცობები	პლასტიფიკატორი	წყალი					
1	-	488	815	838	-	-	244	2,35	53,9	6.8	12	400
2	-	488	845	858	-	4,88	166	2,32	70,1	7.9	16	500
3	თიხა-ფიქალი	438	845	858	50	4,88	166	2,33	72,8	8.5	18	600
	ცეოლითური ტუფი	438	845	858	50	4,88	166	2,33	71,3	8.3	18	600
	ბენტონიტი	438	845	858	50	4,88	166	2,33	71,2	8.1	18	600

**2.9. მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ტექნიკურ - ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასება**

მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მშენებლობაში გამოყენება საშუალებას იძლევა შემცირდეს რკინაბეტონში გამოყენებული მასალების ხარჯი, შემცირდეს კონსტრუქციების წონა და ღირებულება. ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების შემთხვევაში კი შეამციროს მათი დამზადების შრომატევადობა. სხვადასხვა მონაცემებით მზიდი კონსტრუქციული ელემენტის წონა შეიძლება შემცირდეს, 300 მარკის ბეტონის ნაცვლად 600 მარკის ბეტონის გამოყენების შემთხვევაში 20-30%-ით. შესაბამისად კონსტრუქციის ღირებულება მცირდება 10%-ით. მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ტექნიკურ - ეკონომიური ეფექტურობის შესაფასებლად ჩატარებულია ორი გაანგარიშება: უჭრი კოჭის მარტივი გაანგარიშება და უნივერსალური გამოთვლითი კომპლექსის „LIRA“ - ს გამოყენებით, რომელშიც რეალიზებულია სასრულ ელემენტთა მეთოდი - სამმალიანი ჩარჩოს გაანგარიშება.

### 2.9.1. უჭრი კოჭის გაანგარიშება.

განვიხილოთ უჭრი კოჭი თითოეული მალის სიგრძით 6.0მ, რომელზეც მოდებულია თანაბარგანაწილებული საანგარიშო დატვირთვა  $q = 5.0$  ტ/მ.



ნახ. 32 უჭრი კოჭის საანგარიშო სქემა.

ძაღვები სტატიკურად ურკვევ ელემენტებში (როგორცაა სამოქალაქო დანიშნულების შენობების ელემენტების უმეტესობა - უჭრი კოჭები და ფილები თანაბარგანაწილებული დატვირთვით) რეკომენდირებულია გამოთვლილ იქნას ბეტონის პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით, რაც იწვევს ძაღვების გადანაწილებას ელემენტის კვეთებში. აღნიშნულის გათვალისწინებით:

მლუნავი მომენტი შუა მალეებში:

$$M_{ა.ა} = \frac{ql^2}{16} = \frac{5 \cdot 6^2}{16} = 11.3 \text{ ტმ}$$

მლუნავი მომენტი შუალედურ საყრდენებზე:

$$M_{საყრ} = -\frac{5 \cdot 6^2}{16} = -11.3 \text{ ტმ}$$

მლუნავი მომენტი პირველ მალში:

$$M_{1ა.ა} = \frac{ql^2}{11} = \frac{5 \cdot 6^2}{11} = 16.4 \text{ ტმ}$$

საყრდენი მომენტები პირველ შუალედურ საყრდენებზე:

$$M_{1ა.ა} = -\frac{5 \cdot 6^2}{11} = -16.4 \text{ ტმ}$$

არმირება შევასრულოთ მაქსიმალური მლუნავი მომენტის მიხედვით  $M = 16.4$  ტმ

როცა:

1. კოჭის კვეთია 40 x 50 (h) სმ ბეტონის კლასია B 20,  $R_b = 107$  კგძ/სმ<sup>2</sup>
2. კოჭის კვეთია 40 x 50 (h) სმ ბეტონის კლასია B 60,  $R_b = 300$  კგძ/სმ<sup>2</sup>
3. კოჭის კვეთია 30 x 45(h) სმ ბეტონის კლასია B 60,  $R_b = 300$  კგძ/სმ<sup>2</sup>

ანგარიშში ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი გათვალისწინებული არ არის.

შევარჩიოთ არმატურის საჭირო ფართი შემდეგი ცნობილი ფორმულებით:

$$A_o = \frac{M}{b h_o^2 R_b}$$

$$A_s = \frac{M}{\eta h_o R_s}$$

სადაც:

M – მღუნავი მომენტი

b- კოჭის კვეთის სიგანე

$\eta$  - უგანზომილებო კოეფიციენტი

$h_o$  - კოჭის კვეთის მუშა სიმაღლე

$R_b$  - ბეტონის წინააღობა

$R_s$  - არმატურის წინააღობა

$$1. A_o = \frac{1640000}{40 * 45^2 * 107} = 0.189 \quad \text{რის მიხედვითაც} \quad \eta = 0.894$$

$$A_s = \frac{1640000}{0.894 * 45 * 3600} = 13.3 \text{ სმ}^2$$

არმირება: 4 Ø 20 A III

$$2. A_o = \frac{1640000}{40 * 45^2 * 300} = 0.067 \quad \text{რის მიხედვითაც} \quad \eta = 0.965$$

$$A_s = \frac{1640000}{0.965 * 45 * 3600} = 10.4 \text{ სმ}^2$$

არმირება: 4 Ø 18 A III

$$3. A_o = \frac{1640000}{30 * 40^2 * 300} = 0.114 \quad \text{რის მიხედვითაც} \quad \eta = 0.939$$

$$A_s = \frac{1640000}{0.939 * 45 * 3600} = 12.1 \text{ სმ}^2$$

არმირება: 4 Ø 20 A III

შესაბამისად პირველ ვარიანტთან შედარებით მეორე ვარიანტმა ბეტონის კლასის გაზრდით მოგვცა არმატურის კვეთის ფართის ერთი პოზიციით შემცირება Ø 20 - დან Ø 18 -მდე, ხოლო მესამე ვარიანტში კოჭის კვეთის შემცირებამ არ გამოიწვია არმატურის კვეთის ფართის გაზრდა.

ამდენად უჭრი კოჭის მარტივმა გაანგარიშებამ დაადასტურა მაღალი სიმტკიცის ბეტონის გამოყენების ეფექტურობა, ვინაიდან ბეტონის კლასის გაზრდამ B20-დან B60-დე ერთ შემთხვევაში მოგვცა არმატურის ეკონომია დაახლოვებით 20 % - ით ხოლო მეორე შემთხვევაში ბეტონის დაახლოვებით 30% ეკონომია უჭრი კოჭის კვეთის შემცირების ხარჯზე, არმირების კვეთის ფართის შენარჩუნებით. ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ მიღებული შედეგები



გარკვეულწილად დაზუსტდება გაანგარიშების უფრო დეტალურად ჩატარების შემთხვევაში, კერძოდ სეისმური დატვირთვების გათვალისწინებით.

## **2.9.2. უნივერსალური გამოთვლითი კომპლექსის „LIRA“ - ს გამოყენებით სამშალიანი ჩარჩოს გაანგარიშება.**

უნივერსალური გამოთვლითი კომპლექსის „LIRA“ - ს გამოყენებით სამშალიანი ჩარჩოს გაანგარიშებისათვის განხილულია სამი ვარიანტი:

1. კოჭის კვეთი 40 x 50 (h) სმ, მალი 6.0 მ, სვეტის სიმაღლე 4.0 მ. დატვირთვა  $q = 6.0$  ტ/მ<sup>2</sup>, ბეტონის კლასია B 20.
2. კოჭის კვეთი 40 x 50 (h) სმ, მალი 6.0 მ, სვეტის სიმაღლე 4.0 მ. დატვირთვა  $q = 6.0$  ტ/მ<sup>2</sup>, ბეტონის კლასია B 50.
3. კოჭის კვეთი 30 x 45 (h) სმ, მალი 6.0 მ, სვეტის სიმაღლე 4.0 მ. დატვირთვა  $q = 6.0$  ტ/მ<sup>2</sup>, ბეტონის კლასია B 50.

ჩარჩოს გაანგარიშება მოცემულია X და Z ღერძების მიმართ ყველა (სამივე) ვარიანტისათვის. გაანგარიშებული და მოცემულია სასრული ელემენტის კვანძებში გადაადგილებების მნიშვნელობები;  $M_y$ ,  $Q_z$  და N-ის ეპიურები და მათი მნიშვნელობები, აგრეთვე რიგელებში არმატურის კვეთის ფართობი.

სამშალიანი ჩარჩოს გაანგარიშების შედეგების ანალიზის მიხედვით გაანგარიშების მეორე ვარიანტში ბეტონის კლასის გაზრდით არმატურის ხარჯი შემცირდა მიახლოებით 11%-ით, ხოლო მესამე ვარიანტში პირველ ვარიანტთან შედარებით (დაახლოებით იგივე დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დროს) ბეტონის ხარჯი შემცირდა მიახლოებით 50% - მდე.

