საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

დალი გოცაძე

რკინაბეტონის ნაკეთობების ტექნოლოგიის კვლევა დანამატების გამოყენებით.

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა:მშენებლობა 0406

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

10.07.2015 წ.

საავტორო უფლება © 2015 წელი, დალი გოცაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემორე ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გოცაძე დალის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „რკინაბეტონის ნაკეთობების ტექნოლოგიის კვლევა დანამატების გამოყენებით“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

თარიღი: 10.07.2015

ხელმძღვანელი: პროფესორი

ა. ნადირაძე

რეცენზენტი: პროფესორი

მ. ლორთქიფანიძე

რეცენზენტი: პროფესორი

ჯ. ესაიაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2015

ავტორი: **გოცაძე დალი**

დასახელება:რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადების

კვლევა დანამატებისგამოყენებით

ფაკულტეტი: სამშენებლო

ხარისხი: დოქტორი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთმოყვანილი დასახელების ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნით 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 დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვნ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომის შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

წარმოდგენილ სადოქტორო ნაშრომში განხილულია, ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადების ტექნოლოგიის კვლევა დანამატების გამოყენებით. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების წარმოება ინდუსტრიის ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს,

თანამედროვე პერიოდში იგი არის ძირითადი საშენი მასალა ნებისმიერი დარგის მშენებლობაში. ამისათვის საკმარიასია აღინიშნოს ის, რომ თბილისის წმინდა სამების საკათედრო ტაძარის მშენებლობაში გამოყენებული მასალების 98%–ს შეადგენს ბეტონი და რკინაბეტონი. ამდენად ბეტონის და რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადება და მისი გამოყენება დაკავშირებულია დიდ სამეცნიერო პრობლემებთან, რადგანაც ბეტონისა და რკინაბეტონის შემადგენელი მასალები (ცემენტი, შემვსებები, დანამატები) ისეთნაირად უნდა იყოს შერჩეული, რომ მათი გამოყენებით დამზადებული ნაკეთობები აკმაყოფილებდნენ ნაგებობებში ხანგრძლივი ექსპლუატაციის სრულყოფილ პროცესს.

თემის სიახლე და აქტუალობა იმაში მდგომარეობს, რომ ჩვენი მონაწილეობით მიღებულია მაღალი მარკის ახალი სწრაფმყარებადი ცემენტი, შესწავლილია შემვსებები და დანამატები, რომელთა გამოყენებაც განაპირობებს ბეტონის და რკინაბეტონის მაღალ ტექნიკურ თვისებებს, გარდა ამისა ჩვენი მონაწილეობით მიმდინარეობდა შპს „წყალმშენი–ლილოს“ და ფირმა „მიქსორში“ ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადება რაციონალური ტექნოლოგიური პროცესების უზრუნველყოფით რაც წარმოადგენს საკვლევი თემატიკის მეცნიერულ სიახლეს და აქტუალობას.

კვლევების საფუძველზე, ჩვენი მონაწილეობით მიღებული იქნა სწრაფმყარებადი ცემენტი, რომელიც გამოყენებული იქნა შპს “წყალმშენი–ლილოს“ და შპალების რკინაბეტონის ქარხნებში; გარდა ამისა გამოკვლეული იქნა ამ ცემენტის ჰიდრაციის პროცესი რამაც 28 დღე–ღამის ასაკში შეადგინა ცემენტის საერთო რაოდენობის 40–50 %. ჩვენი მოსაზრებით დარჩენილი ნაწილი ჰიდრატირდება 2–3 ათეული წლის განმავლობაში, თუ ნაკეთობები იმყოფებიან ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში, რაც იწვევს ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების სიმტკიცის ზრდას 1,5 – 2–ჯერ.

სპეციალური სწრაფმყარებადი ცემენტის და დანამატის გამოყენებით მიღწეული იქნა ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების გაორთქლის პროცეში მაქსიმალური ტემპერატურის 90^0C–დან 60^0C–მდე შემცირება. გარდა ამისა შემცირებული იქნა ვიბროდამუშავების ხანგრძლივობა 70 %–მდე (ნარევის მაღალი დენადობის გამო), რაც საბოლოო ჯამში იწვევს წყალუჟონადობის და ყინვაგამძლეობის ზრდას,ამასთან ერთად უმჯობესდება ნაკეთობის სახიანი ზედაპირი, რაც საბოლოო ჯამში იძლევა მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს.

ქართველ მეცნიერებს შორის ბეტონისა და რკინაბეტონის ტექნოლოგიაში დიდი წვლილი მიუძღვით გიორგი ცისკრელს, პეტრე

წულუკიძეს, გიორგი ქარცივაძეს, შიო ნაფეტვარიძეს, ანზორ ნადირაძეს და სხვებს.

ნაშრომის პირველ თავში განხილულია ბეტონისა და რკინაბეტონის ტექნოლოგიაში გამოყენებული შემკვრელი ნივთიერების ჰიდრატაციის პროცესი, დანამატის და შემვსებების კვლევა და მათი გამოყენების შესაძლებლობები, გარდა ამისა გაანგარიშებულია სხვადასხვა სიმტკიცის ბეტონის შედგენილობები.

მეორე და მესამე თავში განხილულია შპს „წყალმშენი–ლილოს“ და ფირმა „მიქსორის“ რკინაბეტონის ქარხნებში წარმოებული რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადების ტექნოლოგია დანამატების გამოყენებით, კერძოდ: წინასწარდაძაბული ფილები და ღარები სარწყავი გამანაწილებელი არხებისათვის და რკინაბეტონის შპალები, რომლებიც დანერგილია მაღალი ტექნიკურ ეკონომიკური მაჩვენებლებით სხვადასხვა საწარმოებში, კერძოდ ადგილობრივ და ტრანსნაციონალურ პროექტებში და თბილისის სარკინიგზო მაგისტრალის რეაბილიტაციაში.

ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების დასამზადებლად გამოყენებული იქნა ქსოვრისის კარიერიდან მიღებული ინერტული მასალები: ქვიშა და ღორღი.

კვლევის საფუძველზე დადგენილი იქნა მათი გრანულომეტრული შედგენილობა და ფიზიკურ–მექანიკური თვისებები: სიმკვრივე, მოცულობითი მასა, ტენიანობა, ცარიელობა და მავნე მინარევების შემცველობა. შესაბამისად დადგენილი იქნა, რომ ეს მასალები მათი ფიზიკურ–ტექნიკური თვისებებით შეესაბამება სახელმწიფო სტანდარტის გოსტ – 8735–88 „ქვიშა სამშენებლო სამუშაოებისათვის“ მოთხოვნებს.

ბეტონის შემადგენელი მასალების შესწავლის შემდეგ დაპროექტებული იქნა B–15, B–25 და B–40 კლასის ბეტონის შედგენილობები, დადგენილი იქნა მათი საპროექტო სიმტკიცეები 28 დღე–ღამის ასაკში. გამოცდის შედეგებმა დააკმაყოფილა ნაკეთობების წინასწარ მოთხოვნილი ტექნიკური მახასიათებლები.

რაც შეეხება ფირმა „მიქსორში“ და შპს „წყალმშენი–ლილოში“ დამზადებული ნაკეთობების წარმოებაში სწრაფმყარებადი ცემენტის გამოყენებამ განაპირობა მათი თბოტენიანი დამუშავებისას მაქსიმალური ტემპერატურის შემცირება 90^0C - 60^0C-მდე. შემცირდა აგრეთვე ვიბროდამუშავების ხანგრძლივობა 70%–ით, რაც შესაბამისად ზრდის წყალუჟონადობას, ყინვაგამძლეობას და ნაკეთობის სახიანი ზედაპირის ხარისხს.

საერთო ჯამში ჩატარებული კვლევების შედეგად მიღწეული იქნა მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტი.

Abstract

In the presented study doctoral work is considered concrete and reinforced concrete items manufacturing technology. The concrete and reinforced concrete represents the main direction of manufacturing industry, in the modern period it is the basic building material in any sector of the construction, for this is sufficient to mention that the applied at Tbilisi Holy Trinity Cathedral construction materials up to 98% makes concrete and reinforced concrete. Thus the production of concrete and reinforced concrete and its application is associated with the great scientific problems, because the concrete and reinforced concrete component materials (cement, fillers, additives) should be selected in such a way that their manufactured

due their application products meet the perfect process of long-term operation requirements of their application in buildings.

The novelty and actuality of topic is that by our participation are received high grade new fast-setting cement, are studied fillers and additives, the application of that stipulates the high technical properties of concrete and reinforced concrete, in addition with our participation was carried out manufacturing of concrete and reinforced concrete items in "Tskalmsheni-Lilo" LTD and firm "MIKSORI" by providing a rational technological processes that represents the scientific innovation of the topic under study and its relevance.

According was studied the cement hydration process at an early stage, at 28 days of age and after it. At the initial stage (28 days) in the reaction is involved up 40-50% to mass in cement. The remained part of the cement at normal conditions of operation of item is hydrated during 15 - 20 years that causes an increase in product strength up to 1.5 - 2 times.

The carried building us work has been achieved by using of special fast-setting cement and additive in vaporization process the reduction of maximum temperature from 90°C up to 60°C. In addition will be reduced duration of the vibromechanical treatment up to 70% (due a high-yield of mixture) that finally leads to increased waterproofness and freeze resistance, is improved faced surface of item, which ultimately gives a significant economic effect.

From Georgian scientists the great contribution in concrete and reinforced concrete technology has the Giorgi Tsiskreli, Petre Tsulukidze, Georgi Kartsivadze, Shio Nafetvaridze, Anzor Nadiradze and others.

In the first chapter of thesis are considered the research of applied in concrete and reinforced concrete technology binding material, adding and fillers, are calculated compositions of different strength concretes.

In the second and third chapter accordingly in the "Tskqalmseni-Lilo" LTD and firm "Miksori" concrete product plan are made reinforced concrete products, in particular: presstressed slabs and gutters for irrigation distribution channels, and reinforced concrete sleepers there are implemented with high technical properties in different enterprises, in particular, in local and transnational projects and rehabilitation of Tbilisi trunk Railway.

Based on studies, due our participation was obtained fast-setting cement that has been applied in the "Tskalmsheni-Lilo" LTD and reinforced concrete sleeper plants; in addition by us was studied hydration process of this cement that at 28 days age makes up to 40-50% of the total amount of cement. By our opinion the remaining part will be hydrated during 2 – 3

decades, if products will be in normal conditions that5 causes increase in strength of concrete and reinforced concrete products up to 1.5 - 2 times.

For manufacturing of concrete and reinforced concrete products were used aggregates from Ksovrisi: sand and gravel.

Based on the study was determined their granulometric composition and physico-mechanical properties: density, volumetric mass, humidity, voids and contaminants content. Accordingly was determined that these materials due their physical and technical properties,meet the standard GOST - 8735-88 "sand for construction works" requirements.

After the study of concrete constituente materials have been designed B - 15, B - 25 and B - 40 grade concrete compositions, have determined their design strengths at the age of 28 days. The results of the satisfies the preliminary required of technical characteristics of the item.

As for in the firm "MIKSORI" and "Tskalmsheni-Lilo" LTD items manufacturing technology, the application of rapid-setting cementstipulates reduction of their thermal-moisture treatment maximal temperature up to 90°C÷60°C. Was reduced the duration of vibration tre4atment up to 70%, thus was increased water resistance, freeze resistance and quality of item's face surface. In total as result of carried out researches has been achieved a significant economic impact.

შინაარსი

1) შესავალი.....13
2) ლიტერატურის მიმოხილვა.....16
3) თავი I. შემკვრელი და დანამატები.....19
4) 1.1 ექსპერიმენტული სამუშაოს მეთოდიკა.....30
5) 1.2 დანამატები.....32
6) 1.3მინერალური დანამატი.....40
7) 1.4 ორგანულ–მინერალური დანამატი.....42

8) 1.5 ექსპერიმენტული სამუშაოს მეთოდიკა.....45
9) თავი II. ბეტონისა და რკინაბეტონი ნაკეთობების დამზადება შპს„წყალმშენი–ლილოსქარხანაში.....47
10) თავი III. შპს „მიქსორის“ რკინაბეტონის შპალების დამზადებისტექნოლოგიის კვლევა დანამატების გამოყენებით.....61
11) ძირითადიდასკვნები.....100
12) გამოყენებულილიტერატურის ნუსხა.....102
13) დანართი 1.....106
14) დანართი 2.....107

ცხრილების ნუსხა

1) ცემენტისფიზიკურ-მექანიკურითვისებები.....30
2) პლასტიფიკატორის კლასიფიკაცია.....33
3) ქიმიური და მინერალური დანამატის გამოყენების ეფექტურობა.....44

4) გამოყენებული ცემენტის ტექნიკური მახასიათებლები.....51
5) წინასწარდაძაბული ფილის მახასიათებლები.....53
6) პარაბოლური ღარის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები.....57
7) ქვიშის გრანულომეტრული შემადგენლობა.....68
8) მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა.....69
9) ქვიშის სიმკვრივე.....69
10) ნაყარი მოცულობითი მასა.....70
11) ტენიანობა.....71
12) ღორღის (ფრაქცია 5-10 მმ) მარცვლოვანი შედგენილობა.....73
13) ღორღის მოცულობითი მასა.....74
14) ღორღის სიმკვრივე.....74
15) ღორღის საშუალო სიმკვრივე.....75
16) ღორღის ტენიანობა.....75
17) ღორღის (ფრაქცია 10-20 მმ) მარცვლოვანი შედგენილობა.....76
18) ღორღის ნაყარი მოცულობითი მასა.....76
19) ღორღის სიმკვრივე.....77
20) ღორღის საშუალო სიმკვრივე.....77
21) ღორღის ტენიანობა.....78
22) ცემენტის დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა.....79
23) ცემენტის ხვედრითი ზედაპირის განსაზღვა.....80

24) ცემენტის შეკვრის ვადების
განსაზღვრა.....80
25) ცემენტის ნორმალური სისქელის განსაზღვრა.....81
26) ცემენტის დუღაბისაგან დამზადებული ნიმუშების გამოცდა
კუმშვაზე.....82
27) ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დასკვნითი
მონაცემები.....84
28) ბეტონის შედგენილობა.....85
29) ბეტონის ნიმუშების ყინვამედეგობაზე გამოცდის
შედეგები.....87–88

ნახაზების ნუსხა

1) ცემენტის კოლოიდაციის პერიოდი.....21
2) ცემენტის კრისტალიზაციის პერიოდი.....23
3) გამყარებული ცემენტის ქვა.....26
4) გამყარებული ბეტონის სტრუქტურული სქემა.....28
5) წინასწარდაძაბული ფილის ტექნოლოგიური ხაზი.....52
6) წინასწარდაძაბული ფილა მაგისტრალური არხებისათვის.....53
7) არმატურის წინასწარი დაძაბვა.....54
8) პარაბოლური ღარის დაარმატურება.....55
9) პარაბოლური ღარების მზა პროდუქცია.....56
10) პარაბოლური ღარი.....57
11) შპს „წყალმშენი–ლილოს ცენტრალური ლაბორატორია.....60
12) თვლიდან რელსზე გადაცემული დინამიკური დატვირთვები.....63
13) ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა.....72
14) ცემენტის სიმტკიცე კუმშვისას.....83
15) რკინაბეტონის შპალი.....85
16) ყალიბების მომზადება.....90
17) ბეტონის ჩასხმა.....91

18) ტენტით დაფარვა.....92
19) გაორთქვლის რეჟიმი.....93
20) ვაკუუმდანადგარი.....94
21) განყალიბება.....95
22) შპალების გამოცდა.....96
23) ნახაზების კოლაჟი.....97–98
24) რკინაბეტონის მზა შპალები.....99

შესავალი

წარმოდგენილი სადოქტორი ნაშრომი ეხებაისეთ აქტუალურ საკითხებს როგორიცაა:ბეტონისა და რკინაბეტონის დამზადების კვლევა დანამატების გამოყენებით, რაც ითვალისწინებს შემადგენელი კომპონენტების დამზადებას, თვისებების შესწავლას, ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშებას, მის გამოცდას, რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადებას, მის ტექნიკურ კონტროლს და ექსპლუატაციას.