### **დასკვნები**

1. გამოკვლეულია საქართველოს სხვადასხვა მდინარის აუზებში მოქმედი სამსხვრევ-სახარისხებელი საწარმოების მიერ გამოშვებული პროდუქცია (ქვიშა და ღორღი) რეგიონების მიხედვით და მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შედარებულია მოქმედ სტანდარტებთან; დადგენილია, რომ მათ შორის საუკეთესო მაჩვენებლებით (გრანულომეტრია, სისხოს მოდული, მინარევების შემცველობა, მსხვრევადობის მაჩვენებლები და ა.შ.) ხასიათდება მდინარეების ხრამის და მტკვრის აუზის ქვიშა და ღორღი;
2. გამოკვლეულია საქართველოში (ჰაიდელბერგცემენტი) და თურქეთში (ტრაპიზონი) წარმოებული CEM I 42,5R ცემენტები და დადგენილია, რომ მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შეესაბამება ევროსტანდარტით EN 197-1-ის მოთხოვნებს;
3. გამოკვლეულია საქართველოს ბაზარზე არსებული სუპერპლასტიფიკატორები და შესწავლილია ბეტონში მათი გამოყენების ეფექტურობა.
4. თერმულად იქნა დამუშავებული (490°C) საქართველოში ფართოდ გავრცელებული წყლიანი ალუმოსილიკატების ჯგუფის მინერალების შებცველი რამდენიმე არამადნეული

წიაღისეული (თიხა-ფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები) და მოხდა მათი წმინდად დაფქვა (ნარჩენი საცერზე N008 - 5%-ის ოდენობით), რითაც განხორციელდა მათი მოდიფიცირება ბეტონის ულტრადისპერსიულ დანამატად.

5. გამოკვლეული კომპონენტების საფუძველზე გაანგარიშებულია B40 კლასის ბეტონის შედგენილობები: ა) საბაზო (ყოველგვარი დანამატის გარეშე), ბ) მაპლასტიფიცირებელი დანამატის Sika Viscocrete SF-18-ის (1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან და წ/ც-ის ფაქტორის 0,5-დან 0,34-მდე შემცირებით) გამოყენებით გ) მაპლასტიფიცირებელი დანამატის და მოდიფიცირებული მიკროშემვსების ერთობლივი გამოყენებით (Sika Viscocrete SF-18 – 1%, ხოლო თიხაფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები 10%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან) მიღებულია, საბაზო ნიმუშების სიმტკიცეებთან შედარებით, ცემენტის 10% ეკონომიის პირობებში, მოდიფიცირებულ დანამატებზე დამზადებული ბეტონის სიმტკიცის 30-35%-იანი მატება;
6. განხორციელდა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის შემავსებლების გამოყენებით, სამშენებლო ბაზარზე არსებული ცემენტებით, საქართველოს ზოგიერთი არამადნეული წიაღისეულის მოდიფიცირებით მიღებული ბეტონის წვრილდისპერსიული დანამატის გამოყენებით, საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის გაზრდისათვის საჭირო, ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის ნაკლებად მყიფე, ნაკლებად ფორიანი, ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებად ანიზოტროპული თვისებების მქონე ბეტონების შემადგენლობების ვარიანტების შედგენა და მათი ძირითადი თვისებების კვლევა.
7. როგორც უჭრი კოჭის ტრივიალური გაანგარიშების, ასევე უნივერსალური გამოთვლითი კომპლექსის „LIRA“ - ს გამოყენებით ჩატარებული გაანგარიშების შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ ბეტონის კლასის გაზრდით კოჭის ერთიდაივე კვეთის დროს არმატურის ხარჯის შემცირება შეადგენს 11-20%-ს, ხოლო დაახლოებით ერთნაირი დამაბულ - დეფორმირებული მდგომარეობისას ბეტონის კლასის გაზრდით მიიღება ბეტონის ხარჯის 30 – 50%-მდე შემცირება.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. E. Sakai. Influence of Superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement. Cement and Concrete Research, 2006, 36, N11, 2049-2054.
2. EN 206-1. Бетон - Общие технические требования производство и контроль качества.
3. მ. ტურძელაძე, გ. თათარაშვილი, ი. გიორგაძე. თვითშემჭიდროებადი ბეტონი – დღევანდელი სამშენებლო ამოცანების გადაწყვეტის ეფექტური ინსტრუმენტი. ჟურნალი “ენერჯია”, №2 (58), 2011, გვ. 77-79.
4. Д. Снежков, М. Ашмян. Высокопрочный бетон. Материалы Научной конференции ТСП 2004. Минск. С. 145-152.
5. Р.С. Демьянова, В.И. Калининов. Об использованных дисперсных наполнителей в цементных системах. ж. Строительство. 1991, №1, стр. 24-28.
6. С.В.Шебликин, Н.И.Телятникова. Новые цементы, новые технологии. Стройиндустрия. Киев. 2004, 257с.
7. Н. Taylor. Proposed Structure for C-S-H Gel//J. Amer. Ceramic Soc., V.69, 6, 1986, p.p. 464-467.
8. Л.А. Малинина, И.Г. Батраков. Бетоноведение: Настоящее и Будущее. ж. "Бетон и железобетон". 2003, №1, ст. 2-6.
9. А.В. Вольженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. Минеральные вяжущие вещества. М. Стройиздат.1986.
10. П.А. Ребиндер. Физико-химическая механика дисперсных систем. Сб. статей АН СССР6 «Наука», 1976.
11. П.А. Ребиндер. Современные проблемы коллоидной химии, избранные труды, М., “Наука” , 1978, т.1, с.36-49
12. Т. Пауэрс. Физические свойства цементного теста и камня. IV Международный конгресс по химии цемента. М. Стройиздат, 1987.
13. В.Г. Батраков. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М. Технопроект, 19986 768с.
14. С.С. Каприелов. Общие закономерности формирования структуры цементного камня с добавкой ультрадисперсных материалов//ж, Бетон и ж/бетон, 1995, №4, стр. 16-20.
15. В. Mather. Concrete-Vear 2000, Revisited in 1995//Adam Neville Symposium on Concrete technology. Las Vegas USA, June 12, 1995, p.p. 1-9.
16. О.Я.Берг, Е.М.Щербаков, Г.Н.Писенко. Высокопрочный бетон. Стройиздат. 1971. 208с.
17. И.Г.Филатов. Опыт применения и контроля Высокопрочных модифицированных Бетонов// ж. "Технология Бетонов", №2, 2006.
18. J. Namada. Influence of Superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement. Cement and Concrete Research, 2002, 45, N2, 128-134.
19. С.С. Каприелов, А.В.Шейнфельд, В.Г. Батраков. Комплексный модификатор бетона МБ-01// ж. «Бетон и железобетон», №5, 1997, стр.38-41.
20. С.С.Каприелов, А.В.Шейнфельд. Влияние состава Органо-минеральных модификаторов серии "МБ" на их эффективности." ж. "Бетон и железобетон". 2006, №5, ст. 11-18.
21. А.Е.Шеикин, Ю.В.Чеховский, М.И.Бриссер. Структура и свойство цементных бетонов. М. Строииздат. 1979, 355 с.
22. В.В. Тимашев. Влияние физической структуры цемента на его прочность// «Цемент», 1978, №2, стр. 6-8
23. V.V. Malhotra. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review// CANMET/ACI Symposium on Advantes in Concrete Science Tech. Rome, okt. 7-10, 1997, Proceedings, p.p. 271-314.
24. V. Batrakov, S. Kapriellov. Durabiliti of Concretes Modified bi Silicoorganoc Compounds// CANMET/ACI int. Sump. On Advances in Concr. Technology. LasVegas June, 1995, Supplementari papers, p.p. 609-624.
25. Д. Назарский, Д. Димов. Влияние суперпластификаторов на бетонные смеси и бетона. Сб.докладов "ВСУ 2002", София, 2002.

26. H. Uchikawa, Sh. Hanehara. Influence of Characteristics of Sulfonik Acid-Based Admixture on interactive Force Between Cement Particies and Fluiditi of cement Paste// CANMET/ACI Symposium on Advantes in Concrete Science Tech. Rome, okt. 7-10, 1997, Proceedings, p.p. 271-314.
27. В.Г. Батраков, М.Г. Булгакова, В.Р. Фаликман. Суперпластификатор-разжижитель СМФ //ж. Бетон и железобетон, 1985, №5, стр. 18-20
28. Л.Ф. Калмыков, В.И. Лукашевич, В.М. Дмитриев. Опытнo-промышленное испытания суперпластификатора С-НПИ на предприятиях строительной индустрии // Вопросы строительства и архитектуры , 1987, стр. 50-56.
29. М.Г. Булгакова. Влияние суперпластификаторов на основные свойства бетонов в конструкциях //Химические добавки для бетонов. М.: НИИЖБ, 1987, стр. 30-40.
30. В.Г. Батраков, В.Р. Фаликман, Л.Ф. Калмыков, В.И. Лукашевич. Пластификатор для бетонов на основе тяжелых смол пиролиза//ж. Бетон и железобетон, 1991, №4, стр. 6-8.
31. A. Jeknavorian, L. Roberts, L. Jardine. Et al. Condensed Poliacrylic Acid-Aminated Palyether Polymers as Superplasticizers // CANMET/ACI Symposium on Advantes in Concrete Science Tech. Rome, okt. 7-10, 1997, Proceedings, p.p. 186-201.
32. A. Ohta, T. Sugiyama, Y. Tanaka. Diudizing Mechanism and Application of Polycarboxylate-Besed Superplasticizers // Proceedings Fifth CANMET/ACI Int. Conference, Rome, Italy, 1997, p.p. 256-286.
33. С.С. Каприелов, В.Г. Батраков, А.В Шейнфельд. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. – 1999, №6(501), стр. 6-10.
34. K. Yamada, C-B. Kim, K. Ichitsubo, M. Ichikawa. Combined effect of cement characteristics on the perfomance of superplasticizers. An investigation in real cement plan. Proceedings of 8-th CANMET/ACI Int. Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Suppl. volume. P. 159-174.
35. B. Pecur, N. Stirmer. Compatibility of polycarboxylate superplasticizers with cement. of 8th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Suppl. volume. P. 213-226.
36. И.Н. Салахов. Исследование влияния на свойства тяжелых бетонов новых поликарбоксилатных суперпластификаторов. М. из. строинформу 2009. с. 348.
37. M.Shoya, S.Sugita, Y. Tsukinaga, M. Aba. Propertis of self-compaqting concrete woth slag fine aggregates // Creating with Concrete: International Conf. 1999; Proc. Dundee (Scotland), p.p. 121-130.
38. Sika- Каталог продукции - Sika Yarı Kimyussa Muri A-S. 2007
39. Л.И. Симоненко, В.И. Стамбулько. Суперпластификатор на основе полиэлектролитных комплексов. //ж. Бетон и железобетон, 1991, №11, с. 18-20.
40. С.С.Каприелов, И.И.Картенко, А.В.Шейнфельд. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру цементного камня м высокопрочного бетона. ж. "Бетон и железобетон". 2003, №3, с.2-7.
41. F. Dehn, „Betontechnologische Voraussetzungen zur Herstellung von Selbstver dichtendem Beton“, 10. Leipziger Massivbauseminar, 2000 .
42. BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARK. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use. 2005.
43. С.С. Каприелов, Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов, ж. Бетон и железобетон , 1995, №4, с.16-20.
44. А.В. Батудаева, Г.С. Кардумян, С.С. Каприелов. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей.// ж. Бетон и железобетон, 2005, №4, с. 14-18.
45. З.А. Камалова, И.Ф. Нагаев. Исследование влияния различных видов цементов на технологические и прочностные свойства бетона в присутствии поликарбоксилатов. Тр. Конф. Материалы и технологии, ресурсосбережение М. 13.04 2010, стр. 28-32.
46. L. Regnaud, A. Nonat, S. Pourchet et al. Changes in cement paste and mortar fluidity after mixing induced dy PCP: a parametric study. SP-239. P. 389-407.
47. В. П. Трамбовецкий, Самоуплотняющийся бетон. Изд. ABC, 2009. 422с.