თემის სიახლე და აქტუალობა იმაში მდგომარეობს, რომ ჩვენი მონაწილეობით მიღებული იქნა ახალი სწრაფმყარებადი ცემენტი, რომელიც გამოყენებული იქნა როგორც შპს „წყალმშენი–ლილოს," ასევე ფირმა „მიქსორის" ქარხნებში რკინაბეტონის ნაკეთობების დასამზადებლად.

ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მაღალი ხარისხის რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადება წინასწარ გამოკვლეული და შესწავლილი შემადგენელი კომპონენტების გამოყენების საფუძველზე.

გამოკვლეული იქნა ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესი ფირმა „მიქსორის" ცენტრალურ ლაბორატორიაში, რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგენილი იქნა ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესი საწყის

სტადიაზე28 დღე–ღამის ასაკში, რამაც შეადგინა 40 – 50 %–ს. პროფესორ პეტრე წულუკიძის და პროფესორ ანზორ ნადირაძის კველევების საფუძველზე, რომელიც ჩატარებული იქნა ზაჰესის, ლაჯანურის და გუმათჰესის კაშხლების 40 წლის ასაკის ბეტონის კერნების გამოცდის შედეგების მიხედვით ცემენტის დარჩენილი რაოდენობა 50 – 60 % ჰიდრატირდება ნაგებობების ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პერიოდში. ჰიდრატაციის შედეგად ნაგებობებში გაზრდილი იქნა ბეტონის სიმტკიცე – 2,5–ჯერ, რაც ემთხვევა ჩვენს მოსაზრებას ამ თვალსაზრისით.

ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადებისას გამოყენებული იქნა ქსოვრისის კარიერიდან მიღებული ინერტული მასალები: ქვიშა და ღორღი. კვლევის საფუძველზე დადგენილი იქნა მათი გრანულომეტრული შედგენილობა და ფიზიკურ მექანიკური თვისებები: სიმკვრივე, მოცულობითი მასა, ტენიანობა, ცარიელობა, მავნე მინარევების შემცველობა.

კვლევების შედეგად დადგენილი იქნა რომ ეს მასალებისავსებით შეესაბამება სახელმწიფო სტანდარტის გოსტ – 8735 – 88 „ ქვიშა სამშენებლო სამუშაოებისათვის“ მოთხოვნებს.

ბეტონისშემადგენელი მასალების შესწავლის შემდეგ დაპროექტებული იქნა B–15, B–25 და B–40 კლასის ბეტონის შედგენილობები. დადგენილი იქნა მათი საპროექტო სიმტკიცეები 28 დღე–ღამის ასაკში.უნდა აღინიშნოს, რომგამოცდის შედეგებმა დააკმაყოფილა ნაკეთობების წინასწარ მოთხოვნილი ტექნიკური მახასიათებლები.

როგორც ყველა ბეტონის, ჩვენ შემთხვევაშიც მისი ტექნიკურ–ეკონომიკური მახასიათებლების გაუმჯოსებეისათვის ფირმა „მიქსორის“ რკინაბეტონის შპალების ქარხანაში უცხოელ

პარტიორებთან კონსულტაციის შედეგად შერჩეული იქნა ახალი თაობისსუპერპლასტიფიკატორი CHRYSO®FlUID PREMIA- 180. ამ დანამატის გამოყენებით გაუმჯობესებული იქნა რკინაბეტონის შპალების როგორც ტექნოლოგიური ასევე ტექნიკური მახასიათებლები, რამაც განაპირობა შპალების გამოყენება ისეთ საპასუხისმგებლო პროექტებში, როგორიცაა „ყარსი–ახალქალაქის“ რკინიგზა და საქართველოს სარკინიგზო მაგისტრალის რეაბილიტაცია.

შპალების თბოტენიანიანი დამუშავებისასსწრაფმყარებადი ცემენტის გამოყენების პროცესშიშემცირდა გაორთქლის ხანგრძლივობა 2 – 4 საათით, ხოლო გაორთქლის მაქსიმალური ტემპერატურა 90^{0}C–დან 60^{0}C–მდე. გარდა ამისა სწრაფმყარებადი ცემენტი ამცირებს, ნარევის მაღალი დენადობის გამო ვიბროდამუშავების ხანგრძლივობას 70 %–ით, ზრდის წყალუჟონადობას, ყინვაგამძლეობას და ნაკეთობის სახიანი ზედაპირის ხარისხს, რაც საბოლოო ჯამში იძლევა მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს.

ლიტერატურის მიმოხილვა

სადისერტაციო ნაშრომის შესრულებისას გამოყენებული იქნა, ისეთიო ცნობილი მეცნიერების ნაშრომები და კვლევები როგორიცაა: ა. ჟურავლიოვი, ვ. ოკოროკოვი, პ.რებინდერი, გ.ი. გორჩაკოვის, გ.კრილოვის, ვ.ი. კროპოტოვის, ვ.ე. იასპევიჩის, ა.გ. კომარის, ვ.გ. მიკულსკის, ი.გ. ბარბანშიკოვის, ი.ლ. ზნაჩკო–იავორსკის გ. წითელაურის, გ. ცისკრელის, პ. წულუკიძის, გ. ქარცივაძის, ა. ნადირაძის და სხვა.

შემკვრელი ნივთიერებები შედგენილობის, თვისებების და გამოყენების მიხედვით იყოფა არაორგანულ და ორგანულ ნივთიერებებად.

არაორგანული შემკვრელი ნივთიერებები წარმოადგენს ფხვნილისებს მასალას. წყალთან ადუღაბებისას ისინი თხევადი, ან პლასტიკური ცომის მდგომარეობიდან გადადიან ქვისებრ მდგომარეობაში. შემკვრელი ნივთიერებები გამოიყენება მარცვლოვანი მასალების ან ცალობითი ნაკეთობების დასაკავშირებლად, ამაზეა დამყარებული სამშენებლო დუღაბის, ბეტონის და სხვადასხვა ხელოვნური ქვის დამზადება.

არაორგანული შემკვრელი ნივთიერებები ძირითადი თვისებებისა და შედგენილობის მიხედვით იყოფა ჰაერულ, ჰიდრავლიკურ და ავტოკლავურ გამყარების შემკვრელებად.

ცემენტის ჰიდრატაციის საკითხის შესწავლას მიეძღვნა უამრავი შრომა. ჩვენ შევეცადეთ გადმოგვეცა ამ ნაშრომების ძირითადი არსი.

პორტლანდცემენტის აღმოჩენა რევოლუციური მნიშვნელობის მოვლენაა და მის პირველ აღმომჩენად ინგლისელი ჯოზეფ ასპდინი ითვლება. მან 1824 – 1825 წლებში გამოიგონა პორტლანდცემენტი. ამასთან მას მიღებული აქვს პატენტი პორტლანდცემენტის გამოგონებაზე ქალაქ პარიზში. საამაყოა ის რომ ასპდინის პარალელურად იმავე პერიოდში რუსეთში ჩვენი თანამემამულის სამხედრო ინჟინრის იგორ გერასიმის ძე ჭელიძის მიერ მიღებული იქნა იგივე თვისებების მქონე ცემენტი. ამასთან ჭელიძემ 1825 წელს გამოაქვეყნა ფუნდამენტური ნაშრომი, სადაც აღწერილი იქნა ცემენტის ნედლეული, დამზადების ტექნოლოგია და მისი თვისებები. ნაშრომი შეადგენს 30 -40 ნაბეჭდ თაბახს, რაც გვაძლევს საფუძველს იმისას რომ იგი ჩავთვალოთ პორტლანდცემენტის გამომგონებლად. ჭელიძის მიერ მიღებული ეს ცემენტი გამოყენებული იქნა პირველ სამაულო ომის დროს დანგრეული მოსკოვის აღსადგენად. ამრიგად პორტლანდცემენტის წარმოების ფუძემდებლად ჩვენს ქვეყანაში ითვლება ჭელიძე, ამის დასტურია И. А. Значко-Яворски მიერ 1969 წელს რუსულ ენაზე გამოცემული წიგნი, სახელწოდებით: „იგორ გერასიმის ძე ჭელიძე - ცემენტის გამომგონებელი.“

მიღებული პორტლანდცემენტი თანდათან სრულყვეს ინგლისელმა მეცნიერმა ჩარლზ ჯონსონმა და რუსმა შულიაჩენკომ, მალიუგამ და ჩვენმა თანამემამულემ ვ. მიხაილოვმა. ამ ცემენტს რუსეთში და შემდგომ ყოფილ საბჭოთა კავშირში მე-XX-ე საუკუნის 50-იან წლამდე უწოდებდნენ ჩვეულებრივ ცემენტს, ხოლო შემდგომში მას საერთაშორისო სტანდარტებზე გადასვლის გამო შეარქვეს

პორტლანდცემენტი, რადგან იგი დამზადებული იყო ქალაქ პორტლენდში. ეს ქალაქი მდებარეობდა ლონდონის მახლობლად, ამჟამად ლონდონის შემადგენლობაშია. საინტერესოა ისიც რომ ჯოზეფ ასპდინის შვილმა ამ ქალაქში ააშენა ცემენტის ქარხანა, რომლის წინაც დგას ჯოზეფ ასპდინის ძეგლი. ამჟამად ეს ქარხანა არ მოქმედებს და არის მუზეუმი.

თავი I

შემკვრელი და დანამატები

ცემენტის კვლევისას მეცნიერები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ ბეტონის ნარევის დამზადებისას მისგან დამზადებულ ნაკეთობაში არ ხდება ცემენტის სრული ჰიდრატაცია და მისი დიდი ნაწილი არ ღებულობს მონაწილეობას ბეტონის გამყარებაში.

ქარხნები ცემენტს უშვებენ სხვადასხვა დაფქვის სიწმინდით. ცნობილია, რომ რაც უფრო წმინდად არის დაფქული ცემენტი მით უფრო აქტიურად მიმდინარეობს მისი გამყარების პროცესი და ცემენტის მოლეკულების უფრო დიდი რაოდენობა ღებულობს ჰიდრატაციაში მონაწილეობას.

ა. ბაიკოვი ცემენტის გამყარების პროცესს ხსნის, როგორც კრისტრალიზაციის და კოლოიდური პროცესების ერთობლიობას და მათ მიერ არის გამოთქმული მოსაზრება იმის შესახებ, რომ ყოველგვარი ჰიდრატაციული გამყარების პროცესი გაივლის კოლოიდურ მდგომარეობას, მაშინაც კი როცა საბოლოო შედეგი იძლევა კრისტალურ წარმონაქმნს. მეცნიერები ცემენტის გამყარებას ყოფენ 3 პერიოდად:

1) მოსამზადებელი (ან გახსნის) პერიოდი. წყლისა და ცემენტის ურთიერთქმედებისას იწყება კლინკერული მინერალების გახსნა. ამ დროს მიმდინარეობს ჰიდროლიზის და ჰიდრატაციის რეაქციები, რის შედეგადაც წარმოიქმნება სტაბილური და მედეგი შენაერთები. ეს

გარემოებაა ცემენტის, როგორც მჭიდი მასალის წარმოების პრინციპი და საფუძვლები.

$3CaO * SiO_2 + 5H_2O = 2CaO * SiO_2 * 4H_2O + Ca(OH)_2$

$2CaO * SiO_2 + 4H_2O = 2CaO * SiO_2 * 4H_2O$

$3CaO * AL_2O_3 + Ca(OH)_2 + 18\ H_2O = 4CaO * AL_2O_3 * 19\ H_2O$

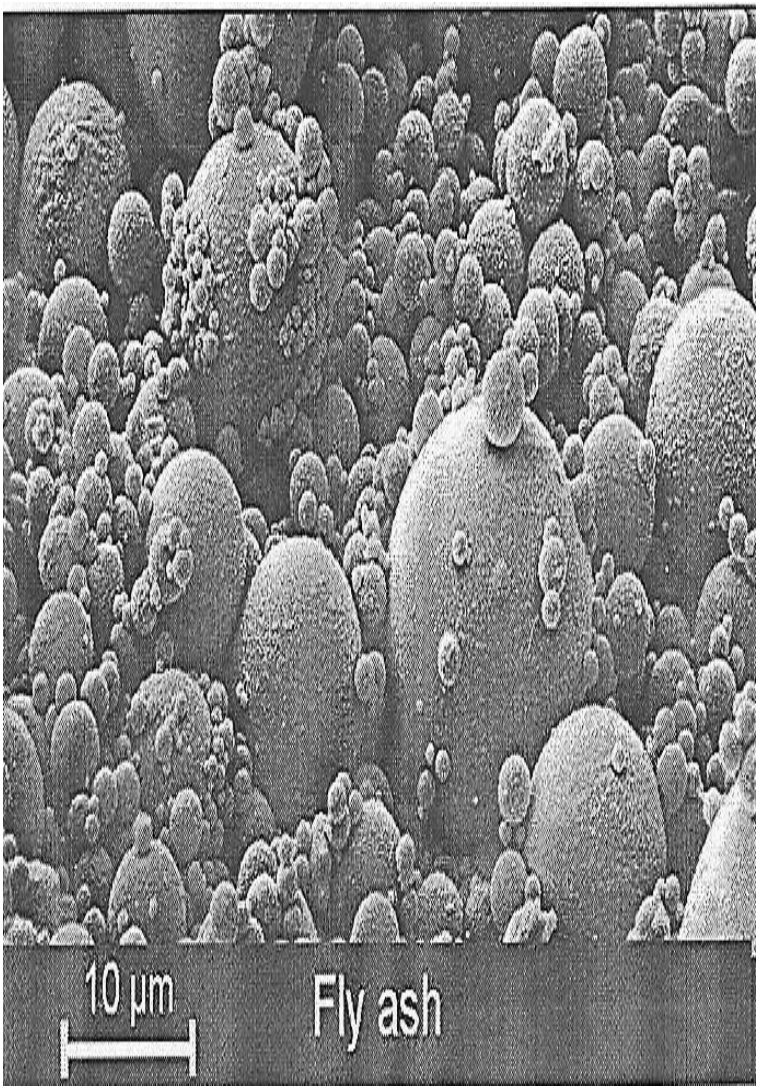
$4CaO * AL_2O_3 * Fe_2O_3 + nH_2O = 4CaO * AL_2O_3 * Fe_2O_3 * nH_2O$

პორტლანდცენტის წყალთან ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნება პლასტიკური ცომი, რომელიც თანდათან სქელდება და გადადის ქვისებრ მდგომარეობაში.

კლინკერის თითოეული მინერალი წყალში სხვადასხვა სიჩქარით იხსნება და წარმოქმნიან ახალ წარმონაქმნებს.

2) კოლოიდაციის პერიოდი. ნარევის სრული გაჟღენთვის დროს მიღებული ჰიდრატები ძირითადად ორკალციუმიანი C_2S ჰიდროსილიკატები არ იხსნება წყალში და გადადის კოლოიდურ მდგომარეობაში. ეს კოლოიდები გროვდება ცემენტის მარცვლების ზედაპირზე ლამისმაგვარი მასის სახით, რომელსაც გელს უწოდებენ. გელი თანდათან მყარდება, როგორც ბუნებრივ სინესტის შემცირების ხარჯზე, ასევე წყლის თანდათან სიღრმეში შეღწევით. ეს პროცესი ზრდის გელის შეწებების უნარს. გელი აწებებს ცემენტის ნაწილაკებს, რის გამოც ცემენტის ცომი კარგავს პლასტიურობას და იწყებს შეკვრას.

ნახ. 1.1 ცემენტის კოლოიდაციის პერიოდი



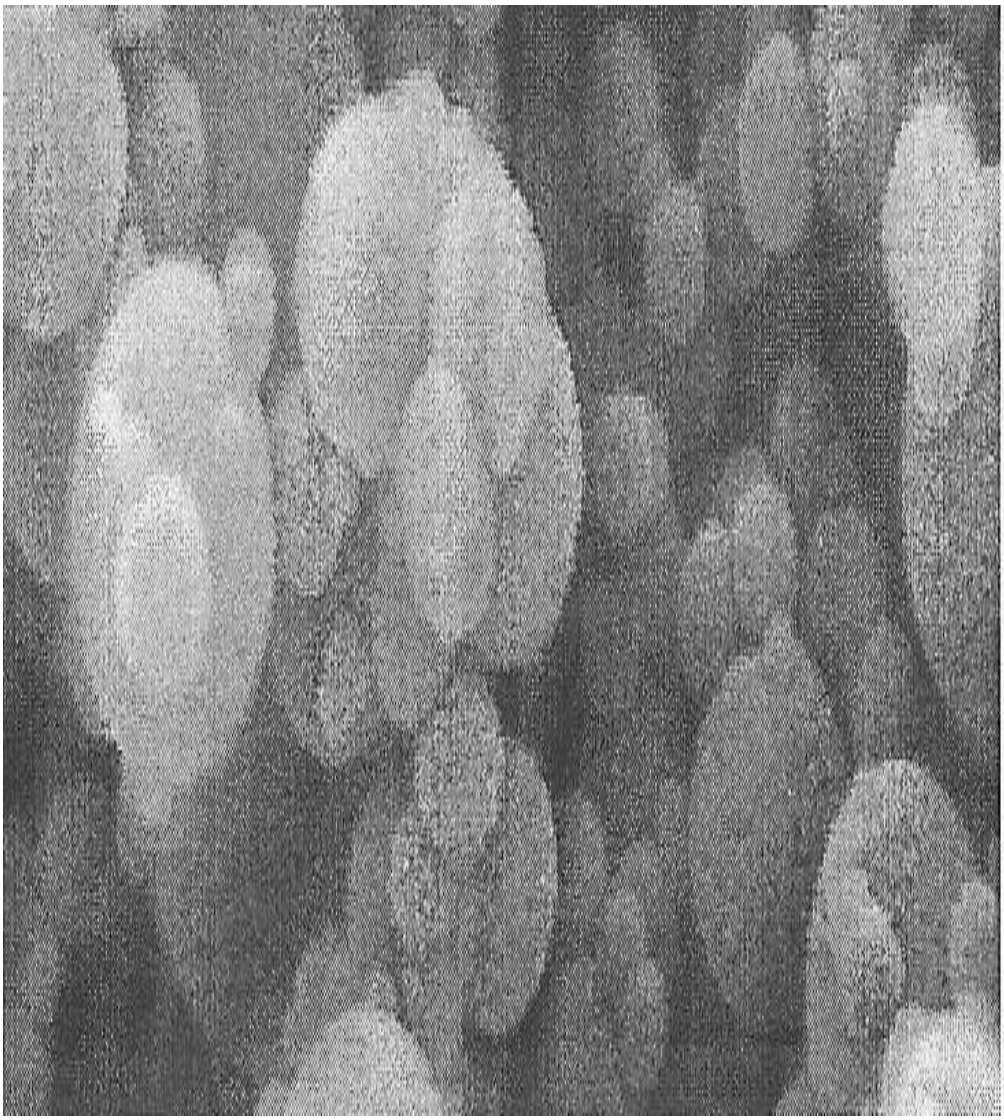
3. კრისტალიზაციის პერიოდი. ამ პერიოდში ხდება ცემენტის ქვის წარმოქმნა.

პორტლანდცემენტი მით უფრო სწრაფად მაგრდება რაც მეტია მასში C_3S (ალიტი), იგი მთავარი მინერალია, რომელიც განსაზღვრავს ცემენტის მარკას. 7 დღე-ღამის ასაკში იღებს 28 დღიანის სიმტკიცის 70 %-ს, ბელიტი (C_2S) პირიქით ნელა მყარდება და დროთა განმავლობაში

მაღალ სიმტკიცეს აღწევს. ბელიტი საწყის პერიოდში იძენს სამარკო სიმტკიცის მხოლოდ 15 %-ს. შემდგომში მისი სიმტკიცე თანდათან მატულობს და 3 – 6 თვის შემდეგ აჭარბებს კიდეც ალიტის სიმტკიცეს, აქედან გამომდინარე ისეთი ბეტონების მიღებისას, რომელთაც ესაჭიროებათ მაღალი ადრეული სიმტკიცე იყენებენ ალიტურ ცემენტებს. ყველაზე სწრაფად ჰიდრატირდება ცელიტი C_3A, მაგრამ მისი სიმტკიცე დაბალია.

ცემენტი ინტენსიურად მაგრდება ტენიან გარემოში, ნორმალური 20+ 3^0C დროს. წყლიან გარემოში ცემენტი უფრო სწრაფად მაგრდება და მეტი სიმტკიცით ხასიათდება. ტემპერატურის ზრდა ტენიან გარემოში კიდევ უფრო აჩქარებს ცემენტის გამაგრებას. ხოლო დაბალი ტემპერატურა ანელებს ცემენტის გამაგრებას, უარყოფით ტემპერატურაზე კი ხდება გამყარების პროცესის შეწყვეტა.

ნახ. 1.2 ცემენტის კრისტალიზაციის პერიოდი



ცემენტის თბოტენიანი დამუშავება (გაორთქლვა 25 - 100^{0}C-ზე) აჩქარებს ჰიდრატაციის პროცესს. ამ დროს (გაორთქლვის დროს) წარმოქმნილი ჰიდროსილიკატები მკვეთრი კრისტალური აღნაგობით ხასიათდებიან. 7 – 8 საათის გაორთქლვის შემდეგ ცემენტის ქვის სიმტკიცე აღწევს 28 დღიანი სიმტკიცის 70-80 %-ს, მაგრამ გაორთქლილი ნიმუშების სიმტკიცე 15-20 %-ით ჩამორჩება იმავე ნაკეთობის სიმტკიცეს ნორმალურ პირობებში შენახვისას და დროთა განმავლობაში აღარ იზრდება. ეს იმით აიხსნება, რომ ცემენტის

სიმტკიცის ზრდაში დიდ როლს ასრულებს კალციუმის ჰიდროსილიკატების გელისებრ მდგომარეობაში გადასვლა, რაც გაორთქლვის შემდეგ მინიმუმდე მცირდება.

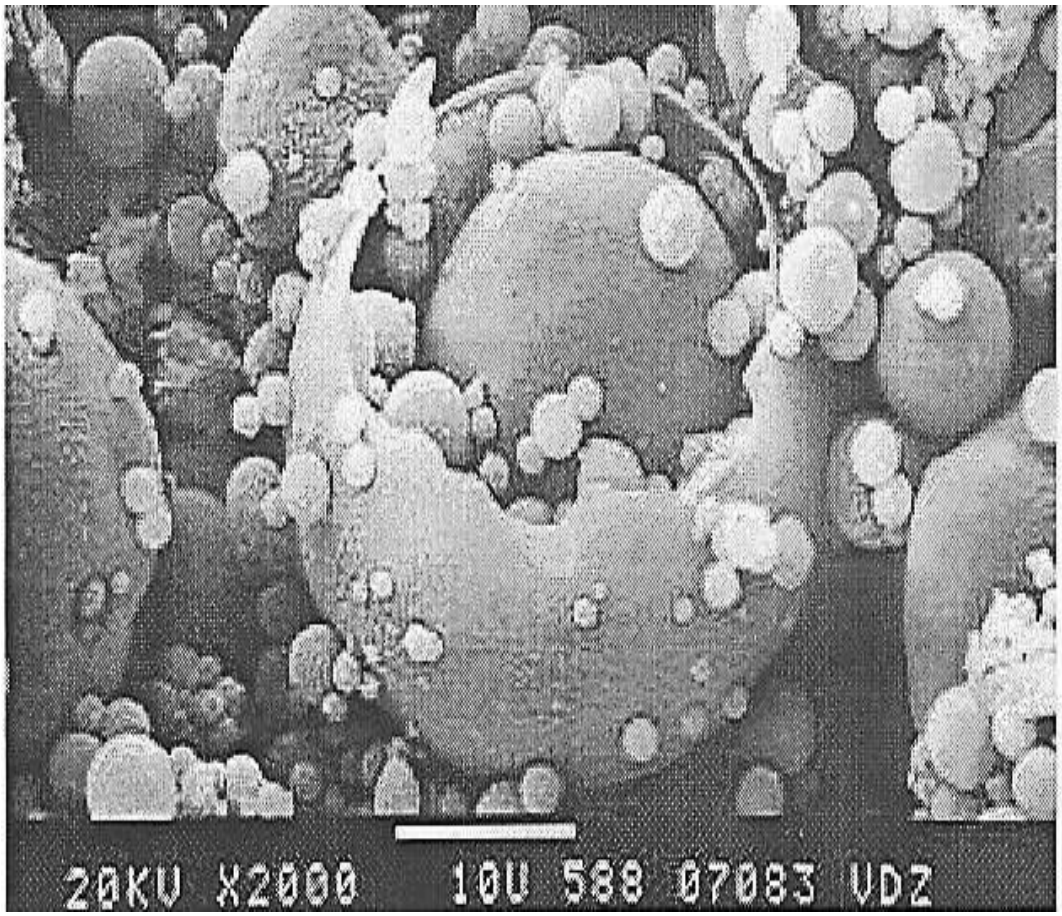
ცემენტის მარცვლების ჰიდრატაციის პროცესში რეაქცია მიმდინარეობს მარცვლების ზედაპირზე, სადაც ჩნდება გელისებრი ახალწარმონაქმნი, რომელიც გარს ეკვრის მარცვალს და აძნელებს მასში წყლის შეღწევას. დროთა განმავლობაში მარცვალი თანდათან განიცდის ჰიდრატაციას, გელის შემადგენლობაში წყალი თანდათან მცირდება, მარცვალი კი მკვრივდება, შესაბამისად ცემენტის ქვის სიმკვრივე იზრდება.

პორტლანდცემენტის წყალთან ურთიერთქმედების თეორია და შემდგომ მისი გამყარების პროცესი განავითარეს თავიანთ შრომებში ჟურავლიოვმა, ოკოროკოვმა, ა. რებინდერმა ჩაატარა საფუძვლიანი კვლევა, რის შედეგადაც უფრო ნათელი გახდა წარმოდგენები შემკვრელი ნივთიერების გამყარების პროცესზე. მეცნიერების აზრით გამყარებისას იხსნება არამდგრადი საწყისი ნივთიერება და ხდება თერმოდინამიკურად მდგრადი ჰიდრატული ახალწარმონაქმნების გადაკრისტალება. დასაწყისში ამ ახალწარმოქმნილი ნაწილაკებიდან წარმოიქმნება კოაგულაციური სტრუქტურა, (შედედებული), რისთვისაც დამახასიათებელია დაბალი სიმტკიცე და ტიქსოტროპიულობა. (ე.ი. უნარი აღიდგინოს სტრუქტურა მისი რღვევის შემდეგ), შემდეგ კი თანდათან ხდება მყარი კრისტალური სტრუქტურის ჩამოყალიბება.

ცემენტის შეკვრის ვადების რეგულირებისას უმატებენ თაბაშირს 1,5 – 3,5 % მჭიდას მასიდან, რაც აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შეკვრის დასაწყისი არაუადრეს 45 წუთი ადუღაბებიდან, დასასრულს არაუგვიანეს 8 - 10 სთ-ის ადუღაბების შემდეგ. ყველაზე

სწრაფად იკვრება სამკალციუმიანი ალუმინატი $3CaO*Al_2O_3$ (C_3A) – ცელიტი, სულ რამოდენიმე წუთში, რაც ცემენტს პრაქტიკულად გამოუყენებელს ხდის. თაბაშირის დაუმატებლობის შემთხვევაში, კლინკერი შეიკვრება 1-2 წუთში, სიმტკიცე კი ექნება 2-3-ჯერ ნაკლები, ამიტომ ორწყლიანი თაბაშირი ($CaSO_4*2H_2O$) უნდა დაემატოს იმ რაოდენობით, რომ მთლიანად შეებას რეაქციაში ეტრინგიტის წარმოსაქმნელად 1 დღის განმავლობაში (12 – 16 სთ) თაბაშირი მოქმედებას სამკალციუმიან ალუმინატთან (ცელიტთან) და წარმოიქმნება ნაერთი ეტრინგიტი. ეტრინგიტი გარს ეკვრის ცელიტის მარცვლებს და ხელს უშლის მის სწრაფ ჰიდრატაციას.

ნახ.1.3 გამყარებული ცემენტის ქვა



გამყარებული ცემენტის ქვა წარმოადგენს არაერთგვაროვან მიკროსკოპულ სტრუქტურულ სისტემას, რომელიც შედგენილი კოლოიდური ნაწილაკებისაგან, კრისტალური შენაერთებისგან და გელისებრი მასისგან. გარდა ამისა ცემეტის ქვა შედგება კლინკერული ნაწილების არაჰიდრატირებული ნაწილისაგან, რაც არაერთგვაროვანს ხდის ცემენტის ქვას. ცემენტის ქვის ამ არაერთგვაროვან სისტემას ვ. იუნგმა „მიკრობეტონი“ უწოდა.

პორტლანდცემენტის ჰიდრატაციაზე და მის შეკვრის პროცესზე დიდ გავლენას ახდენს მისი დაფქვის სიწმინდე. ცემენტს დაფქვის სიწმინდის მიხედვით განასხვავებენ:

1) მსხვილი დაფქვის სიწმინდით. მარცვლის ზომა 60 – 100 მკ. ხვედრითი ზედაპირი 2400 – 2500 სმ^2/გ.

2) საშუალო დაფქვის სიწმინდით. მარცვლის ზომა 30 – 60 მკ. ხვედრითი ზედაპირი 2500 – 3500 სმ²/გ.

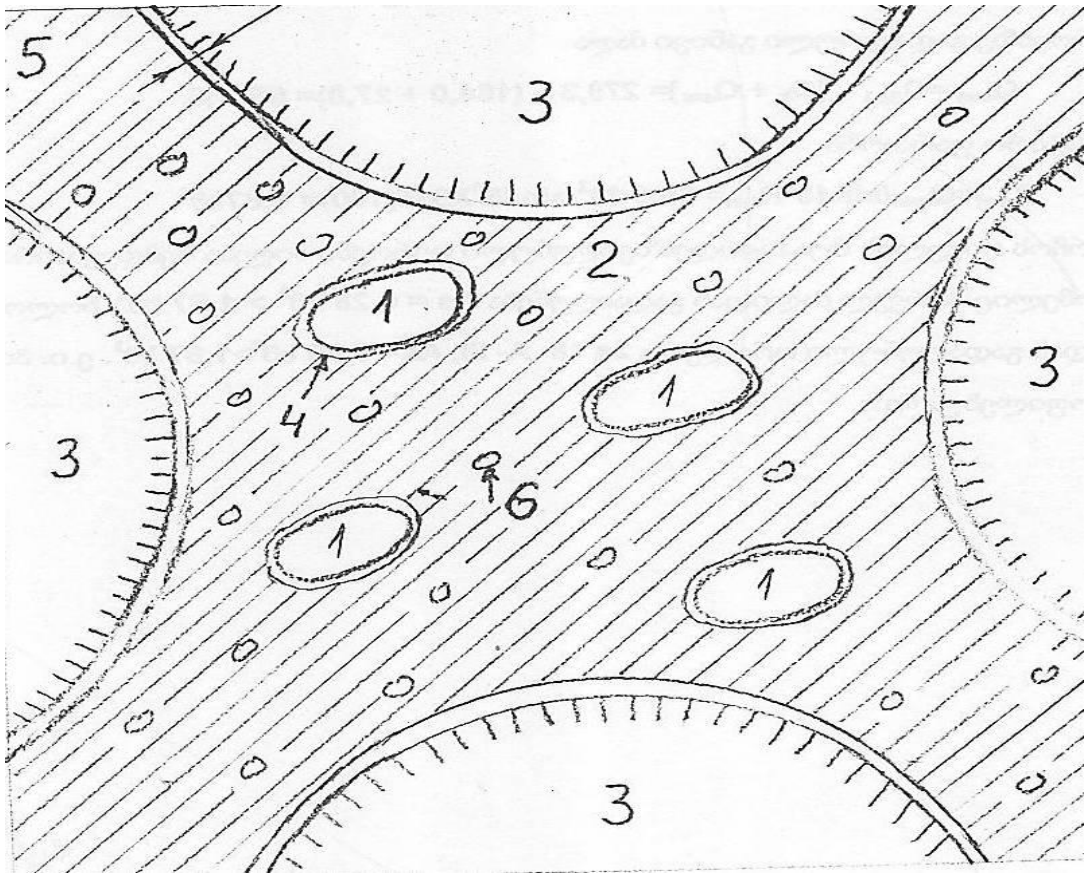
3) წვრილად დაფქვილი ცემენტი 30მკ-ზე მეტი. 4000 – 6000 სმ²/გ.