48. Г.В. Несветаев. Некоторые вопросы технологии самоуплотняющихся бетонов. Тр. Международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона», г. Минск (Беларусь) 21-23 октября, 2009, стр. 189-195.
49. B. Persson. Internal frost resistance and salt frost scaling of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 2003, p.p.373-379.
50. K.H. Khayat, S.D. Hwang. Effect of high-range water-reducing admixture type on - performance of self-consolidating concrete. SP-239. P. 185-200.
51. Ю.С. Аушева. Бетон: прошлое, настоящее и будущее. Ж. Стройпрофил. №8. 2009.
52. Бетоны. Технологии, материалы, оборудование. Ред. Жуков А.Д. Изд. Феникс 2006. 385с.
53. H. Okamura, K. Osava. Mix Design for Self-Compacting Concrete. *Concrete Library of the ISCE*, N25, p.p. 107-120, 1995.
54. H. Okamura, S. Ouchi, Self-Compacting Concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2003, Vol.1, N1, p.p. 5-15.
55. Efnarc: Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. Farnham, February 2002.
56. A.K. Mullick. High Performance Concrete in India – Development, Practices and Standardization // *Indian Concrete Journal*, 2005, Vol. 6 (2).
57. Феррари Г., Сурико Ф. Самоуплотняющийся бетон для моста „калатрава,, в Венеции, Б/ЖБ, 2006, №3, с.28-29.
58. M. Collepardi. Admixtures-Enhancing concrete performance // 6<sup>th</sup> International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dandee, U.K. – 5-7 July 2005.
59. M. Collepardi. Low-Slump-Loss Superplasticized Concrete / M. Collepardi, M. Corradi, M. Valente // the 8-th International Conf. on Superplasticizers in Concrete: Transportation Research Board and National Academy of Sciences, 1979: Proc – Washington D.C. (USA), 1979. P. 7-12.
60. V. Mechtcherine, M. Haist, A. Heveren, H. Miller. Self-Compacting Lightweight concrete a new highperformance building material. The first fib Congress, Conference proceedings, Osaka, Japan.
61. O.H. Wallevik. Rheologya scientific approach to develop self-compacting concrete. 3<sup>rd</sup> international Symposium on Self- Compacting Concrete. REYKYAVIK, Iceland, Rilem Publication S.A.R.L., p.p.23-28, 2003.
62. D. Min, T. Minshu. Formacion and expansion of etringitte crystals // *Cement and concrete research*, 1994, p.p. 24-28.
63. В. Мещерин, Р. Адамс. Самоуплотняющийся бетон – основы технологии и сферы применения. ICCX Санкт-Петербург 2006.
64. В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, А.В.Шейнфельд и др. Применение отходов феросплавного производства с пониженным содержанием микрокремнезема // ж. Бетон и железобетонб 1989, №8, стр. 22-24.
65. W. Balbiki, G.Ballivy. @On Predicting Modulus of Elasticity in High-Strength Concrete@. *ACE Materials Jurnal*, 1992. Sept-Oct. p.p. 517-520.
66. EN-2. Методы испытания цементов.
67. EN197-1 - ცემენტები. ზოგადი ტექნიკური პირობები.
68. Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton: Richtlinie, Selbstverdichtender Beton, Berlin, November 2003.
69. Д.М. Поляков, С.В. Коваль. Самоуплотняющийся бетон с использованием карбонатного наполнителя. Ж. «Вестник», Киев, 2010 1(81), стр. 107-112.
70. Р.Л. Маилян. Бетон на карбонатных заполнителях. Изд-во Ростовского университета, 1984, 276 с.
71. Т.М. Петрова, Н.А. Джаши, О.М. Смирнова, Э.Ю. Чистяков. Современные подходы к проектированию составов высокопрочных бетонов. Ж. «Строительный тендер», 2009, №42, стр. 32-36.
72. Д.М. Поляков, С.В. Коваль, М. Ситарский, М. Циак. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектурию №31, 2008, стр. 287-294.
73. Базальт. <http://ru. Википедия: Описание>.
74. В.Е.Дубенчак, Д.В.Дубенчак. Базальтобетон. Энергетика. Труды научно-технической конференции. Новосибирск. 2002. с. 279-283.
75. Гранитобетон. "Строительное обозрение". <http://www:Marstroy>.

76. Гост310.3-76 - ცემენტები. ნორმალური სისქელის, შეკვრის ვადების და მოცულობის თანაბარი ცვლილების განსზღვრის მეთოდი.
77. Гост30744 - ცემენტები. გამოცდის მეთოდები.
78. В.Р. Фаликман. Поликарбоксилаты: вчера, сегодня, завтра // Современные бетоны / IX международная научно-практическая конференция, Запорожье, 2007.
79. Н.М. Зайченко, Е.В. Сахошко, А.В. Назарова. Высокопрочные мелкозернистые бетоны с добавкой органо-минерального модификатора на основе конденсированного микро кремнезема // Современные проблемы строительства: сб. Научных трудов, 2006, №4(9) – Донецк, стр. 215-221.
80. ა. ნადირაძე. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობათა ტექნოლოგია. განათლება, თბილისი, 1994, 584 გვ.
81. О.С.Корост. Роль Наночастиц и наполнителей в создании материалов с заданными свойствами. Реф. канд. диссертации. г. Ставрополь, 2004.
82. The European Guedelines For Self Compacting Concrete, Specification, Production and Use, 2005.
83. მ. ტურძელაძე, ლ. ზუკატიშვილი. სტრუქტურული ფაქტორების გავლენა ბეტონის დეფორმირებაზე და რღვევის პროცესებზე. ჟურნალი „მშენებლობა“, №1, 2006, გვ. 60-65.
84. А.Е. Голиков. К вопросу подбора составов бетонов марок 700-1000. Труды ЦНИИС, вып. 69. «Транспорт», 1988.
85. Т. Powers. Interpretation of creep test of concrete. “RILEM Bulletin” No. 34. 1977.
86. Б.Г. Скрамтаев, П.Ф. Шубенкин, Ю.М. Баженов. Способы определения состава бетона различных видов. Стройиздат. М., 1996.
87. А.Л. Калищук, Н.И. Слесарева. Влияние некоторых факторов на прочность бетона. Труды КИСИ, вып. 46, Киев, 1981.
88. S. Popovics. Concrete consistency and its prodiction. “RILEM Bulletin”, No 31, 1986.
89. Л.И. Левин. Технологические закономерности бетонной смеси и бетона в области высоких значений Ц/В и их использование в производсеве высокопрочных бетонов. XVI конференция по бетону и железобетону, вып. 26, Стройиздат, 1996.
90. И.Н. Рыжов. Самоуплотняющиеся бетонные смеси – производство и применение. Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2008. Сборник № 1. С. 120 – 122
91. Гудушаури И.И Теория упругости в обыкновенных дифференциальных уравнениях. Тбилиси. Мецниереба.1990. С. 500
92. ნ.ბოჭორიშვილი. საშენი და მოსაპირკეთებელი მასალების წარმოების ტექნოლოგიის კვლევა და სრულყოფა. მონოგრაფია. თბილისი, გამომცემლობა “ტექნიკური უნივერსიტეტი”. 2006 წ. 479 გვ.
93. მ. ლორთქიფანიძე, თ. ჯოჯუა, თ. თურმანიძე ბეტონის ინტეგრალური და დიფერენციალური ფორიანობის განსაზღვრა. ჟურნალი “ენერჯია”. №3(51). №2(22), თბილისი. 2009 წ. გვ 75-85
94. მ. ლორთქიფანიძე ბეტონის ნარევის დამზადების წესი/გამოგონება, საავტორო მოწმობა №466198, 1989 წ.
95. З.Н. Цилосани. Усадка и пользучесть бетона. Тбилиси, «Мецниереба», 1974г. С. 374.

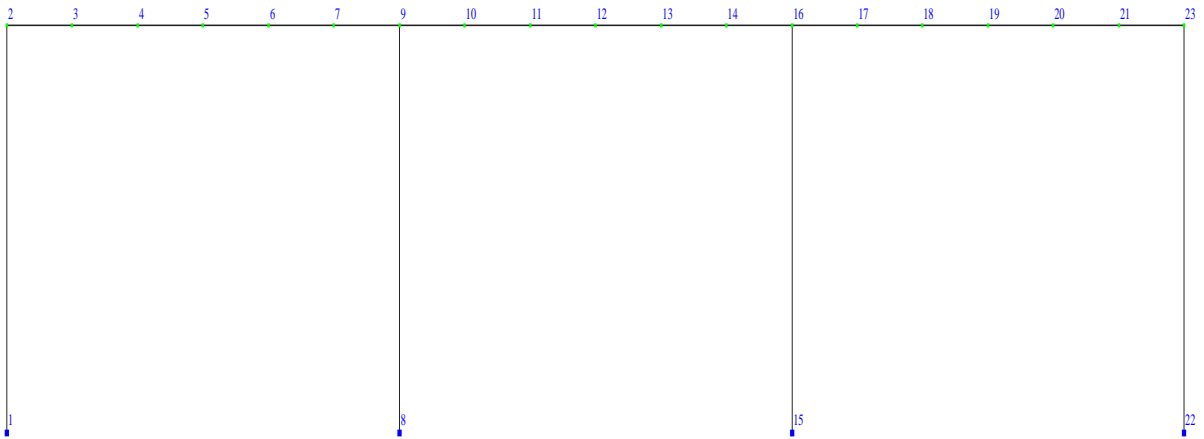
**სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:**

1. გ. გვინჩიძე, ჯ. ესაიაშვილი, ნ. ერემაძე, მ. ტურძელაძე, მ. აბაზაძე. შემოთავაზებული  $\sigma - \varepsilon$  დამოკიდებულების ტრანსფორმაციები მემკვიდრეობის თეორიის (დრეკად - მცოცავი ტანის თეორიის) დრეკადი მემკვიდრეობის თეორიის და დაძველების პროცესების შესაბამისად. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. თბილისი 1(77)/2016.
2. წინწკალაძე გ., კეშელავა ბ., სხვიტარიძე რ., აბაზაძე მ., ოკუჯავა ლ., ლოლაძე ლ. საშენ მასალათა წარმოების თანამედროვე ტექნოლოგიებში გამოყენებისათვის საქართველოს ზოგიერთი ბუნებრივი მინერალის თვისებების კვლევა. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის შრომები. ქუთაისი. 2013 წელი. 07-08 ივნისი.
3. Б.Ф. Кешелава, Р.Е. Схвитаридзе, Г.П. Цинцкаладзе, М.Г. Абазадзе. Исследование термических свойств некоторых природных материалов Грузии сцелю их использования в современных технологиях строительных материалов. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მაცნე. ქიმიის სერია.თბილისი. 2012 N4.
4. Б. Кешелава, Р. Схвитаридзе, Г. Цинцкаладзе, М.Г. Абазадзе, Л. Окуджава, Н. Эремадзе. Применение цеолитов в нанотехнологии композитных строительных материалов. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. თბილისი 2(70)/2014.
5. მ.აბაზაძე. მოდიფიცირებული თიხა-ფიქალი, როგორც ეფექტური დანამატი, საქართველოში კომპოზიტური საშენი მასალების წარმოების ტექნოლოგიაში. მოხსენება სტუდენტთა 82 - ე ღია საერთაშორისო კონფერენციაზე. 2015 წელი.
6. გ. გვინჩიძე, ჯ. ესაიაშვილი, ნ. ერემაძე, მ. ტურძელაძე, მ. აბაზაძე. შემოთავაზებული  $\sigma - \varepsilon$  დამოკიდებულების  $\theta_0, \varphi_k, \beta, k_0, m, v$  პარამეტრთა სპექტრის განსაზღვრა B15-B60 კლასის ბეტონებისათვის. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. თბილისი 1(77)/2016.
7. მ. აბაზაძე. მოდიფიცირებული თიხა-ფიქალი, როგორც ეფექტური დანამატი, საქართველოში კომპოზიტური საშენი მასალების წარმოების ტექნოლოგიაში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. თბილისი N1(40)/2016.

დანართი N 1



## B-20 40x50 კვანძების ნუმერაცია



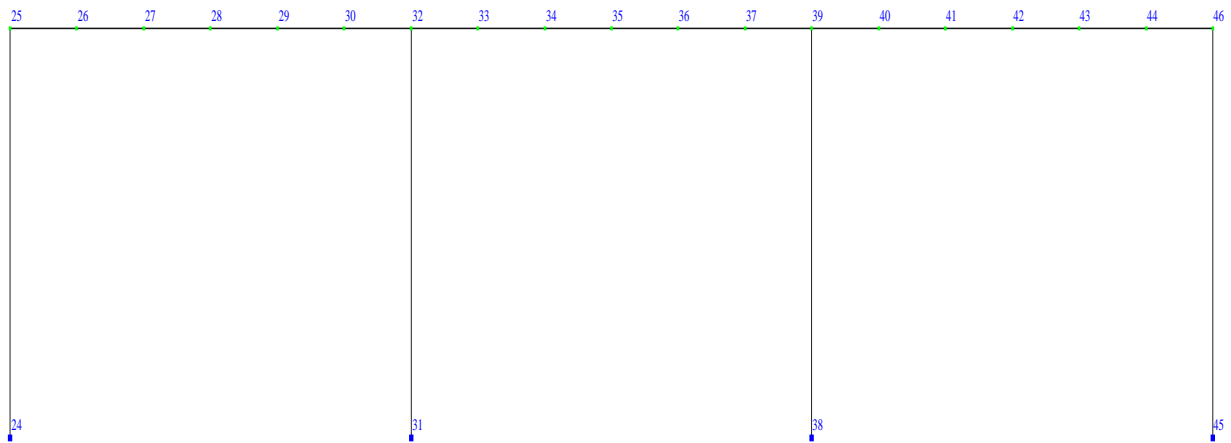
### გადაადგილებების ცხრილი

**Таблица 1 Перемещения (01)**

Загр	Узел	X, мм	Z, мм	UY, RD*1000
1 - ЗАГРУЖЕНИЕ 1				
1	1	0	0	0
1	2	.05218	-.16599	1.5860
1	3	.04594	-1.9241	1.7250
1	4	.03970	-3.3009	.91890
1	5	.03346	-3.6374	-.26064
1	6	.02722	-2.8457	-1.2419
1	7	.02098	-1.4100	-1.4535
1	8	0	0	0
1	9	.01474	-.38591	-.32354
1	10	.00983	-.71175	.73703
1	11	.00491	-1.4788	.65433
1	12	0	-1.8298	0

1	13	-.00491	-1.4788	-.65433
1	14	-.00983	-.71175	-.73703
1	15	0	0	0
1	16	-.01474	-.38591	.32354
1	17	-.02098	-1.4100	1.4535
1	18	-.02722	-2.8457	1.2419
1	19	-.03346	-3.6374	.26064
1	20	-.03970	-3.3009	-.91890
1	21	-.04594	-1.9241	-1.7250
1	22	0	0	0
1	23	-.05218	-.16599	-1.5860

### B-50 40x50 კვანძების ნუმერაცია

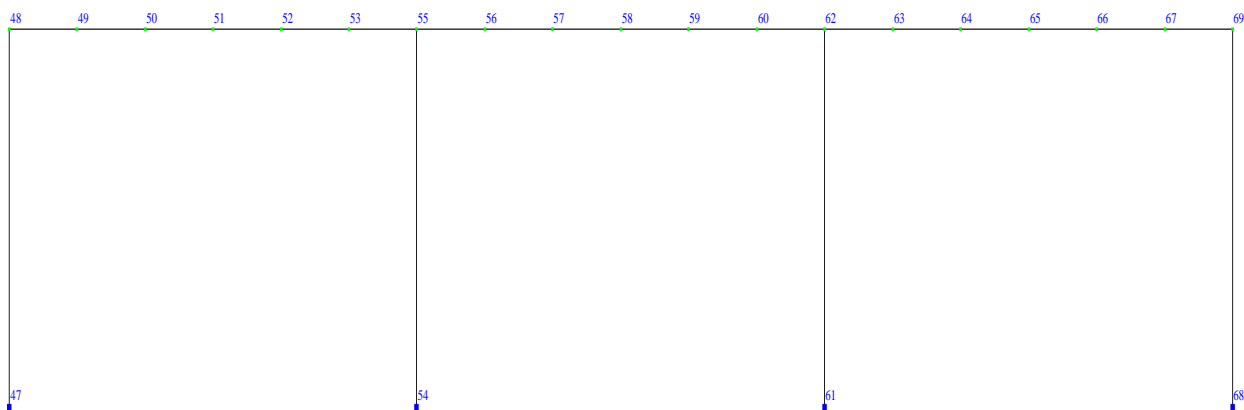


გადაადგილებების ცხრილი

ჯაგრ	უძელ	X, მმ	Z, მმ	UY, RD*1000
1 - ЗАГРУЖЕНИЕ 1				
1	24	0	0	0
1	25	.03605	-.11469	1.0958
1	26	.03174	-1.3294	1.1919
1	27	.02743	-2.2808	.63492
1	28	.02312	-2.5132	-.18009
1	29	.01881	-1.9663	-.85816
1	30	.01450	-.97428	-1.0043
1	31	0	0	0
1	32	.01019	-.26665	-.22355
1	33	.00679	-.49178	.50925
1	34	.00339	-1.0218	.45211
1	35	0	-1.2643	0
1	36	-.00339	-1.0218	-.45211