დაფქვის სიწმინდეს საზღვრავენ საცრული ანალიზით N008 ნახვრეტის ზომა 80 მკ-ია. გაცრის შემდეგ ნარჩენი საცერზე არ უნდა იყოს საწყისი მასის 15 %-ზე მეტი. ჩვეულებრივი დაფქვის პორტლანდცემენტში მასის 40-50% არ მონაწილეობს ცემენტის ქვის გამყარების საწყის სტადიაზე.

ცემენტის ეფექტურად გამოყენებისთვის აუცილებელია მასში არ იყოს ისეთი ზომის მარცვლები, რომლებიც თავისი სისქის გამო ვერ შევლენ რეაქციაში წყალთან. ამის თავიდან ასაცილებლად სასურველია ცემენტის მარცვლის სისქე იყოს 20 მკ-ზე ნაკლები.

ცემენტის ქვის სტრუქტურის წარმოქმნა (და არა გამყარება) მთავრდება 3 დღე-ღამის განმავლობაში. 3 დღე-ღამის გამყარებულ ბეტონს აქვს ასეთი სტრუქტურა: შემვსები და ცემენტის ქვის ერთობლიობა. თვითონ ცემენტის ქვა აერთიანებს ცემენტის ქვის წებოვან ნაწილს, რომელიც შედგება მთლიანად ჰიდრატირებული ცემენტის მარცვლისგან ზომით 20 მკ. შიგნით კი ცემენტის კლინკერია. ძირითად როლს ასრულებს წებოვანი ფენა, რომელიც გარს ეკვრის წვრილი და მსხვილი ფრაქციისგან შედგენილ ინერტულ შემვსებს და აკავშირებს ცემენტის ქვასთან.

ნახ. 1.4 3 დ/ღ ასაკში გამყარებული ბეტონის სტრუქტურული სქემა



ნახ. 1.4 3 დღე–ღამის ასაკში გამყარებული ბეტონის სტრუქტურული სქემა

1. 20 მიკრონზე მსხვილი ზომის ცემენტის მარცვლები;
2. ცემენტის ქვის წებოვანი ნაწილი;
3. შემვსები;
4. 20 მიკრონზე მსვილი ცემენტის მარცვლების ჰიდრატირებული ზედაპირი;
5. ცემენტის ქვის წებოვანი აპკი, რომელიც გარს ეკვრის შემვსებს;
6. 20 მიკრონზე მცირე ცემენტის მარცვლები.

ნაშრომში მოყვანილიაპ. რებინდერის მიერ წარმოებული კვლევები წვრილად დისპერსიული ცემენტის მარცვლებისაგან დამზადებული ცომის 24 საათის შემდგომი ჰიდრატირებული და

არაჰიდრატირებული ნაწილის კვლევა და მიღებული შედეგების ანალიზი.

ჰიდრატირების საშუალო პროცენტი ცემენტის ადუღაბებიდან 24 საათის შემდეგ აღწევს 17–20 %. ეს პროცენტი იზრდება და გამყარების ნორმალურ პირობებში იძლევა 40-50%. არაჰიდრატირებული მარცვლები კი ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში შედის რეაქციაში წლების განმავლობაში.

1.1 ექსპერიმენტული სამუშაოს მეთოდიკა

ჩვენს მიერ ექსპერიმენტის სახით შესრულდა შემდეგი სამუშაოები: გამოკვლეული იქნა ჰაიდელბერგცემენტჯორჯიას მიერ დამზადებული ახალი სწრაფმყარებადი ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. გაუმჯობესებული ცემენტის მახასიათებელი მიღწეულ იქნა BASF-ის მიერ წარმოებული დაფქვის ინტენსიფიკატორი MasterCem ES 2125-ის მიერ. ეს დანამატი წარმოადგენს ყვითელი ფერის ბლანტ სითხეს, თავსებადია ყველა ტიპის ცემენტებისთვის, ემატება დაფქვის პროცესის დროს ბურთულა წისქვილებში მხოლოდ ცემენტის მშრალი მეთოდით წარმოებისას და აუმჯობესებს ცემენტის ადრეულ სიმტკიცეს - 24 საათის შემდეგ სიმტკიცე უმჯობესდება 10-25 %. ამავდროულად ცემენტი ინარჩუნებს თავის ორიგინალურ მახასიათებლებს. ასეთი ცემენტის გამოყენებისას უმჯობესდება ბეტონის ნარევის დენადობა, რაც საშუალებას გვაძლევს დავზოგოთ ბეტონის პლასტიფიცირება ძვირადღირებული დანამატებით. დაფქვის ინტენსიფიკატორი ეფექტურია თავისი თვისებებით და ეკონომიურობით, რამეთუ 1 ტონაზე ემატება 0,05 - 0,25 %. რაც მხოლოდ 2,26 ლ-ით აძვირებს ერთ ტონა ცემენტს . დაფქვის დროს იხარჯება ნაკლები ენერგია,

ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

ცხრილი N1.1

დასახელება	დაფქვის სიწმინდე სმ²/გრ	ცემენტის შეკვრა		წყალმოთხოვნილება %	E2dსიმტკიცე,მგპა	E7dსიმტკიცე,მგპა	E28dსიმტკიცე,მგპა
		შეკვრისპროცესის დასაწყისი,წთ	შეკვრის პროცესის დასასრული,წთ				
CemI 42.5 R	3354	45	720	23.8	21.5	38.5	50.8
Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით	3400	30	680	24.0	28.0	40.5	51.5

1.2დანამატები

ბეტონის და ბეტონის ნარევის თვისების რეგულირებისათვის გამოიყენება სხვადასხვა დანამატები. მათ ყოფენ ორ სახეობად: ქიმიური დანამატი, რომელიც ემატება ბეტონს მცირე რაოდენობით (0,1 – 2% ცემენტის მასიდან) რაც მიზანშეწონილად ცვლის ბეტონის ნარევის და ბეტონის თვისებას. ქიმიური დანამატების გამოყენება ყველაზე უნივერასალური, ხელმისაწვდომი და მოქნილი მეთოდია ბეტონის ტექნოლოგიის მართვისა და მისი თვისებების რეგულირებისათვის. თუ ადრე მშენებლობაში დანამატად გამოიყენებოდა ცალკეული ქიმიური პროდუქტი და წარმოების მოდიფიცირებული ნარჩენი, ამჟამად სპეციალურად მზადდება დანამატები. საგულისხმოა, რომ ერთი და იგივე დანამატისხვადასხვა დოზირების დროს ხშირად იწვევს სხვადასხვა შედეგს, რამაც შეიძლება დაჩქაროს ან შეანელოს ბეტონის გამაგრება. მაგალითად სუპერპლასტიფიკატორის ზედმეტი რაოდენობა, ძალიან აყოვნებს ბეტონის გამაგრებას დამაჩქარებელი დანამატის $CaCl_2$ გამოყენებისას, მისი დიდი დოზა იწვევს არმატურის კოროზიას, ამიტომ რკინაბეტონში მისი რაოდენობა იზღუდება 2% –მდე.

დანამატი როგორც წესი შეირჩევა სამშენებლო ლაბორატორიაში ცდების საშუალებით. ზოგიერთ დანამატს აქვს მრავალფუნქციური მოქმედება, მაპლასტიფიცირებელი და აირწარმოქმნელი. ამშემთხვევაში დანამატის კლასიფიცირებას ახდენენ უფრო მეტად გამოსახულიმოქმედებისეფექტისმიხედვით. მაგალითად მაპლასტიფიცირებელი დანამატი ეფექტურობის მიხედვით იყოფა ოთხ კატეგორიად.

პლასტიფიკატორის კლასიფიკაცია

ცხრილი 1.2

კატეგორია	ჯგუფი	მოქმედების ეფექტურობა	
		ჯდენის შემცირება, სმ	წყალმოთხოვნილების შემცირება, %
I	სუპერპლასტიფიკატორი	2.....3–დან 20–მდე	არანაკლებ 20
II	ძლიერი პლასტიფიკატორი	2.....3–დან 14....20–მდე	არანაკლებ 10
III	საშუალო პლასტიფიკატორი	2.....3–დან 8.....20–მდე	არანაკლებ 5
IV	სუსტი პლასტიფიკატორი	2.....3–დან 6.....8–მდე	5–ზე ნაკლები

დანამატის მრავალფუნქციური მოქმედების ეფექტის დასადგენად გამოიყენება კომპლექსური დანამატი, რომელშიდაც ჩართულია რამდენიმე კომპონენტი, მაგალითად, დანამატი, რომელიც ერთდროულად ათხევადებს ბეტონის ნარევს და აჩქარებს ბეტონის გამაგრებას და სხვა. დამუშავებულია კომპლექსური დანამატის უამრავი სახეობა, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს არსებითად ვმართოდ ბეტონის ტექნოლოგია და თვისებები. კომპლექსური დანამატი პირობითად შეიძლება გავყოთ ოთხ ჯგუფად: I – ზედაპირულაქტიური ნივთიერების ნარევი, II – ზედაპირულ–აქტიური ნივთიერებისა და ელექტროლიტის ნარევი, III - სუპერპლასტიფიკატორის საფუძველზე მიღებული კომპლექსური დანამატი, IV - რთული მრავალკომპონენტიანი კომპლექსური დანამატი.

ჰაერშემყვანი დანამატი: დანამატი გამოიყენება ძირითადად ბეტონის და ყინვამედეგობის ასამაღლებლად. ეს დანამატი ოდნავ ამცირებს ბეტონის სიმტკიცეს. ბეტონში ამ დანამატის გამოყენებისას შეყვანილი ჰაერის შემცველობა შეადგენს 4....5%. ამ შემთხვევაში ბეტონის სიმტკიცე პრაქტიკულად არ მცირდება, რადგან შეყვანილი ჰაერის უარყოფითი გავლენა კომპენსირდება ცემენტის ქვის სიმტკიცის ამაღლებით, რაც გამოწვეულია წყალცემენტის ფარდობის შემცირებით, დანამატის მაპლასტიფიცირებადი ეფექტის გამო. დანამატი ახდენს ბეტონის ფორების და კაპილარების ჰიდროფობიზაციას, ჰაერის ბუშტუკები კი სარეზერვო მოცულობაა, წყლის გაყინვის შედეგად წარმოქმნილი შინაგანი დაძაბულობის შესამცირებლად. შედეგად იზრდება ბეტონის წყალუჟონადობა და ყინვამედეგობა.

ჰიდროფობულ–მაპლასტიფიცირებელ დანამატს მიეკუთვნება კაჟბადორგანული სითხე: ნატრიუმის მეთილსინიკონატი (ГКЖ-11), ნატრიუმის ეთილსილიკონატი (ГКЖ-10) და ეთილჰიდროსილიკონის სითხე (ГКЖ-94),რომლებსაც იყენებენ აგრეიულ გარემოში ბეტონის და დუღაბის მედეგობის გაზრდისთვის.

სუპერპლასტიფიკატორი – ბეტონის ერთ–ერთი ყველაზე ეფექტური დანამატია, რომელიც მკვეთრად ზრდის ბეტონის ნარევის პლასტიფიკურობას და მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ბეტონის სამშენებლო–ტექნიკურ თვისებებს. სუპერპლასთიფიკატორი სინთეზური პოლიმერული ნივთიერებაა, რომელიც შეჰყავთ ბეტონის ნარევში ცემენტის მასის 0,2.....1,5%, მისი მოქმედების დრო შეზღუდულია 2–3 საათით, ნარევში შეყვანიდან, ტუტე გარემოს ზემოქმედებით ის განიცდის ნაწილობრივ დესტრუქციას, გადადის

სხვა ნივთიერებაში, რომელიც უსაფრთხოა ბეტონისათვის და არ აყოვნებს მის გამაგრებას.

სუპერპლასტიფიკატორი გაცილებთ მეტად ათხელებს ბეტონის ნარევს, ვიდრე სხვა პლასტიფიკატორი. მაგალითად ადიდებს კონუსის ჯდენას 2 – 22 სმ–მდე, ან 20–30 %–ით ამცირებს ბეტონის ნარევის წყალმოთხოვნილებას. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ დაბალი წყალცემენტის (0,4 და ნაკლები) ფარდობის ბეტონი, მივიღოთ მაღალი სიმტკიცის ბეტონი უფრო მარტივად, ვიდრე სხვა ტექნოლოგიური მეთოდების გამოყენებისას, რაც იწვევს ცემენტის ხარჯი, ზოგჯერ 40%–მდე შემცირებას. წყალცემენტის დაბალი მაჩვენებელი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ბეტონი, რომლის სიმტკიცე ორჯერ აღემატება გამოყენებული ცემენტის მარკას, რაც მნიშვნელოვან ეფექტს წარმოადგენს.

გამაგრების დამაჩქარებელ დანამატად გამოიყენება: კალციუმის ქლორიდი, ნატრიუმის სულფატი, ნიტრიტ–ნიტრატ–ქლორიდი და სხვა. ამასთან აუცილებელია გავითვალისწინოთ მათი უარყოფითი თვისებები. მაგალითად კალციუმის ქლორიდი ხელს უწყობს არმატურის კოროზიას, ამიტომ მისი გამოყენება რკინაბეტონში შეზღუდულია 2%-მდე.

ბოლო ხანებში მრეწველობაში გამოჩნდა ბეტონის უქლორო გამამაგრებელი: ალუმინატი, კალციუმის ფორმიატი, კარბონატი, ჰალოიდი, ტრითანოლოამი, ფორმალდეჰიდი და სხვა, რომლებიც ზრდიან ბეტონის სიმტკიცეს 7 დღეში 20 – 40 %-ით.

ყინვაგამძლეობის ზრდისათვის თანამედროვე პერიოდში დანამატად გამოიყენება: ნატრიუმის ქლორიდი, კალციუმის ქლორიდი და სხვა. ეს დანამატები წყლის გაყინვის პროცესს დაბლა სწევენ და ახდენენ ბეტონის გამაგრებას უარყოფით ტემპერატურაზე.

რაც ნაკლებია გამაგრების ტემპერატურა მით მეტი (ცემენტის მასის 10%-მდე) უნდა იყოს დანამატი.

აირწარმოქმნელ დანამატად გამოიყენება: ალუმინის პუდრი და მეთილსილიკონი (ГКЖ-94),ხოლო ბეტონის სტრუქტურის შემკვრივების ზრდისათვის უმატებენ კალციუმის ნიტრატს, რკინის ქლორიდს და სულფატს და სხვადასხვა ფისს (ДЭГ, ТЭГ-1).