1	37	-.00679	-.49178	-.50925
1	38	0	0	0
1	39	-.01019	-.26665	.22355
1	40	-.01450	-.97428	1.0043
1	41	-.01881	-1.9663	.85816
1	42	-.02312	-2.5132	.18009
1	43	-.02743	-2.2808	-.63492
1	44	-.03174	-1.3294	-1.1919
1	45	0	0	0
1	46	-.03605	-.11469	-1.0958

### B-50 30x45 კვანძების ნუმერაცია



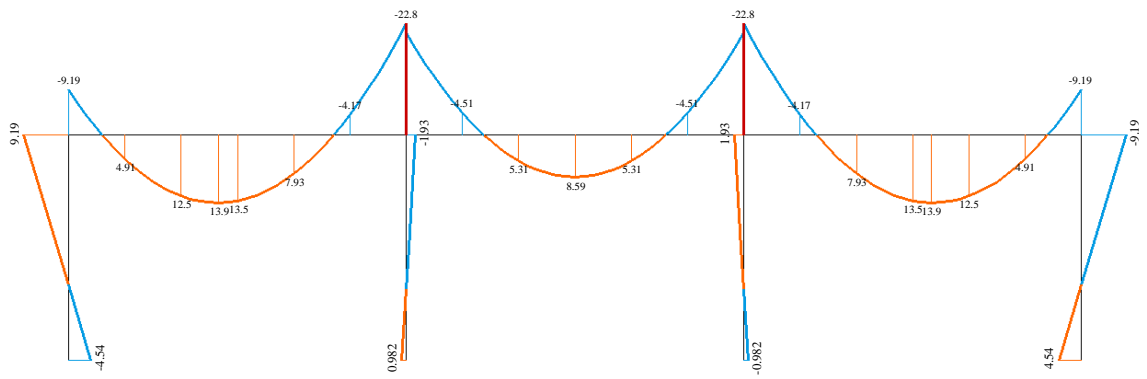
### გადაადგილებების ცხრილი

ჯაგ	უзел	X, მმ	Z, მმ	UY, RD*1000
1 - ЗАГРУЖЕНИЕ 1				
1	47	0	0	0
1	48	.03759	-.18923	2.4459
1	49	.03304	-2.7223	2.3764
1	50	.02849	-4.5716	1.1952
1	51	.02394	-4.9765	-.39502
1	52	.01939	-3.8794	-1.6916
1	53	.01483	-1.9254	-1.9918
1	54	0	0	0
1	55	.01028	-.46214	-.59299
1	56	.00685	-.69994	.77581
1	57	.00342	-1.5453	.73925
1	58	0	-1.9442	0
1	59	-.00342	-1.5453	-.73925
1	60	-.00685	-.69994	-.77581
1	61	0	0	0
1	62	-.01028	-.46214	.59299
1	63	-.01483	-1.9254	1.9918
1	64	-.01939	-3.8794	1.6916
1	65	-.02394	-4.9765	.39502

1	66	-0.02849	-4.5716	-1.1952
1	67	-0.03304	-2.7223	-2.3764
1	68	0	0	0
1	69	-0.03759	-1.8923	-2.4459