შეკვრის პროცესის შემადგენელი დანამატებია: შაქრის დურდო, ნიტრილოტრიმეთილენ- ფოსფორული მჟავა და მის საფუძველზე დამზადებული სულფიდსაფუარის დურდო (СДГ), ნატრიუმის ეთილსილიკონი (ГКЖ-10 და ГКЖ-94) მომატებული დოზით.

აქ ცალკე ჯგუფად უნდა მოვიყვანოთ ჩვენს სამშენებლო ბაზარზე უკანასკნელ ხანს შემოსული მსოფლიოში ცნობილი სხვადსხვა მეტად ეფექტური ჰიდროსაიზოლაციო დანამატი, რომელიც წარმატებით უმკლავდება ნებისმიერ აგრესიულ გარემოს, მით უმეტეს, რომ ეს ძალიან საჭიროა თბილისის მიწიქვეშეთში არსებული სულფატური წყლების ჰიდროიზოლაციისათვის.

ასეთი დანამატებია კალმატრონი რომელიც, ბეტონის ნარევში ემატება ცემენტის მასის 2.....3%, რომელიც ზრდის წყალუჟონადობას W6 – W20-მდე, გარდა ამისა ბეტონის სიმტკიცეს და ექსპლუატაციის ხანგრძლივობას.

აშშ–ში დამზადებული დანადგარი პენეტრონ ადმიქსის დოზირების ნორმა შეადგენს ცემენტის მასის0,8% (განსაკუთრებულ შემთხვევაში კი 2.3%). პენეტრონ ადმიქსის წყალში გარეული ფხვნილი (პროპორციით 1:1) ბეტონის ნარევს ემატებაპირდაპირ მიქსერში. რის შედეგად ბეტონი ხდება წყალგაუმტარი და მედეგი ყოველგვარი აგრესიული გარემოს მიმართ.

კანადაში დამზადებული დანამატი ქსაიპექს ადმიქსი ბეტონის ნარევს ემატება ცემენტის მასის 1 – 1,5%. იგი გამოიყენება როგორც მიწისზედა ისე მიწისქვეშა ნაგებობის ჰიდროიზოლაციისათვის. ამავე თვისების ფირმის ქსაიპექს მოდიფაიტი - წარმოადგენს ფხვნილს, რომლის წყალხსნარი (5 წილი ფხვნილი - 2წილი წყალი) ბეტონს წაესმება (ხარჯი 0,65 – 0,8 კგ/სმ^2)და ანიჭებს მას წყალუჟონადობას. პენეტრონის ფირმის ფხვნილის სახით წარმოდგენილი ქიმიური დანამატების ჯგუფია: პენეტრონი, პენეტრონპლუსი, პენეკრიტი, პენეპლაგი და სხვა, რომლებიც წყალში იხსნება სხვადსხვა პროპორციით, იგი დაიტანება(ზოგჯერ 2 ფენად) ბეტონის ზედაპირზე, რაც ავსებს ფორებს, მიკრობზარებს, კაპილარებს, ზრდის ბეტონის სიმკვრივეს, სიმტკიცეს და ახდენს ეფექტურ ჰიდროიზოლაციას.

კაჟმიწა დანამატი,წარმოადგენს კაჟისშემცველი ნადნობის ნარჩენს, ასეთებია, ფეროსილიციუმი, კრისტალური კაჟმიწა და სხვა. კაზმის დნობის და 1800^{0}C უფრო მაღალ ტემპერატურაზე კვარცის აღდგენისას წარმოიქმნება აირისებრი კაჟბადი, რომელიც გაცივებისას და ჰაერთან კონტაქტისას იჟანგება SiO_2 შეადგენს 85 – 98%-ს.

სხვა აქტიური მინერალური დანამატების განხილვისას მიკროკაჟმიწა განსხვავდება ნაწილაკების მცირე (0,1.....0,5 მკმ) ზომით და დიდი ხვედრითი ზედაპირით (1,8.....25 მ^2/გ). მიკროკაჟმიწა ნაწილდება ბეტონის ცემენტის ქვისფორმებში, ზრდის მის სიმკვრივეს და შესაბამისად ბეტონის სიმტკიცეს, წყალუჟონადობას და ხანმედეგობას.

ბეტონის ნარევის შესამკვრივებლად ნაკლები რაოდენობის მინერალური დანამატია საჭიროვიდრე ცემენტის გაზავებისას, ამიტომ მიკროკაჟმიწის ჩვეულებრივი ხარჯი ბეტონში შეადგენს ცემენტის მასის 5.....15 %, რაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე სხვა

მინერალური დანამატის გამოყენებისას. გარდა ამისა, უნდა აღინიშნოს რომ ამ შემთხვევაში ბეტონში $Ca(OH)_2$ და SiO_2 რაოდენობა შედარებით შეზღუდულია რაც აჩენს ტუტე გარემოს, არმატურის კოროზიისაგან დასაცავად. ძალიან მაღალი დისპერსიულობის გამო მიკროკაჟმიწის ნაყარი სიმკვრივე შეადგენს მხოლოდ 150.....200 კგ/მ^3, რაც აძნელებს მის ტრანსპორტირებას.

ბეტონის წარმოებაში ჩვეულებრივ იყენებენ წინასწარ გრანულირებულ და ბრიკეტირებულ მიკროკაჟმიწას, რაც არსებითად ამსუბუქებს მის ტრანსპორტირებას და გამოყენებას.

ქიმიური დანამატი არსებობს წყლიანი ხსნარის, ფხვნილის და ემულსიის სახით. ბევრი დანამატი იხსნება წყალში, ის შეჰყავთ ბეტონმრევში წინასწარ მომზადებული ხსნარის სახით. ზოგიერთი დანამატი გამოიყენება ემულსიის (ГКЖ-94), ზოგი ფხვნილის სახით. დანამატის ოპტიმალური დოზირება დამოკიდებულია ცემენტის სახეობაზე, ბეტონის ნარევის შედგენილობაზე და კონსტრუქციის დამზადების ტექნოლოგიაზე. დანამატები ჩვეულებრივ გამოიყენება (ცემენტის მასის, %): მაპლასტიფიცირებელი დანამატი - 0,1.....0.3; სუპერპლასტიფიკატორი 0,5.....1,5; ჰაერშემქმნელი - 0,1.....0,05; გამაგრების დამაჩქარებელი - 1....2. როგორც წესი პრაქტიკაში დანამატის ოპტიმალური რაოდენობა განისაზღვრება ცდების საშუალებით.

მრავალფუნქციური მოქმედების ეფექტის მისაღებად გამოიყენება კომპლექსური დანამატი, რომელშიდაც შედის რამდენიმე კომპონენტი, მაგალითად ბეტონის ნარევის მაპლასტიფიცირებელი, ბეტონის გამაგრების დამაჩქარებელი და სხვა. დამუშავებულია კომპლექსური დანამატის უამრავი სახეობა, რომელიც საშუალებას

გვაძლევს მიზანმიმართულად ვცვალოდ ბეტონის ტექნოლოგია და ტექნიკური თვისებები.

კომპლექსური დანამატი გამოდის მზა პროდუქტის სახით, ან მზადდება უშუალოდ ბეტონსარევ კვანძში, ცალკეული კომპონენტებისაგან, რაც მოითხოვს დამატებით მოწყობილობას და ხარჯს.

1.3 მინერალური დანამატი:

ბეტონის ნარევის სტრუქტურის და მათი თვისებების აქტიური მართვისათვის ქიმიურ დანამატებთან ერთად გამოიყენება

მინერალური დანამატები (მდ). ეს მასალა წარმოადგენს ბუნებრივ ან ტექნოლოგიური ნედლეულის (ნაცარი, დაფქული წიდა, მთის ქანები, მიკროკაჟმიწა და სხვა) ფხვნილს. მინერალური დანამატი შემვსებისაგან გამოირჩევა მარცვლების წვრილი ზომით (0,16 მმ-ზე ნაკლები), ქიმიური მოდიფიკატორიდან - იმით, რომ არ იხსნება წყალში, იგი წარმოადგენს არსებითად ბეტონის მყარი ფაზის წვრილ შემვსებს, რომელიც ავსებს ერთად შემვსების სიცარიელეს, გარდა ამისა იგი ამკვრივებს ბეტონის სტრუქტურას და რიგ შემთხვევაში ცემენტის ხარჯის შემცირების საშუალებასაც გვაძლევს. ამიტომ მდ-ს ხშირად უწოდებენ მინერალურ შემვსებს. თუ მდ-ს შევაფასებთ ცემენტის და ბეტონის სტრუქტურაზე მოქმედ საშუალებას, მაშინ დისპერსიულობის მიხედვით იგი შეიძლება დავყოთ, როგორც ცემენტის გამზავებელი და როგორც შემამკვრივებელი. გამზავებელ დანამატს, მაგალითად, ნაცარს, აქვს ცემენტთან მიახლოებული გრანულომეტრული შედგენილობა (ხვედრითი ზედაპირი 0,2.....0,5 $მ^2/გ$), ხოლო მდ შემამკვრივებელს, მაგალითად მიკროკაჟმიწას, აქვს ცემენტზე 100 ჯერ უფრო წვრილი მარცვალი (ხვედრითი ზედაპირი 20.....30 $მ^2/გ$) შესაბამისად იგი წარმოადგენს მეტად ეფექტურ დანამატს, რადგან შეუძლია შეავსოს ცემენტის მარცვლებს შორის სიცარიელები ამასთან ერთად მას აქვს მაღალი რეაქციული უნარიანობა.

მინერალური დანამატები იყოფა აქტიურად და ინერტულად. აქტიურ მდ უნარი აქვს წყლის თანდასწრებით იმოქმედოს კალციუმის დიოქსიდთან ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე, რომელსაც ექნება შემკვრელი თვისება. მინერალური დანამატის თვისებაზე მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს მარცვლოვან შედგენილობას, რომელიც

განსაზღვრავს ხვედრით ზედაპირს და შესაბამისად მის რეაქციულ თვისებას ან ბეტონის სტრუქტურის შემკვრივების შესაძლებლობას.

ინერტული დანამატი, მაგალითად დაფქული კვარცის ქვიშა (საჩხერის), რომელიც ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე ცემენტის კომპონენტებთან რეაქციაში არ შედის, გარკვეულ შემთხვევაში (მაგალითად, ავტოკლავური გამაგრებისას) ამჟღავნებს რეაქციულ თვისებას. ინერტულ დანამატს ხშირ შემთხვევაში იყენებენ ბეტონის მყარი ფაზის მარცვლოვანი და სიცარიელის რეგულირებისათვის: შემვსები-ცემენტი-მინერალური დანამატი ბეტონის ნარევის და ბეტონის თვისების რეგულირების მიზნით.

ბუნებრივი მინერალური დანამატი მიიღება ბუნებრივი ვულკანური (ტუფი, პემზა), ან დანალექი ქანების (დიატომიტი, ტრეპელი, ოპოკა) წმინდად დაფქვით. ამ დანამატებმა ფართო გამოყენება ჰპოვეს ცემენტის წარმოებაში. მათი ნაკლია მაღალი წყალმოთხოვნილება.

ტექნოგენური ნედლეულიდან მიღებული დანამატებია: ნაცარი, დაფქული წიდა, მიკროკაჟმიწა და სხვა, რომლებიც ხასიათდებიან სხვადსხვა მინერალოგიური შედგენილობებითა და დისპერსიულობით, რაც განსაზღვრავს მათი გამოყენების ეფექტურობას ცემენტებში და ბეტონებში.

საქართველოში ტექნოგენური ნარჩენი იმდენად ცოტაა, რომ მათი თვისებების განხილვა არაა აუცილებელი.

1.4 ორგანულ-მინერალური დანამატი

მიიღება იმ ორგანული და მინერალური კომპონენტების ერთ სისტემაში გაერთიანებით, რომლებსაც აქვთ კონკრეტული მადიფიცირებელი ეფექტი. კვლევებმა გვიჩვენა, რომ

წვრილდისპერსული მინერალური დანამატი ამაღლებს პლასტიფიკატორის მოქმედების უნარს და ხელს უწყობს მინერალური შემვსების დადებით ზემოქმედებას ბეტონის ნარევის და ბეტონის სტრუქტურაზე.

დამუშავებულია ბეტონის სტრუქტურის და თვისებების კომპლექსური ორგანულ-მინერალური პოლიფუნქციონალური მოდიფიკატორი, რომელშიც შედის სუპერპლასტიფიკატორი, მიკროკაჟმიწა და ფხვნილისებრი დანამატი ნაყარი სიმკვრივით 750.....800კგ/მ^3, 100 მკმ ზომის გრანულებით, რომელშიც გამაგრებისრეგულატორადგამოყენებულიაფოსფორგრანული კომპლექსონი. ამ დანამატის გამოყენებისას ბეტონის ნარევის შენახვის ხანგრძლივობა იზრდება და საშუალება გვეძლევა მივიღოთ 100 მგპა და მეტი სიმტკიცის ბეტონი, დაბალი თბოგამტარობით და მაღალი ხანგამძლეობით.

ორგანულ-მინერალური დანამატსამზადებენ როგორც წესი ფხვნილის სახით, რაც აიოლებს მის შეყვანას ბეტონის ნარევში, მისი დამზადების პერიოდში

<u>ცხრილში N1.3</u> ნაჩვენებია ზოგიერთი ქიმიური და მინერალური დანამატის გამოყენების ეფექტურობა ბეტონის ნარევში, ან იმ კომპოზიციურ შემკვრელში, რომელიც გამოიყენება ბეტონის დასამზადებლად.

ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშებისას დანამატის გამოყენების შემთხვევაში მოსალოდნელი ეფექტის პროგნოზირებისათვის აუცილებელია ტექნიკურ-ეკონომიკური ანგარიშის ჩატარება. ამასთან ერთად უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ბეტონის ტექნოლოგიაში დანამატის გამოყენება მოითხოვს დამატებით ხარჯს. რისთვისაც უნდა აშენდეს დანამატის საწყობი,

სატრანსპორტო მაგისტრალი, დანამატის მოსამზადებელი კვანძი, გარდა ამისა დამატებითი დოზატორი. გასათვალისწინებელია, რომ ზოგიერთი დანამატი საკმაოდ ძვირია და დეფიციტური.

ქიმიური და მინერალური დანამატების გამოყენების ეფექტურობა

ქიმიური და მინერალური დანამატის გამოყენების ეფექტურობა.**ცხრილი1.3**

დანამატი		ტექნიკური ეფექტი	გამოყენებითი ვარიანტები	
სახეობა	ტიპი		ბეტონის ნარევის კომპონენტი	კომპოზიციური შემკვრელი მოდიფიკატორი
სუპერპლასტიფიკატორი	პოლიკარბოქსი-ლატი	წყალმოთხოვნილების შემცირება, %	20.....25	20.....50

		კლინკერის ხარჯის შემცირება, %	15.....20	20.....60
	პოლინაფტალინს ულფატი	წყალმოთხოვნილების შემცირება, %	15.....20	15.....30
		კლინკერის ხარჯის შემცირება, %	10.....15	15.....40
	სულფირებული მელამინიფორდეჰიდური ფისი	წყალმოთხოვნილების შემცირება, %	15.....20	20.....40
		კლინკერის ხარჯის შემცირება, %	15.....20	20.....50
ბეტონის სტრუქტ-ურის რეგულატორი	ფისის მჟავის მარილები (ჰაერშემყვანი)	ყინვამედეგობის ზრდა, %	50.....150	100...200
	პოლიჰიდროსილა ქსანი	ყინვამედეგობის ზრდა, %	50.....200	100...300
	ნანოსილიკატი	ყინვამედეგობის ზრდა, %	50.....200	-
მინერალური დანამატი	ნორმირებული მინერალოგიური შედგენილობის პუცოლანი	ბეტონის სიმტკიცის ზრდა, %	5.....15	15.....30
		კლინკერის ხარჯის შემცირება, %	5.....15	10.....50
	მიკროკაჟმიწა	ბეტონის სიმტკიცის ზრდა, %	50.....100	50.....10
		კლინკერის ხარჯის შემცირება, %	20.....40	10.....50
	გამაფართოებელი	ბეტონის სიმტკიცის ზრდა, %	5.....15	20.....40
		კლინკერის ხარჯის შემცირება, %	5.....15	10.....50
		შეკლების დეფორმაციებისშემცირება, %	50.....150	200.....300
ორგანულმინერალური დანამატი	მიკროკაჟმიწა და სუპერპლასტიფიკატორი	ბეტონის სიმტკიცის ზრდა, %	60.....120	60.....120
		წყალუჟონადობისშემცირება	100....250	-

1.5ექსპერიმენტული სამუშაოს მეთოდიკა

სადისერტაციო ნაშრომში ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების ტექნოლოგიური ფაქტორების რეგულირებისა და გამყარებული ბეტონის ტექნიკური თვისებების გაუმჯობესებისათვის ჩვენს მიერ

გამოყენებული იქნა ახალი თაობის **სუპერპლასტიფიკატორი CHRYSO®FlUID PREMIA- 180.**

მოდიფიცირებული პოლიკარბოქსიდის დანამატი გამოყენებულიაიმ ბეტონებისათვის, რომლებსაც ესაჭიროებათ სწრაფი შეკვრა (გამყარება) და ხანგრძლივი ექსპლუატაცია. გარდა ამისა ეს დანამატისაშუალებას იძლევა ბეტონის ნარევმა ხანგრძლივად შეინარჩუნოს ადვილჩაწყობადობა.

დანამატი საშუალებას იძლევა ბეტონის ნარევი დავამზადოთ დაბალი წყალცემენტის ფარდობით, რაც თავისთავად გვაძლევს გარკვეულ ეკონომიკურ ეფექტს. გარდა ამისა შესაძლებელია ამ დანამატით მივიღოთ წინასწარდაძაბული ბეტონი და რკინაბეტონი.

სადისერტაციო ნაშრომში ჩვენს მიერ გამოყენებული ზემოთ ხსენებული დანამატი საშუალებას იძლევაბეტონის დამზადებისას გამოვიყენოთ ყველა სახის ცემენტები, რკინაბეტონის ნაკეთობები დამზადდეს ქარხნული წესით, რაც უზრუნველყოფსმაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონის ნარევების მიღებას. ამასთან ერთად იგი საშუალებას იძლევა დამზადდეს პლასტიკურიან თხევადი (სხმული) ბეტონის ნარევები. დანამატის კვლევებით მიღებული, რომ გამოყენება რეკომენდებულია 100 კგ ცემენტზე 0,3.....1,0 კგ–მდე. რაც დაახლოებით შეადგენს 0,8 % ცემენტის მასიდან.

დანამატი შეაძლ;ებელია დაემატოს ბეტონის ნარევს მის არევამდე, გარდა ამისა შესაძლებელია იგი დაემატოს ნარევს დამზადების შემდეგაც.

<u>**დანამატის ტექნიკური მახასიათებლებია:**</u>

ფიზიკური მდგომარეობა – სითხე;

სიბლანტე– 1,055 ± 0,02გ/სმ^3;

ფერი– ღია მწვანე;

PH – 6,00 ± 1;

მშრალი ნივთიერება– 21,50 ± 5%;

ქლორიდების შემცველობა – < 0,1 %.

აღსანიშნავია, რომ დანამატი დაცული უნდა იყოს როგორც მაღალი ტემპერატურის, ასევე ყინვისაგან. მისი გამოყენება რეკომენდირებულია 0^0 C – ის ტემპერატურის ზემოთ. გამოყენებული დანამატი ვარგისია 12 თვის განმავლობაში.

ამ დანამატის გამოყენებით სადისერტაციო ნაშრომში მნიშვნელოვნად გაუმჯობესებულია ბეტონის და რკინაბეტონის ნაკეთობების როგორც ტექნოლოგიური თვისებები, ასევე ტექნიკური მახასიათებლები.

თავიII

ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადება შპს „წყალმშენ–ლილოს“ საწარმოში

ბეტონი და რკინაბეტონი თანამედროვე მშენებლობაში ძირითადი საშენი მასალაა, რომელსაც მშენებელ-ტექნოლოგი სხვადასხვა ტექნოლოგიური ხერხებით ყოველ კონკრეტულ შემთხვევებში საჭირო ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს ანიჭებს.

თავისი მექანიკური მახასიათებლებით ბეტონი და რკინაბეტონი უნივერსალური და უნიკალური საშენი მასალაა. უნივერსალურია იმიტომ, რომ გამოიყენება თითქმის ყველა დარგის მშენებლობაში: სამრეწველო და სამოქალაქო, ჰიდროტექნიკურ, სატრანსპორტო და სხვა დარგებში, ხოლო უნიკალურია იმიტომ რომ თუ ყველა მასალა ექსპლუატაციაში ყოფნისას იუარესებს თავის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს, ბეტონი და რკინაბეტონი კი თითქმის 50 წლის განმავლობაში იმატებს სიმტკიცეში და ინარჩუნებს თავის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს, თუ იგი მუშაობს ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში.

ბეტონი ერთ-ერთი უძველესი საშენი მასალაა. ჯერ კიდევ 3600 წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე აშენებულია ეგვიპტის ლაბირინთის გალერეები, მე-3-7 საუკუნეებში ბეტონი გამოყენებული იქნა ჩინეთის დიდი კედლის მშენებლობაში.

რომში ბეტონი პირველად გამოიყენეს მე-11 საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე წყალქვეშა ნაგებობების მშენებლობის დროს პორტ კალიკულაში ნეაპოლის მახლობლად და პანთეონის მშენებლობისას. (ჩვენი წელთაღრიცხვის დასაწყისი). შუა საუკუნეებში ბეტონს ნაკლებად იყენებდნენ, ხოლო XV საუკუნის დასაწყისისთვის მისი გამოყენება მთლიანად შეწყდა.

XIX საუკუნეში ამ ძვირფასი მასალის გამოყენება განახლდა, რაც განაპირობა პორტლანდცემენტის აღმოჩენამ და ფართო გამოყენებამ მშენებლობაში. 1811 წელს ინჟინერმა ლუი ვიკამ ააგო ბეტონის ხიდი მდინარე დორდონზე სუიაკში (საფრანგეთი), ხოლო 1834 წელს ვულვიჩში (ინგლისი) ააშენეს გემშესაკეთებელი და სანაპირო ბეტონისგან ჰიდრავლიკურ კირზე. 1865 წელს კი მიღებული იქნა პირველი პატენტი დაბეტონების მეთოდზე.

იმის გამო რომ ბეტონი კონსტრუქციაში კარგად მუშაობს კუმშვაზე და ახასიათებს ძალიან მცირე სიმტკიცე გაჭიმვისას, მისი გამოყენება იყო თითქმის შეზღუდული მღუნავ ელემენტებში. სწორედ ამან განაპირობა რკინაბეტონის გამოგონება. პატენტი რკინაბეტონის გამოგონებაზე მიიღო ფრანგმა მონიემ 1867 წელს ქ. პარიზში, რომელმაც დაამზადა რკინაბეტონის კალათი. ამის შემდგომ თანდათან განვითარდა ამ ძვირფასი საშენი მასალის დამზადება და გამოყენება. ამის მაგალითია ის რომ იმავე პერიოდში ფრანგი ლამბოს მიერ დამზადებული იქნა რკინაბეტონის თხელკედლიანი 14 მეტრის სიგრძის ნავი, რომელიც ხანგრძლივი დროის მანძილზე ცურავდა ხმელთაშუა ზღვაში.

პირველ ხანეში ბეტონი და რკინაბეტონი გამოიყენებოდა მონოლითური კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ასაგებად რისთვისაც იყენებდნენ ხისტ და მცირედენად ბეტონის ნარევებს, რომელთაც ტკეპნით ამკვრივებდნენ. რკინაბეტონის კონსტრუქციების წარმოებისას კი საჭიროა უფრო დენადი და თითქმის სხმული ნარევების გამოყენება, რაც დაკავშირებულია ბეტონის სიმტკიცის შემცირებასთან, ან სიმტკიცის ზრდისათვის ცემენტის გადახარჯვასთან, სწორედ ამ პრობლემამ განაპირობა მე-20 საუკუნის 30-იან წლებში ბეტონის ნარევის გამკვრივება ვიბრირებით (ე. ფრეისინე), გარდა ამისა იმავე ე. ფრეისინემ 1928 წელს საფრანგეთში დაამზადა პირველი სამრეწველო წინასწარდაძაბული კონსტრუქციები რკინაბეტონისგან, ხოლო 1930 წ. ჩვენმა თანამემამულემ ნ. მიხაილოვმა ქ. თბილისში ჩაატარა დიდი კვლევა ამ დარგში, რაც საფუძვლად დაედო წინასწარ დაძაბული ასაწყობი რკინაბეტონის განვითარებას საქართველოში.

ჩვენს მრეწველობაში გამოიყენებოდა როგორც მონოლითური, ასევე ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობები.

ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობების წარმოება საქართველოში დაიწყო წინა საუკუნის 50-იანი წლებიდან. ასაწყობი რკინაბეტონის მრეწველობის სწრაფმა განვითარებამ მოკლე დროში განაპირობა სამშენებლო ობიექტების სწრაფი აგება, გარდა ამისა ნაგებობებში გამონთავისულდა დიდი რაოდენობით ლითონის კონსტრუქციები, ხის მასალები და სხვა დეფიციტური რესურსები. მნიშვნელოვნად შემცირდა სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების შრომატევადობა, რამაც გამოიწვია მომუშავეთა რაოდენობის შემცირება თითქმის 50%-ით.

1990 წლამდე მშენებლობაში გამოყენებული იყო 49% მონოლითური, ხოლო 51% ასაწყობი რკინაბეტონი, მაგრამ დღეისთვის ეს თანაფარდობა მნიშვნელოვნად შემცირდა 1991-1992 წლებში საქართველოში განვითარებული ცნობილი მოვლენების გამო, რადგან გაიძარცვა რკინაბეტონის დამამზადებელი ტექნოლოგიური ხაზები; ასეთი დიამეტრალური ცვლილება მძიმე ტვირთად დააწვა მშენებლობის ისეთ დარგებს სადაც მონოლითური დაბეტონება ფრიად გართულებულია ან შეუძლებელია. ასეთია საირიგაციო ნაკეთობების წარმოება, მაგ: ღარები სარწყავი გამანაწილებელი სისტემისათვის, რკინაბეტონის ფილები მაგისტრალური არხებისათვის და სხვა. სარწყავი სისტემების მოწყობა ჩვენი ქვეყნისათვის აუცილებელია. ჩვენი შრომაც აქტუალურია ამ მიმართულებით რადგან საირიგაციო ნაკეთობების მოწყობა მონოლითური ბეტონით არ ამართლებს, ადგილზე ბეტონის შემკვრივება და წყალუჟონადობის მიღება შეუძლებელია, ამიტომ ასეთი ასეთი ნაკეთობების წარმოება ასაწყობი რკინაბეტონით

აუცილებლად უნდა განვითარდეს, ამ შემთხვევაში უმჯობესდება ნაკეთობის ვიბრირება და შესაძლებელია წინასწარდაძაბული არმატურის გამოყენება.

ბეტონის და რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადების ხარისხი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მისი შემადგენლების (ცემენტის, შემვსებების და დანამატების) სათანადო შერჩევაზე და შესწავლაზე.

ამ თვალსაზრისით ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა სამუშაოები ცემენტისა და მისი დანამატის როგორც დამზადებაზე, ასევე მისი მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენაზე.

ამ მიმართულებით ჩვენს მიერ რუსთავის ჰაიდელბერგის ქარხანაში ექსპერიმენტის სახით შესრულდა შემდეგი სამუშაოები: გამოკვლეული იქნა ჰაიდელბერგცემენტჯორჯიას მიერ დამზადებული ახალი სწრაფმყარებადი ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. გაუმჯობესებული ცემენტის მახასიათებელი მიღწეულ იქნა BASF-ის მიერ წარმოებული დაფქვის ინტენსიფიკატორი MasterCem ES 2125-ის მიერ. ეს დანამატი წარმოადგენს ყვითელი ფერის ბლანტ სითხეს, თავსებადია ყველა ტიპის ცემენტებისთვის, ემატება დაფქვის პროცესის დროს ბურთულა წისქვილებში მხოლოდ ცემენტის მშრალი მეთოდით წარმოებისას და აუმჯობესებს ცემენტის ადრეულ სიმტკიცეს - 24 საათის შემდეგ სიმტკიცე უმჯობესდება 10-25 %. ამავდროულად ცემენტი ინარჩუნებს თავის ორიგინალურ მახასიათებლებს. ასეთი ცემენტის გამოყენებისას უმჯობესდება ბეტონის ნარევის დენადობა, რაც საშუალებას გვაძლევს დავზოგოთ ბეტონის პლასტიფიცირება ძვირადღირებული დანამატებით. დაფქვის ინტენსიფიკატორი ეფექტურია თავისი თვისებებით და ეკონომიურობით, რამეთუ 1

ტონაზე ემატება 0,05 - 0,25 %, რაც მხოლოდ 2,26 ლარით აძვირებს ერთ ტონა ცემენტს. რაცსაკმაოდუმნიშვნელოა. დაფქვის დროს იხარჯება ნაკლები ენერგია. ცხრილში N2.1 მოყვანილია სწრაფმყარებადი ცემენტის ცდების შედეგები

ცემენტის ტექნიკური მახასიათებლები

ცხრილი 2.1

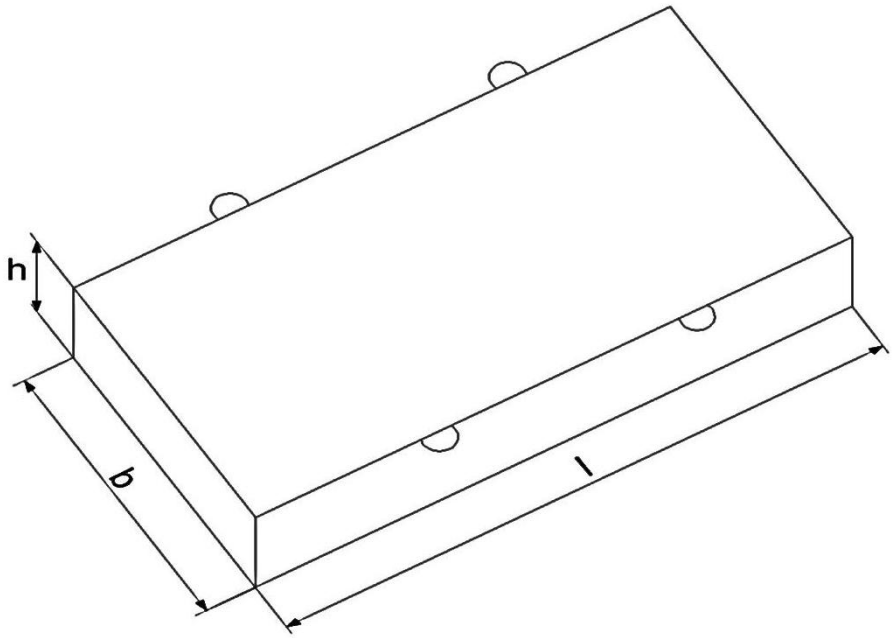
დასახელება	დაფქვის სიწმინდე სმ²/გრ	ცემენტის შეკვრა		წყალმოთხოვნილება %	E2dსიმტკიცე,მგპა	E7dსიმტკიცე,მგპა	E28dსიმტკიცე,მგპა
		შეკვრისპროცესის დასაწყისი,წთ	შეკვრის პროცესის დასასრული,წთ				
CemI 42.5 R	3354	45	720	23.8	21.5	38.5	50.8
Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით	3400	30	680	24.0	28.0	40.5	51.5

ამ ცემენტის გამოყენებისას ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ ცემენტის ადუღაბებისას საწყის სტადიაზე მიიღწევა ბეტონის ნარევის დიდი დენადობა, რაც ძალიან მომგებიანია ნარევის ჩაწყობისას მაღალ სართულიანი ნაგებობების მშენებლობისას.