## B-20 40x50

Загрузка 1  
Эюра Мy  
Единица измерения - т\*м

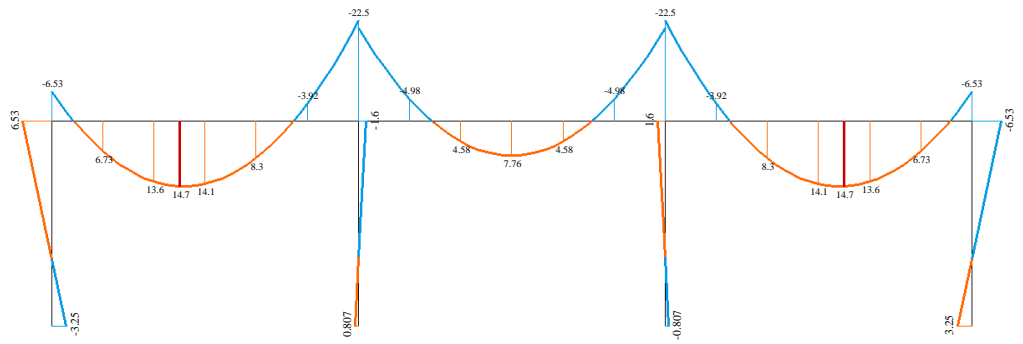


Минимальное усилие -22.8163; Максимальное усилие 14.6842

Эюра Мy

# B-50 40x50

Загрузка 1  
Эюра М<sub>y</sub>  
Единица измерения - т\*м

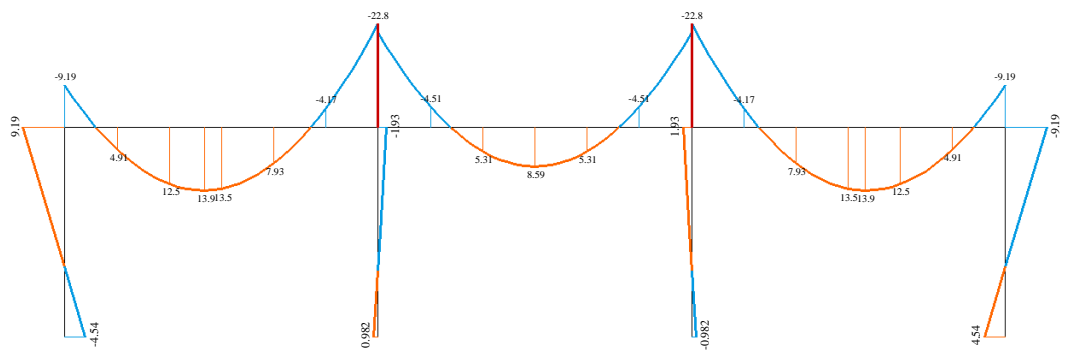


Минимальное усилие -22.8163; Максимальное усилие 14.6842

Эюра М<sub>y</sub>

# B-50 35x45

Загрузка 1  
Эюра М<sub>y</sub>  
Единица измерения - т\*м

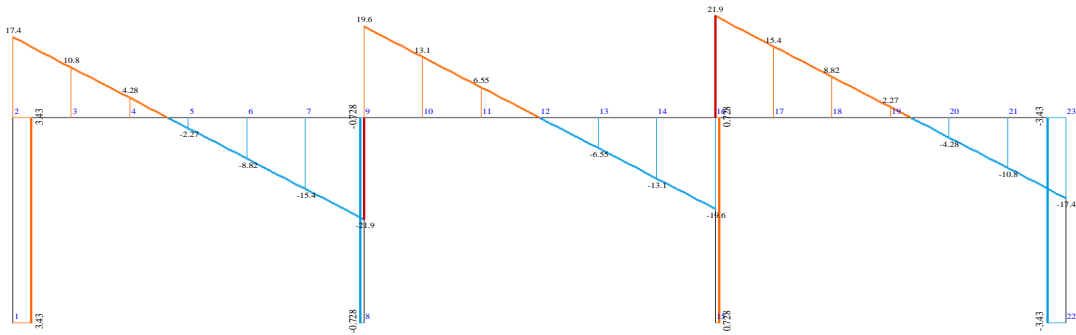


Минимальное усилие -22.8163; Максимальное усилие 14.6842

Эюра М<sub>y</sub>

# B-20 40x50

Загрузка 1  
Энтро Oz  
Единицы измерения - т



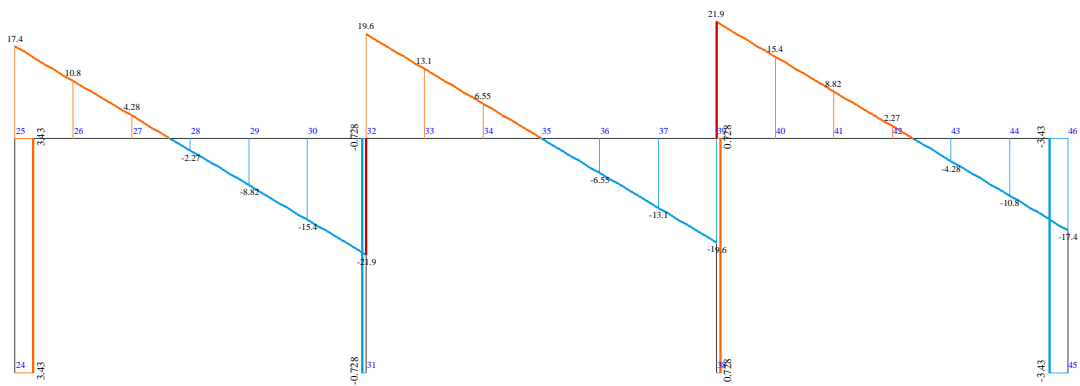
Z  
Lx

Минимальное усилие -21.921; Максимальное усилие 21.921

Энтро Oz

# B-50 40x50

Загрузка 1  
Энтро Oz  
Единицы измерения - т



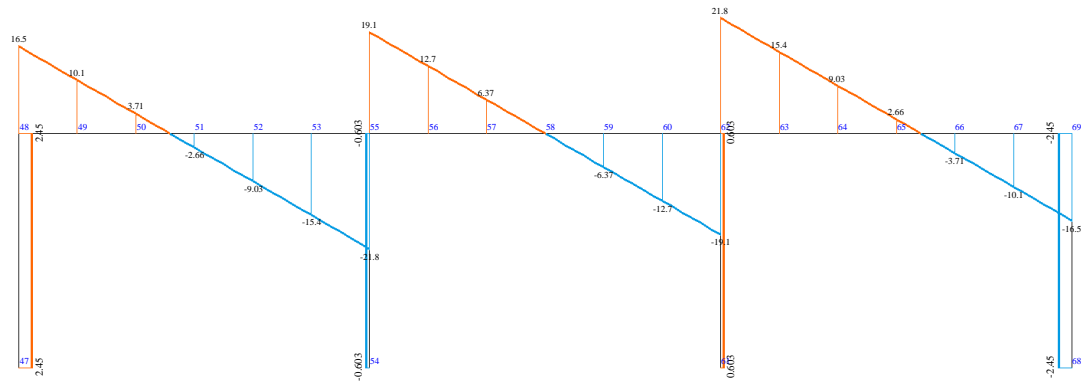
Z  
Lx

Минимальное усилие -21.921; Максимальное усилие 21.921

Энтро Oz

# B-50 35x45

Загрузка 1  
Эпюра Qz  
Единица измерения - т

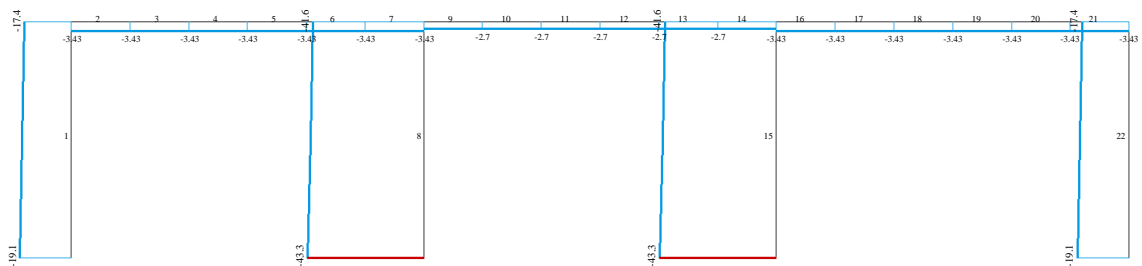


Минимальное усилие -21.921; Максимальное усилие 21.921

Эпюра Qz

# B-20 40x50

Загрузка 1  
Эпюра N  
Единица измерения - т

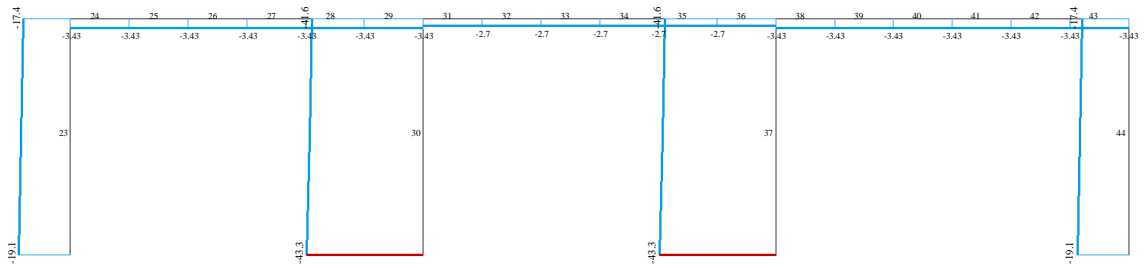


Минимальное усилие -43.3311;

Эпюра N

# B-50 40x50

Загрузка 1  
Эюра N  
Единица измерения - т

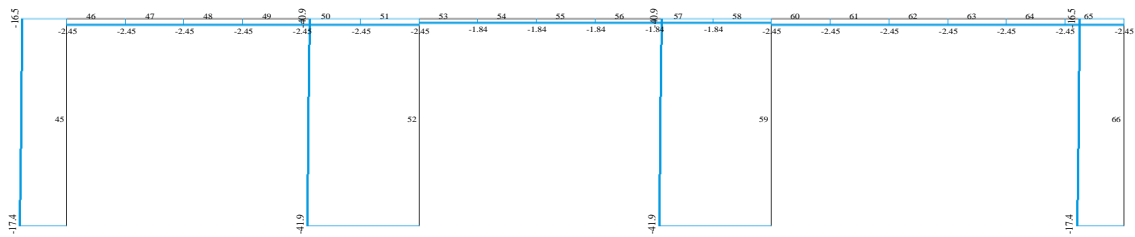


Минимальное устье -43.3311;

Эюра N

# B-50 30x45

Загрузка 1  
Эюра N  
Единица измерения - т

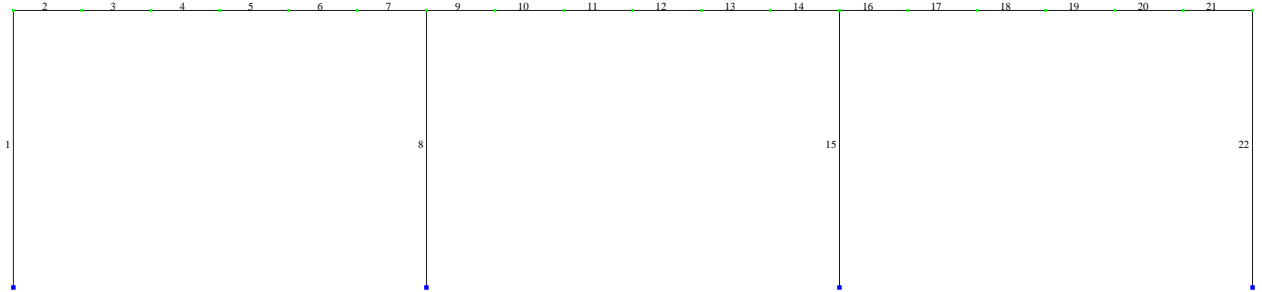


Минимальное устье -43.3311;

Эюра N



## B-20 40x50 ძალვათა ცხრილი



Единицы измерения усилий: т

Единицы измерения напряжений: т/м\*\*2

Единицы измерения моментов: т\*м

Единицы измерения распределенных моментов: (т\*м)/м

Единицы измерения распределенных перерезывающих сил: т/м

Единицы измерения перемещений поверхностей в элементах: м

Thu May 05 15:23:05 2016 шагчо 2 основная схема

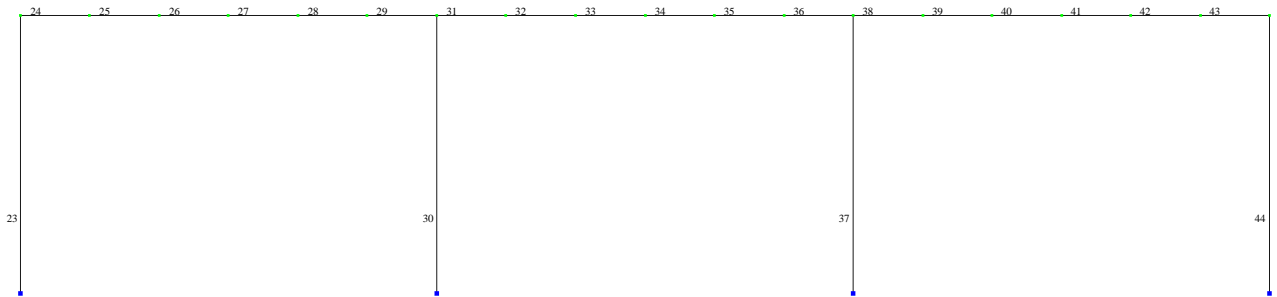
**Таблица 1 Усилия (01). Усилия в стержнях**

Загр	Тип	Элем	Сеч	N, т	MY, т*м	QZ, т
1 - ЗАГРУЖЕНИЕ 1						
1	10	1	1	-19.1389	-4.53762	3.43191
1	10	1	2	-18.6989	-1.10570	3.43191
1	10	1	3	-18.2589	2.32621	3.43191
1	10	1	4	-17.8189	5.75813	3.43191
1	10	1	5	-17.3789	9.19005	3.43191
1	10	2	1	-3.43191	-9.19005	17.3789
1	10	2	2	-3.43191	4.91390	10.8289
1	10	3	1	-3.43191	4.91390	10.8289
1	10	3	2	-3.43191	12.4678	4.27895
1	10	4	1	-3.43191	12.4678	4.27895
1	10	4	2	-3.43191	13.4718	-2.27104
1	10	5	1	-3.43191	13.4718	-2.27104
1	10	5	2	-3.43191	7.92576	-8.82104
1	10	6	1	-3.43191	7.92576	-8.82104
1	10	6	2	-3.43191	-4.17028	-15.3710
1	10	7	1	-3.43191	-4.17028	-15.3710
1	10	7	2	-3.43191	-22.8163	-21.9210
1	10	8	1	-4.33310	.981510	-.728021
1	10	8	2	-4.28910	.253489	-.728021
1	10	8	3	-4.24510	-.474532	-.728021