რაც შეეხება რკინაბეტონის ნაკეთობის დამზადებას და მათ კვლევას ჩვენს მიერ შესრულებული იქნა ჰაიდელბერგის სწრაფმყარებადი ცემენტის გამოყენებით ტექნოლოგიური პროცესები „წყალმშენი-ლილოს“ რკინაბეტონის ქარხანაში 2013-2014 წლებში ქარხნის მთავარი ინჟინრის რ. ჩაჩუას უშუალო ხელმძღვანელობით, ქარხანაში

დამზადებული იქნა წინასწარდაძაბული ფილები, ზომებით 6,0 X 2,0 X 0,07; 6,0 X 1,5 X 0,07; 6,0 X 1,0 X 0,07; და 3,0 X 2,0 X 0,1 მ; სხვადასხვა მაგისტრალური არხებისთვის. (ნახ. 2.1–ზე მოცემულია წინასწარდაძაბული ფილის ტექნოლოგიური ხაზი.)

ნახ 2.1 წინასწარდაძაბული ფილის ტექნოლოგიური ხაზი



ნახ. 2.2 **წინასწარდაძაბული ფილა მაგისტრალური არხებისათვის**

ფილის ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 2.2

კონსტრუქციის დასახელება	**გეომეტრიული ზომები, მმ**			**ბეტონის მარკა, კგძ/სმ²**	**არმატურის ხარჯი, კგ**	**კონსტრუქციის მასა, კგ**
	სიგრძე,	**სიგანე,**	**სიმაღლე,**			
წინასწარ დაძაბული ფილა	4000	2000	60	200	39.0	1200
	5000	2000	60		45.0	1500
	6000	1000	60		25.0	900
	6000	1500	60		32.0	1350
	6000	2000	60		40.5	1800

წინასწარდაძაბული ფილების არმირება წარმოებს 2 ფენა არმატურის ბადეების საშუალებით, რაც მზადდება ქარხნის არმატურის საამქროში წერტილოვანი შესადუღებელი აპარატის, საჭრელი, გამასწორებელი და მოსაღუნი დაზგების მეშვეობით. არმირებისთვის ძირითადად

გამოყენებულია მაღალი სიმტკიცის მავთული Ф 5 B_p – II და Ф 5 B – II და ცხლადგლინული Ф 10 A – III და Ф 12 A – III კლასის არმატურა.

ნახ 2.3 არმატურის წინასწარი დაძაბვა

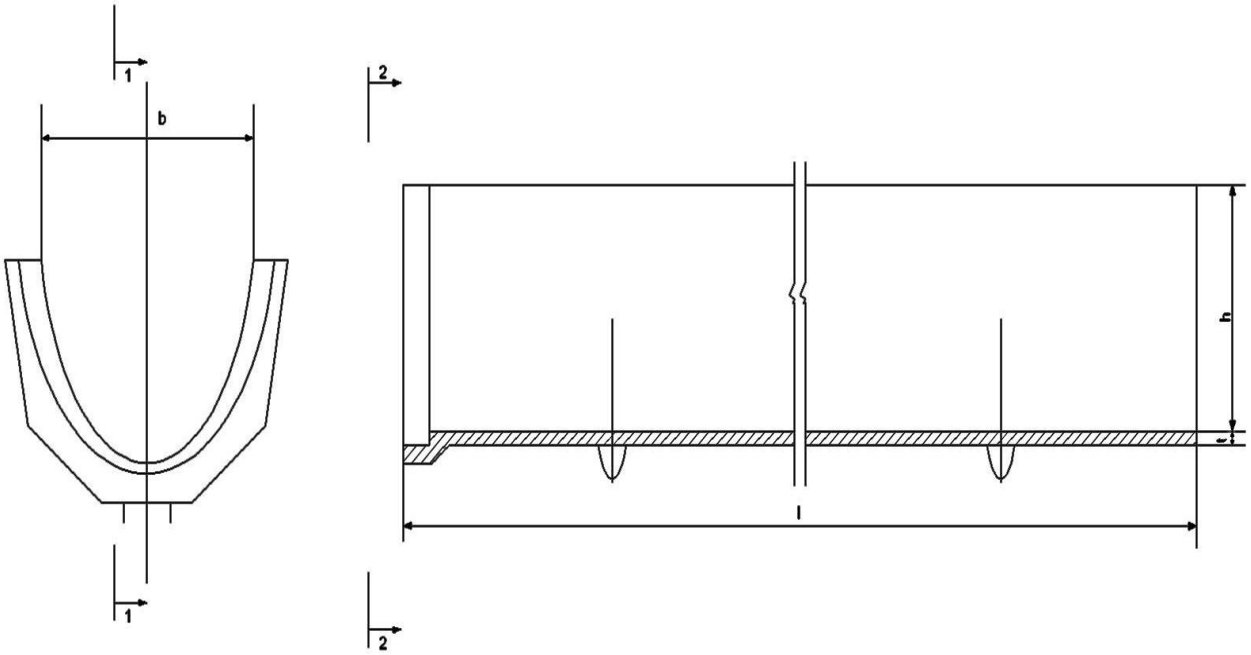
გარდა წინასწარდაძაბული ფილისა ჩვენს მიერ დამზადებული იქნა პარაბოლური ღარები ЛР-4 და ЛР-6, სარწყავი გამანაწილებელი არხებისათვის. არმირების სქემა მოცემულია ნაზა 2.4,ხოლო ნახ. 2.5 მოცემულიაპარაბოლური ხარის სქემატური ნახაზი.

პარაბოლური ღარის დაარმატურება

ნახ: 2.4

პარაბოლური ღარების მზა პროდუქცია

ნახ: 2.5



ნახ 2.6 პარაბოლური ღარი

პარაბოლური ღარის ტექნიკურ–ეკონომიკური მახასიათებლები

ცხრილში 2.3

კონსტრუქციის დასახელება	გეომეტრიული ზომები, მმ				ბეტონის მარკა კგძ/სმ²	არმატურის ხარჯი, კგ	კონსტრუქციის მასა, კგ
	სიგრძე	სიგანე	სიმაღლე	სისქე			
ЛР-4	6110	800	400	50	300	27.55	1080
ЛР-6	6110	980	600	50		36.71	1420

პარაბოლური ღარები არმირებული იყო ასევე 2 ფენა არმატურის ბადეებით. ღარების ზომებია 6,11 X 0,8 X 0,4; 6,11 X 0,98 X 0,6; და 8,11 X 0,98 X 0,6 მ;

არმატურის მიმწოდებელია შპს “აგის-ჯორჯია”, შპს „კოდაკო“ და შპს „GM (თბილისი)“. ინერტული მასალები ქარხანაში შემოდის შულავერის კარიერიდან ავტოტრანსპორტით შპს „დებედა“-დან, კერძოდ ქვიშა ფრაქციით 0,14 – 5 მმ, ხოლო ღორღი ფრაქციით 5 – 10 მმ.

შპს „წყალმშენ-ლილოს“ ცენტრალურ ლაბორატორიაში გამოკვლეული იქნა შემვსებები: ქვიშა და ღორღი. დადგენილი იქნა მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები, რის საფუძველზეც ჩვენი მონაწილეობით გაანგარიშებული იქნა B–15 და B–25 ბეტონის კლასის შედგენილობები. კერძოდ ფილის დამზადებისას გამოყენებული იქნა B–15 ბეტონის კლასის შედგენილობა, ხოლო ღარებისათვის B–25 კლასის ბეტონი, სწრაფმყარებადი ცემენტის გამოყენებით.

<u>B – 15 კლასის ბეტონის შედგენილობა</u>

1. ცემენტი -300 კგ;

2. წყალი - 150 ლიტრი;

3. ქვიშა - 722 კგ;

4. ღორღი - 1178 კგ;

5. კონუსის ჯდენა 4 სმ;

6. წ/ც - 0,5;

7. მოცულობითი მასა 2350 კგ/მ^3

<u>B – 25 კლასის ბეტონის შედგენილობა</u>

1. ცემენტი -370 კგ;

2. წყალი -185 ლიტრი;

3. ქვიშა -701 კგ;

4. ღორღი - 1144 კგ;

5. კონუსის ჯდენა - 3 სმ;

6. წ/ც -0,5;

7.მოცულობითი მასა - 2440 კგ/მ^3.

ნახ 2.7 შპს „წყალმშენი–ლილოს“ ცენტალური ლაბორატორია.

უნდა აღინიშნოს, რომ ბეტონის შედგენილობებში არ არის გამოყენებული სუპერპლასტიფიკატორი, რადგანაც რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადებისას გამოყენებულია ჰაიდელბერგის მიერ დამზადებული სწრაფმყარებადი პორტლანდცენეტი, რომელიც შეიცავს დაფქვის ინტენსიფიკატორს, რაც დაკავშირებულია გარკვეულ ეკონომიკურ ეფექტთან.

სწრაფმყარებადი ცემენტის გამოყენებამ მოახდინა გარკვეული კომპენსაცია თბოდამუშავების რეჟიმის (რადგან ქარხანაში არ მუშაობს თბოდამუშავების სისტემა და ნაკეთობებს ამყარებენ ბუნებრივ პირობებში). ამ მხრივ იქნა გამოსავალი მოძებნილი. როგორც ვთქვით BASF–ის ცემენტი იძლევა ადრეულ სიმტკიცეს, 24 საათის შემდეგ ნაკეთობას ჰქონდა თითქმის 100 კგძ/სმ^2 სიმტკიცე და შეიძლებოდა მისი განყალიბება, ხოლო მესამე დღეს კი ნაკეთობის ტრანსპორტირება.

თავი III

შპს „მიქსორის“ რკინაბეტონის შპალების დამზადების ტექნოლოგიის კვლევა დანამატების გამოყენებით

ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებისთვის ძალიან მნიშვნელოვანია ისეთი ძირითადი სამრეწველო დარგის განვითარება, როგორიც არის რკინიგზის ტრანსპორტი, მისი სრულყოფა და დახვეწა.

ჩვენს ქვეყანაში სარკინიგზო ტრანსპორტი 140 წელზე მეტ ხანს ითვლის. პირველი მატარებელი ფოთიდან თბილისში 1872 წლის 10 ოქტომბერს ჩამოვიდა. სწორედ ეს დღე ითვლება კავკასიაში რკინიგზის დაბადების დღედ. მას მოჰყვა 550 კმ-იანი სარკინიგზო ხაზის მშენებლობა, ხოლო 1883 წელს კი მატარებლებმა დაიწყეს მოძრაობა ბაქო-ბათუმის მიმართულებით თბილისი-სამტრედიის გავლით რითაც ბათუმი გახდა მნიშვნელოვანი სავაჭრო სამრეწველო პორტი შავ ზღვაზე, ხოლო სარკინიგზო გზა ბათუმი-თბილისი-ბაქო გახდა ცენტრალური მაგისტრალი კავკასიაში,რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებდა შავ და კასპიის ზღვას.

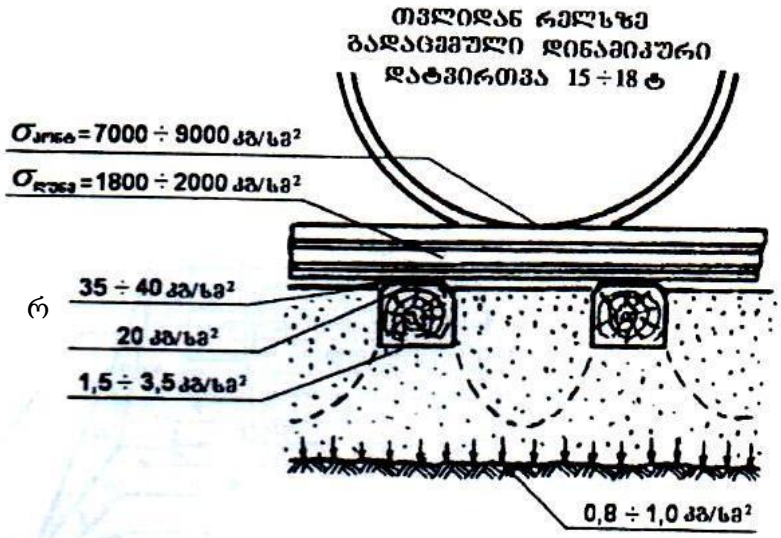
თანამედროვე პირობებში მეტად მნიშვნელოვანია ტრანსპორტის, კერძოდ კი რკინიგზის ტრანსპორტის განვითარება და სრულყოფა. რკინიგზის ტრანსპორტის უმთავრეს და საპასუხისმგებლო რგოლს კი ლიანდაგი წარმოადგენს.

ლიანდაგი რთული საინჟინრო ნაგებობაა რომელსაც მუშაობა უხდება რთულ პირობებში, იგი რკინიგზის ტრანსპორტის საფუძველია და მის მდგომარეობებზეა დამოკიდებული რკინიგზის ტრანსპორტის გამართული მუშაობა. ლიანდაგის კონსტრუქცია უზრუნველყოფს მატარებლის უსაფრთხო და უწყვეტ მოძრაობას დადგენილი სიჩქარით ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში.

ლიანდაგის ყველა ელემენტი შეთანხმებულად მუშაობს, იმის გამო, რომ მოძრავი შემადგენლობიდან ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტებს განსაკუთრებით დიდი სტატიკური და განმეორებითი დინამიკური დატვირთვები გადაეცემა, ამ ელემენტების მასალის შერჩევას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება.ლიანდაგის ზედა ნაშენის რომელიმე ელემენტის შეუთანხმებელი მუშაობა მთლიანად არღვევს რკინიგზის ლიანდაგის, როგორც ერთიანი კონსტრუქციის მუშაობის პირობებს.

ლიანდაგის ზედა ნაშენის როგორც ერთიანი კონსტრუქციის მუშაობის საილუსტრაციოდ საკმარისია განვიხილოდ მოძრავი შემადგენლობიდან ზედა ნაშენზე და ზედა ნაშენიდან მიწის ვაკისზე ვერტიკალურად გადაცემის სქემა.

ნახაზი3.1



მოძრავი შემადგენლობიდან ლიანდაგზე ვერტიკალური დატვირთვების გადაცემის სქემა

ელსისა და თვლის შეხების წერტილში კონტაქტური ძაბვის სიდიდე რელსის თავში 9000 კგ/სმ² აღწევს, ხოლო ღუნვის ძაბვის სიდიდე რელსის ფუძეში 1800 – 2400 კგ/სმ² ფარგლებში იცვლება. ასეთი სიდიდის დატვირთვის ატანა შეუძლია მხოლოდ ისეთ მასალას როგორიც არის ფოლადი, ამიტომ რელსები მზადდება მაღალი მარკის ფოლადისაგან. რელსი მიიღებს რა თავისთავზე დატვირთვას, გაანაწილებს მას და მომდევნო ელემენტს-ქვესადებს გადასცემს საშუალოდ 35 – 40 კგ/სმ² კუმშვის ძაბვას. ქვესადების ფართობი აღემატება რელსის ფუძის ფართობს, ამიტომ ქვესადებიდან შპალის ზედაპირს გადაეცემა არაუმეტეს 20 კგ/სმ² კუმშვის ძაბვა. შპალის საწოლი აითვისებს მასზე გადმოცემულ დატვირთვებს და ბალასტის შრეს გადასცემს არაუმეტეს 1,5 – 3,5 კგ/სმ² კუმშვის ძაბვას. ბალასტის შრისაგან კი მიწის ვაკისის ძირითად მოედანს დაახლოებით 0,8 – 1 კგ/სმ² ძაბვა გადაეცემა. როგორც ვხედავთ ლიანდაგის ზედა ნაშენის ელემენტების შეთანხმებული მუშაობა იმაში მდგომარეობს, რომ წინამდგომი ელემენტი მომდევნოს ისეთი სიდიდის დატვირთვას

გადასცემს, რომელთა ატანა ამ ელემენტის მასალას თავისუფლად შეუძლია და არაღემატება მისი სიმტკიცის ზღვარს. როგორც ავღნიშნეთ ლიანდაგის მეტად რთული და მრავალკომპონენტიანია, რომლებიც ერთმანეთთან მჭიდრო კავშირშია, შპალი კი ლიანდაგის შეუცვლელი ელემენტია, რომლის ავღნიშნეთ შპალების დანიშნულებაა:

1) მიიღოს თავის თავზე რელსებიდან გადმოცემული დატვირთვები, თანაბრად გაანაწილოს იგი და გადასცეს ბალასტის შრეს
2) უზრუნველყოს ლიანდაგის სიგანის მუდმივობა. აქედან გამომდინარე შპალს წაეყენება შემდეგი მოთხოვნები
3) მაღალი სიმტკიცე და ხანგამძლეობა;
4) დიდი წინაღობა თელვაზე და ღუნვაზე;
5) კარგი დრეკადობა;
6) ნაკლებხმაურიანობა;
7) სიიაფე.