Таблица 1 Усилия (01). Усилия в стержнях

Загр	Тип	Элем	Сеч	N, м	MY, т*м	QZ, т
1	10	8	4	-4.20110	-1.20255	-.728021
1	10	8	5	-4.15710	-1.93057	-.728021
1	10	9	1	-2.70389	-20.8857	19.6500
1	10	9	2	-2.70389	-4.51076	13.1000
1	10	10	1	-2.70389	-4.51076	13.1000
1	10	10	2	-2.70389	5.31424	6.55000
1	10	11	1	-2.70389	5.31424	6.55000
1	10	11	2	-2.70389	8.58924	0
1	10	12	1	-2.70389	8.58924	0
1	10	12	2	-2.70389	5.31424	-6.55000
1	10	13	1	-2.70389	5.31424	-6.55000
1	10	13	2	-2.70389	-4.51076	-13.1000
1	10	14	1	-2.70389	-4.51076	-13.1000
1	10	14	2	-2.70389	-20.8857	-19.6500
1	10	15	1	-4.33310	-.981510	.728021
1	10	15	2	-4.28910	-.253489	.728021
1	10	15	3	-4.24510	.474532	.728021
1	10	15	4	-4.20110	1.20255	.728021
1	10	15	5	-4.15710	1.93057	.728021
1	10	16	1	-3.43191	-22.8163	21.9210
1	10	16	2	-3.43191	-4.17028	15.3710
1	10	17	1	-3.43191	-4.17028	15.3710
1	10	17	2	-3.43191	7.92576	8.82104
1	10	18	1	-3.43191	7.92576	8.82104
1	10	18	2	-3.43191	13.4718	2.27104
1	10	19	1	-3.43191	13.4718	2.27104
1	10	19	2	-3.43191	12.4678	-4.27895
1	10	20	1	-3.43191	12.4678	-4.27895
1	10	20	2	-3.43191	4.91390	-10.8289
1	10	21	1	-3.43191	4.91390	-10.8289
1	10	21	2	-3.43191	-9.19005	-17.3789
1	10	22	1	-19.1389	4.53762	-3.43191
1	10	22	2	-18.6989	1.10570	-3.43191
1	10	22	3	-18.2589	-2.32621	-3.43191
1	10	22	4	-17.8189	-5.75813	-3.43191
1	10	22	5	-17.3789	-9.19005	-3.43191

**B-50 40x50 ძალუათა ცხრილი**



Единицы измерения усилий: т

Единицы измерения напряжений: т/м\*\*2

Единицы измерения моментов: т\*м

Единицы измерения распределенных моментов: (т\*м)/м

Единицы измерения распределенных перерезывающих сил: т/м

Единицы измерения перемещений поверхностей в элементах: м

Thu May 05 15:27:36 2016 chapcho 2 основная схема

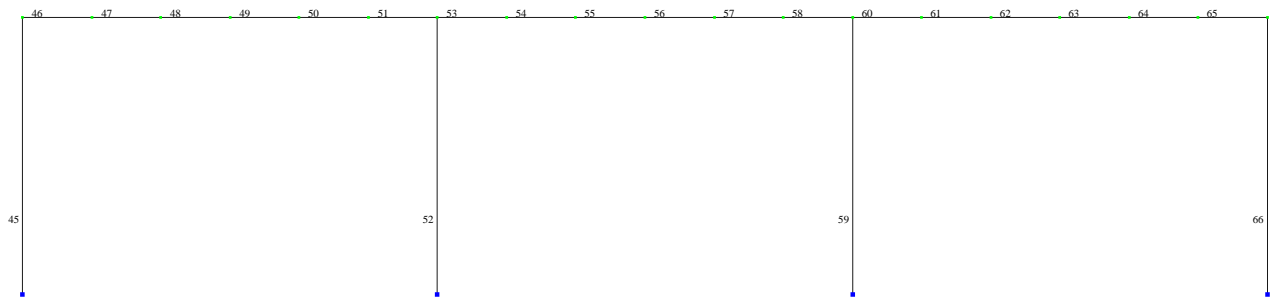
**Таблица 3 Усилия (01). Усилия в стержнях**

Загр	Тип	Элем	Сеч	N, т	MY, т*м	QZ, т
1 - ЗАГРУЖЕНИЕ 1						
1	10	23	1	-19.1389	-4.53762	3.43191
1	10	23	2	-18.6989	-1.10570	3.43191
1	10	23	3	-18.2589	2.32621	3.43191
1	10	23	4	-17.8189	5.75813	3.43191
1	10	23	5	-17.3789	9.19005	3.43191
1	10	24	1	-3.43191	-9.19005	17.3789
1	10	24	2	-3.43191	4.91390	10.8289
1	10	25	1	-3.43191	4.91390	10.8289
1	10	25	2	-3.43191	12.4678	4.27895
1	10	26	1	-3.43191	12.4678	4.27895
1	10	26	2	-3.43191	13.4718	-2.27104
1	10	27	1	-3.43191	13.4718	-2.27104
1	10	27	2	-3.43191	7.92576	-8.82104
1	10	28	1	-3.43191	7.92576	-8.82104
1	10	28	2	-3.43191	-4.17028	-15.3710
1	10	29	1	-3.43191	-4.17028	-15.3710
1	10	29	2	-3.43191	-22.8163	-21.9210
1	10	30	1	-4.33310	.981510	-.728021
1	10	30	2	-4.28910	.253489	-.728021
1	10	30	3	-4.24510	-.474532	-.728021
1	10	30	4	-4.20110	-1.20255	-.728021
1	10	30	5	-4.15710	-1.93057	-.728021
1	10	31	1	-2.70389	-20.8857	19.6500
1	10	31	2	-2.70389	-4.51076	13.1000
1	10	32	1	-2.70389	-4.51076	13.1000
1	10	32	2	-2.70389	5.31424	6.55000
1	10	33	1	-2.70389	5.31424	6.55000
1	10	33	2	-2.70389	8.58924	0
1	10	34	1	-2.70389	8.58924	0
1	10	34	2	-2.70389	5.31424	-6.55000
1	10	35	1	-2.70389	5.31424	-6.55000
1	10	35	2	-2.70389	-4.51076	-13.1000
1	10	36	1	-2.70389	-4.51076	-13.1000
1	10	36	2	-2.70389	-20.8857	-19.6500
1	10	37	1	-4.33310	-.981510	.728021
1	10	37	2	-4.28910	-.253489	.728021
1	10	37	3	-4.24510	.474532	.728021
1	10	37	4	-4.20110	1.20255	.728021
1	10	37	5	-4.15710	1.93057	.728021
1	10	38	1	-3.43191	-22.8163	21.9210

Таблица 3 Усилия (01). Усилия в стержнях

Загр	Тип	Элем	Сеч	N, т	MY, т*м	QZ, т
1	10	38	2	-3.43191	-4.17028	15.3710
1	10	39	1	-3.43191	-4.17028	15.3710
1	10	39	2	-3.43191	7.92576	8.82104
1	10	40	1	-3.43191	7.92576	8.82104
1	10	40	2	-3.43191	13.4718	2.27104
1	10	41	1	-3.43191	13.4718	2.27104
1	10	41	2	-3.43191	12.4678	-4.27895
1	10	42	1	-3.43191	12.4678	-4.27895
1	10	42	2	-3.43191	4.91390	-10.8289
1	10	43	1	-3.43191	4.91390	-10.8289
1	10	43	2	-3.43191	-9.19005	-17.3789
1	10	44	1	-19.1389	4.53762	-3.43191
1	10	44	2	-18.6989	1.10570	-3.43191
1	10	44	3	-18.2589	-2.32621	-3.43191
1	10	44	4	-17.8189	-5.75813	-3.43191
1	10	44	5	-17.3789	-9.19005	-3.43191

### B-50 30x45 ძალვანთა ცხრილი



Единицы измерения усилий: т

Единицы измерения напряжений: т/м\*\*2

Единицы измерения моментов: т\*м

Единицы измерения распределенных моментов: (т\*м)/м

Единицы измерения распределенных перерезывающих сил: т/м

Единицы измерения перемещений поверхностей в элементах: м

Thu May 05 15:29:26 2016 chgcho 2 основная схема

Таблица 4 Усилия (01). Усилия в стержнях

Загр	Тип	Элем	Сеч	N, т	MY, т*м	QZ, т
1 - ЗАГРУЖЕНИЕ 1						
1	10	45	1	-17.4410	-3.24770	2.44524

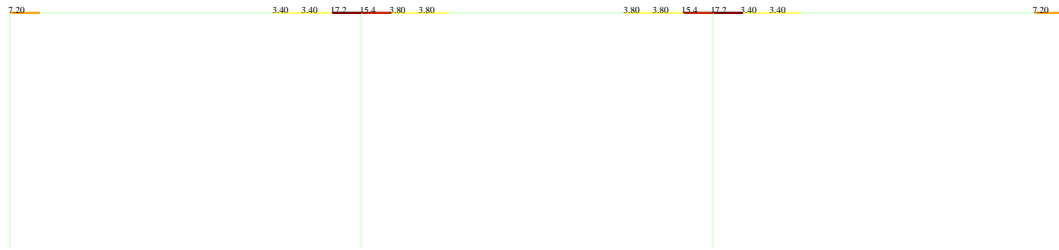
Таблица 4 Усилия (01). Усилия в стержнях

Загр	Тип	Элем	Сеч	N, м	MY, т*м	OZ, т
1	10	45	2	-17.1935	-.802458	2.44524
1	10	45	3	-16.9460	1.64278	2.44524
1	10	45	4	-16.6985	4.08803	2.44524
1	10	45	5	-16.4510	6.53328	2.44524
1	10	46	1	-2.44524	-6.53328	16.4510
1	10	46	2	-2.44524	6.73214	10.0798
1	10	47	1	-2.44524	6.73214	10.0798
1	10	47	2	-2.44524	13.6263	3.70855
1	10	48	1	-2.44524	13.6263	3.70855
1	10	48	2	-2.44524	14.1492	-2.66269
1	10	49	1	-2.44524	14.1492	-2.66269
1	10	49	2	-2.44524	8.30094	-9.03394
1	10	50	1	-2.44524	8.30094	-9.03394
1	10	50	2	-2.44524	-3.91861	-15.4051
1	10	51	1	-2.44524	-3.91861	-15.4051
1	10	51	2	-2.44524	-22.5094	-21.7764
1	10	52	1	-4.18801	.806911	-.602592
1	10	52	2	-4.16326	.204319	-.602592
1	10	52	3	-4.13851	-.398273	-.602592
1	10	52	4	-4.11376	-1.00086	-.602592
1	10	52	5	-4.08901	-1.60345	-.602592
1	10	53	1	-1.84265	-20.9059	19.1137
1	10	53	2	-1.84265	-4.97785	12.7425
1	10	54	1	-1.84265	-4.97785	12.7425
1	10	54	2	-1.84265	4.57902	6.37125
1	10	55	1	-1.84265	4.57902	6.37125
1	10	55	2	-1.84265	7.76464	0
1	10	56	1	-1.84265	7.76464	0
1	10	56	2	-1.84265	4.57902	-6.37125
1	10	57	1	-1.84265	4.57902	-6.37125
1	10	57	2	-1.84265	-4.97785	-12.7425
1	10	58	1	-1.84265	-4.97785	-12.7425
1	10	58	2	-1.84265	-20.9059	-19.1137
1	10	59	1	-4.18801	-.806911	.602592
1	10	59	2	-4.16326	-.204319	.602592
1	10	59	3	-4.13851	.398273	.602592
1	10	59	4	-4.11376	1.00086	.602592
1	10	59	5	-4.08901	1.60345	.602592
1	10	60	1	-2.44524	-22.5094	21.7764
1	10	60	2	-2.44524	-3.91861	15.4051
1	10	61	1	-2.44524	-3.91861	15.4051
1	10	61	2	-2.44524	8.30094	9.03394
1	10	62	1	-2.44524	8.30094	9.03394
1	10	62	2	-2.44524	14.1492	2.66269
1	10	63	1	-2.44524	14.1492	2.66269
1	10	63	2	-2.44524	13.6263	-3.70855
1	10	64	1	-2.44524	13.6263	-3.70855
1	10	64	2	-2.44524	6.73214	-10.0798
1	10	65	1	-2.44524	6.73214	-10.0798
1	10	65	2	-2.44524	-6.53328	-16.4510

Таблица 4 Усилия (01). Усилия в стержнях

Загр	Тип	Элем	Сеч	N, т	MY, т*м	QZ, т
1	10	66	1	-17.4410	3.24770	-2.44524
1	10	66	2	-17.1935	.802458	-2.44524
1	10	66	3	-16.9460	-1.64278	-2.44524
1	10	66	4	-16.6985	-4.08803	-2.44524
1	10	66	5	-16.4510	-6.53328	-2.44524

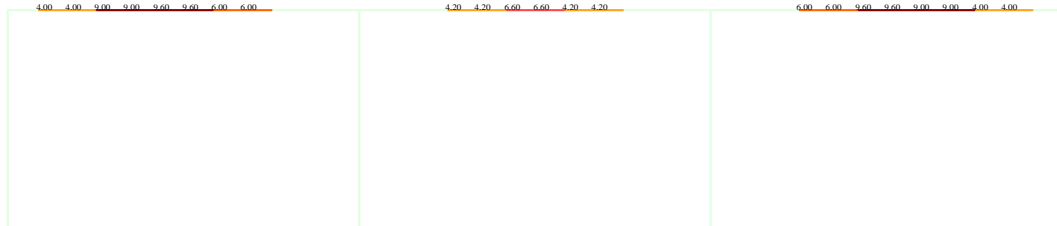
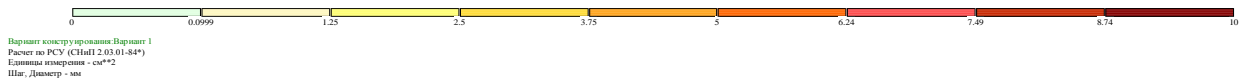
## В-20 40x50 %гдс



Площадь полной арматуры AU3 AU4 AS2. Несимметричное армирование. Максимум 17.69 в элементе 51.

Площадь полной арматуры AU3 AU4 AS2 . Несимметричное армирование . Максимум 17.69 в элементе 51.

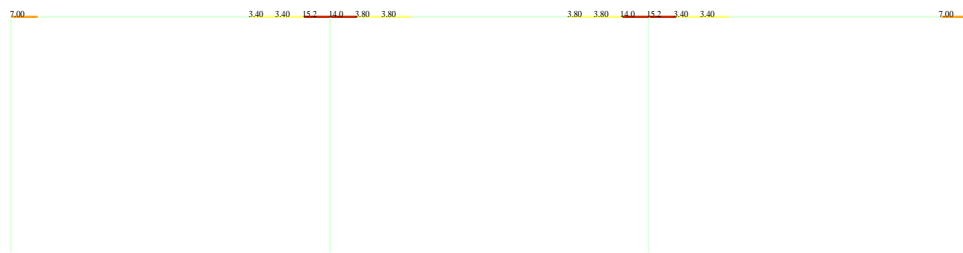
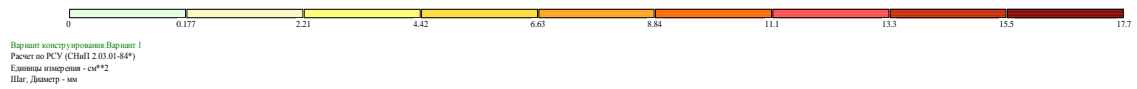
## B-20 40x50 ჰედა



Площадь полной арматуры AU1 AU2 AS1 . Несимметричное армирование . Максимум 9.99 в элементе 48.

*Площадь полной арматуры AU1 AU2 AS1 . Несимметричное армирование . Максимум 9.99 в элементе 48.*

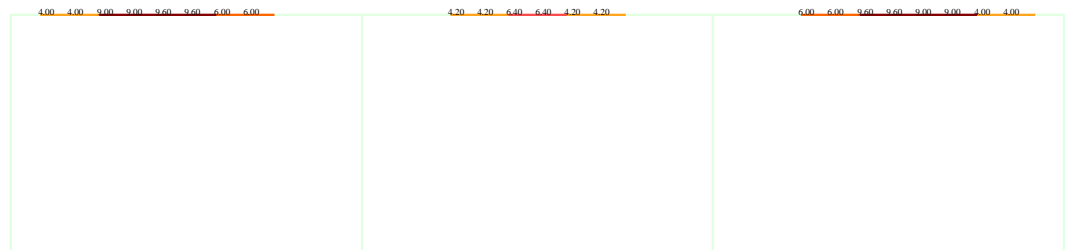
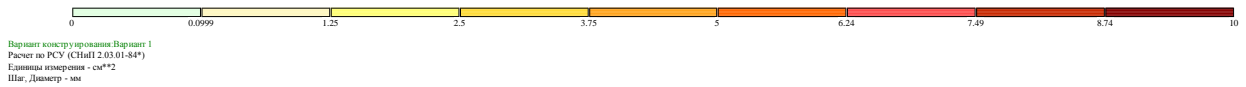
## B-50 40x50 ჰედა



Площадь полной арматуры AU3 AU4 AS2 . Несимметричное армирование . Максимум 17.69 в элементе 51.

*Площадь полной арматуры AU3 AU4 AS2 . Несимметричное армирование . Максимум 17.69 в элементе 51.(2)*

## B-50 40x50 ჰედა



Площадь полной арматуры AU1 AU2 AS1. Несимметричное армирование. Максимум 9.99 в элементе 48.

*Площадь полной арматуры AU1 AU2 AS1. Несимметричное армирование. Максимум 9.99 в элементе 48.(2)*

## B-50 30x45 ჰედა

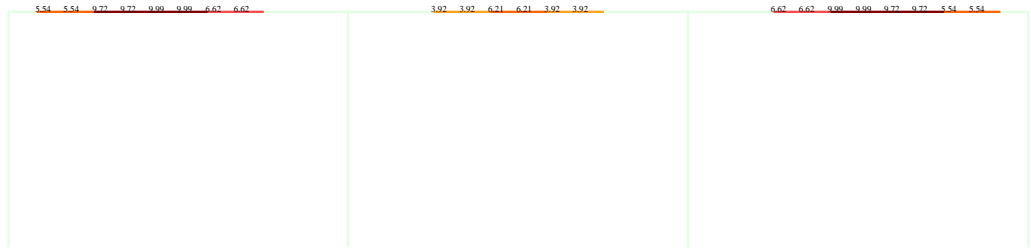
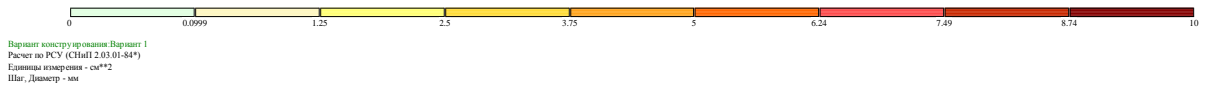


Площадь полной арматуры AU3 AU4 AS2. Несимметричное армирование. Максимум 17.69 в элементе 51.

*Площадь полной арматуры AU3 AU4 AS2. Несимметричное армирование. Максимум 17.69 в элементе 51.(3)*



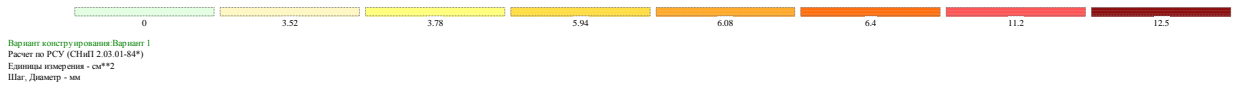
# В-50 30x45 ქვედა



Площадь полной арматуры AU1 AU2 AS1 . Несимметричное армирование . Максимум 9.99 в элементе 48.

Площадь полной арматуры AU1 AU2 AS1 . Несимметричное армирование . Максимум 9.99 в элементе 48.(3)

# სვეტები



Площадь полной арматуры AU1 AU2 AU3 AU4 AS1 AS2 AS3 AS4 . Симметричное армирование . Максимум 12.48 в элементе 1.

Площадь полной арматуры AU1 AU2 AU3 AU4 AS1 AS2 AS3 AS4 . Симметричное армирование . Максимум 12.48 в элементе 1.