საშპალე მასალად უძველესიდროიდან გამოიყენებოდა მერქანი, ლითონი და რკინაბეტონი ხის შპალები მსოფლიოს ქვეყნების რკინიგზებზე ყველაზე მეტად არის გავრცელებული, იმ მიზეზით რომ ხის შპალები ყველაზე კარგად პასუხობენ სარელსო საფუძვლისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს.

<u>ხის შპალების დადებითი თვისებებია:</u>

1) კარგი დრეკადობა;

2) დამზადების და ექსპლუატაციის სიადვილე;

3) მაღალი სიმტკიცე;

4) ნაკლებხმაურიანობა;

5) მასზე ლიანდაგის მოწყობის სიადვილე.

<u>უარყოფითი თვისებები:</u>

1) ექსპლუატაციის მცირე ვადა, განსაკუთრებით კი მაღალი

ტვირთდაძაბულობის პირობებში;

2) ლპობადობა;

3) დეფიციტური ხის მასალების ხარჯი.

1 კმ ლიანდაგის მოსაწყობად საჭიროა დაახლოებით 2 ჰე. ტყის გაჩეხვა, ხის შპალების დასამზადებლად ასეთი ფართობის ტყის გაჩეხვა ისეთი ქვეყნისთვის როგორიც საქართველოა ეკოლოგიური კატასტროფის ტოლფასია, ამიტომ მაგისტრალური რკინიგზების ლიანდაგებზე, გარდა სურამის საუღელტეხილო უბნისა, თითქმის მთლიანად რკინაბეტონის შპალებია გამოყენებული. მიზანშეწონილია საუღელტეხილო უბნის მთლიანად რკინაბეტონის შპალებში გადაყვანა.

<u>რკინაბეტონის შპალების დადებითი თვისებებია:</u>

1. დეფიციტური ლითონისა და ხის მასალების დაზოგვა;
2. დიდი სიმტკიცე კუმშვასა და ღუნვაზე;
3. ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა;
4. ლიანდაგის სიგანის მუდმივი სტაბილურობა;
5. დიდი მასა, რაც ხელს უწყობს ლიანდაგის სტაბილურობისუზრუნველყოფას;

<u>ამავე დროს რკინაბეტონის შპალებს გააჩნია უარყოფითი მხარეებიც:</u>

1. მაღალი სიხისტე;
2. მაღალისიმყიფე, რაცართულებს ჩატვირთვა-გადმოტვირთვით სამუშაოებს;
3. დიდი მასა, შპალი დაგების ჩატვირთვა-გადმოტვირთვის და ტრანსპორტირების გართულების თვალსაზრისით.

თანამედროვე საინჟინრო ინდუსტრიის განვიტარება, უზრუნველყოფს რკინაბეტონის შპალების დამზადების გაუმჯობესებას. მისი ფიზიკურ–მექანიკური, ქიმიური და საექსპლუტაციო თვისებების მიხედვით.

საქართველოში კომპანია „მიქსორმა“ გერმანული კომპანიის ხელშეწყობით და ურთიერთთანამშრომლობით განახორციელა სოლიდური ინვესტიცია და ძველი რკინაბეტონის შპალების ქარხნის ბაზაზე შექმნა ახალი რკინაბეტონის შპალების ქარხანა.

ჩემი სადისერტაციო ნაშრომის დიდი ნაწილი, შესრულებულია შპალების ქარხანაში, სადაც გამოყენებული იქნა ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადების თანამედროვე ტექნოლოგიები.

შპალების დასამზადებელიკვლევითი სამუშაოები ჩემს მიერ ჩატარდაფირმა „მიქსორის“ ცენტრალურ ლაბორატორიაში, სადაც გამოკვლეული იქნა რკინაბეტონის შპალების შემადგენელი მასალები: ცემენტი, შემვსებები და ახალი ტიპის ევროპული სუპერპლასტიფიკატორი.

ქარხანაში რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად შემკვრელად გამოყენებული იქნა ჩვენს მიერ მიღებული ახალი სწრაფმყარებადი ცემენტი (რომლის შესახებ I და IIთავშიიქნა მოხსენებული). ეს ცემენტი გამოყენებული იქნა აგრეთვე ფირმა „წყალმშენ ლილოს“ რკინაბეტონის ნაკეთობების, კერძოდ პარაბოლური ღარების დასამზადებლად.

რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად ვიყენებთ შემდეგ მასალებს: ქვიშას ზომებით 0,14 – 5 მმ, ღორღს ფრაქციებით 5 – 10 მმ, 10 – 20 მმ, სწრაფმყარებად ცემენტს და დანამატს CHRYSO ® FluidPremia 180.

შპალის ბეტონის შემადგენლები გამოკვლეული იქნა ფირმა „მიქსორის“ ცენტრალურ ლაბორატორიაში.

3.1 ქვიშა ფრაქციით 0,14 – 5 მმ–მდე. მინერალური შედგენილობის მიხედვით ძირითადად გვხვდება კვარცის, კირქვისა და დოლომიტის ქვიშა. მძიმე ბეტონში და ცემენტის მარკის დასადგენად იყენებენ კვარცის ქვიშას, სადაც SiO_2–ის შემადგენლობა 98%–ზე მეტია. ჩვენს დისერტაციაში რკინაბეტონის ნაკეთობების დასამზადებლად გამოყენებულია კირქვის ქვიშა, რადგანაც კირქვის გამოყენება განაპირობებს მაღალ დეფორმაციულობას და სიმტკიცეს.

ქვიშის მონაცემებია:

პროდუქციის დასახელება: ქვიშა სამშენებლო (0-5)

გამოცდის ჩატარების ადგილი: „MIXORI Ltd“

პროდუქციის მწარმოებელი: ქსოვრისის კარიერი

გამოცდის ჩატარების თარიღი:28.11.2014 წელი

ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება,

რის მიხედვითაც ტარდება გამოცდა:გოსტ8735-88 „ქვიშა სამშენებლოსამუშაოებისათვის“;

ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა და სისხოს მოდული მოცემულია ცხრილში 3.1

ქვიშისგრანულომეტრული შედგენილობა

ცხრილი 3.1

ნარჩენი საცერზე	**საცრის ხვრეტის ზომები, მმ**						**ჯამი**	**სისხოს მოდული**	**ჯგ.**
	2.5	**1.25**	**0.63**	**0.315**	**0.14**	**<0.14**			
კერძო, გრ	142.6	255.1	229.4	204.5	106.8	61.6	1000	2.93	განეკუთვნება მსხვილ ქვიშას
კერძო, %	14.26	25.51	22.94	20.45	10.68	6.16	100		
სრული ნარჩენი, %	14.26	39.77	62.71	83.16	93.84	100	--		

ედეგად გამოკვლეული ქვიშა M=2,93; მიეკუთვნება მსხვილ ქვისას, რადგანაც იგი მეტია 2,5–ზე. მცირე ხვედრითი ზედაპირის გამო მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ მისი გამოყენება მარალი სიმტკიცის ბეტონების დასამზადებლად.

მტვრისებრი და თიხისებრი მინარევების შემცველობა

ცხრილი 3.2

ნიმუშის №	სინჯის მასა, გრ		მინარევების შემცველობა, %	
	განლექვამდე, m	განლექვის შემდეგ, m_1	სინჯის	საშუალო
1	1000	969.0	3.1	2.95
2	1000	972.0	2.8	

ქვიშის სიმკვრივე და მოცულობითი მასა მოცემულია ცხრილებში 3.3 და 3.4

ცხრილი 3.3

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, ρ გრ/სმ³	
	პიკნომეტრი ქვიშით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m_1	პიკნომეტრი დისტილირებული ცალი წყალი, m_2	პიკნომეტრი დისტილირებული ცალი წყალი და ქვიშით, m_3	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	135.6	154.07	2.60	2.61
2	66.5	36.5	135.5	154.05	2.62	

ქვიშის მოცულობითი მასა

ცხრილი 3.4

ნიმუშის №	მასა, გრ	სიმკვრივე, გრ/სმ³

		ჭურჭლის, m	ჭურჭელი მასალით, m_1	სინჯის	საშუალო
1	1000	360.2	1897.0	1537.0	1524.0
2	1000	360.2	1871.0	1511.0	

ქვიშის ცარიელობა განსაზღვრულია ფორმულით:

$$V_в = \left(1 - \frac{1524.0}{2.61 * 1000}\right) * 100\% = 41.60\ \%$$

ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშებისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ქვიშის ტენიოანობის განსაზღვრას, რაც მოცემულია ცხრილში 3.5

ტენიანობა

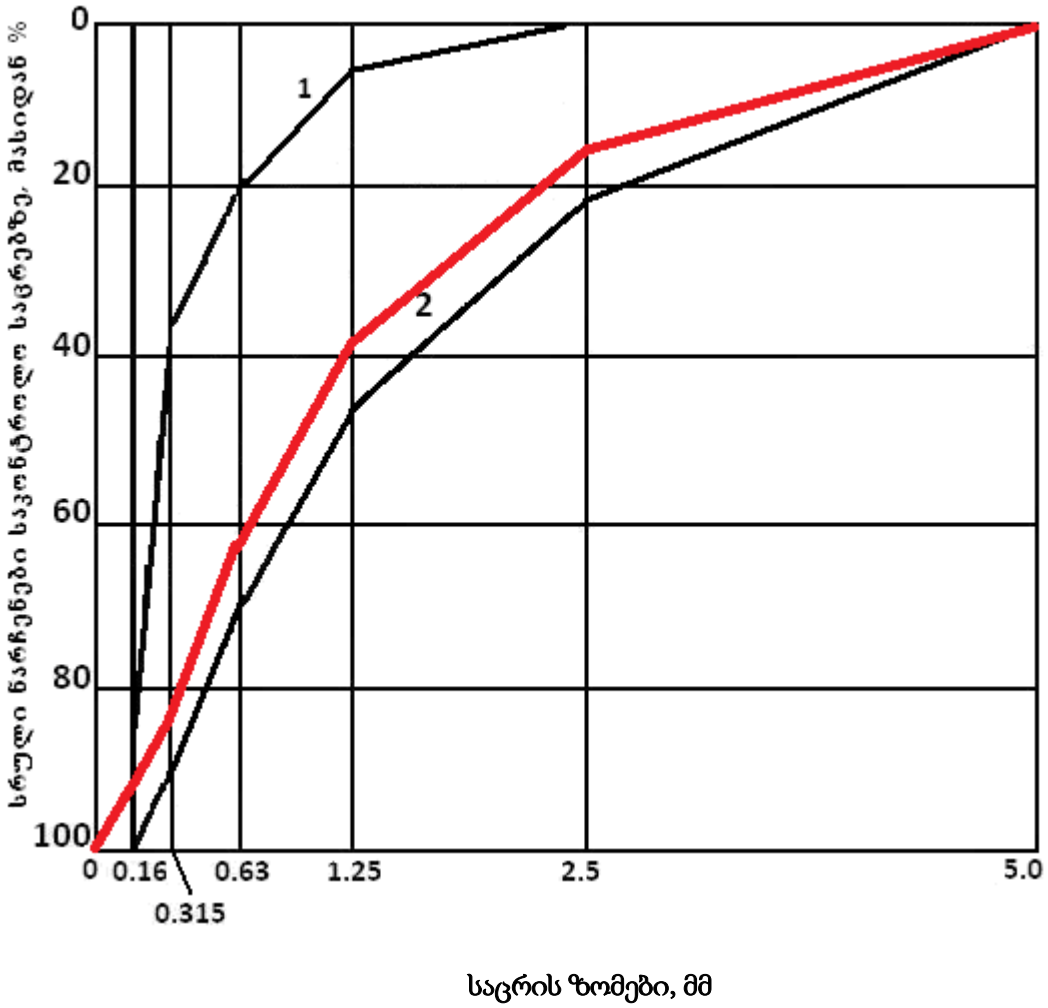
ცხრ. 3.5

სინჯის	სინჯის მასა, გრ	ტენიანობა, W %

№	ტენიანი ქვიშის, M	მშრალი ქვიშის, M_1	სინჯის	საშუალო
1	1438.8	1419.45	1.36	1.43
2	1321.5	1301.94	1.50	

ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობის განსაზღვრის შემდეგ, ე.ი. ქვიშის გაცრით საცერთა ნაკრებში, ზომით: 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; მიღებულია სრული ნარჩენების საცრებზე, რაც დატანილია გაცრის დაშტრიხულ ნაწილში. რადგანაც გაცრის მრუდი სრული ნარჩენების მიხედვით მოთავსდა დაშტრიხულ ნაწილში ქვიშა აკმაყოფილებს სტანდარტით გათვალისწინებულ მოთხოვნებს.

გრანულომეტრიის გრაფიკი



ნახ 3.2 ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა

ღორღი მიიღება ბუნებრივი ქვის ქანების, ხრეშის სხვადსხვა სახის წიდის და ხელოვნური ქვის ქანების მსხვრევით 5–70 მმ ზომის მარცველბათ. ღორღის მისაღებად გამოყენებულია ქვასამსხვრეველები, რომელთა მუშაობისას, გარდა ღორღის ფრაქციისა წარმოიქმნება ხელოვნური ქვიშა და მტვერი.

ჩვენს შემთხვევაში ღორღის მისაღებად გამოყენებული იყო ქვიშაქვა რომლის მსხვრევა წარმოებდა კონუნისებრ სამსხვრეველაში.

ხრეშისაგან განსხვავებით, ღორღის მარცვლები ძირიტადად არაწესიერი ფორმისაა და ხასიათდებიან ხორკლიანი ზედაპირით, რის გამოც ღორღის მარცვლები უფრო მტკიცედ ეჭიდება ცემენტის ქვას ბეტონში და ამიტომაც იგი გამოიყენება მარალი სიმტკიცის (500 კგძ/სმ^2 და მეტი) ნაკეთობების დასამზადებლად.

რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად გამოყენებული იქნა ორი ფრაქციის 5–10 მმ და 10–20 მმ ღორღი, სიმტკიცით 1200 კგძ/სმ^2. ღორღის კვლევა ჩატარდა ფირმა „მიქსორის“ ცენტრალურ ლაბორატორიაში. გოსტ 8269.0–97 „ღორღი და ხრეში მთის მკვრივი ქანებისაგან სამშენებლო სამუშაოებისათვის“ მიხედვით. ღორღის გამოცდის შედეგები ფრაქციისათვის 5–10 მმ მოცემულია ცხრილებში3.6, 3.7; 3.8; 3.9; 3.1

მარცლოვანი შედგენილობა

ცხრ.3.6

ნარჩენი საცერზე	საცრის ხვრეტის ზომები, მმ				ჯამი
	20	**10**	**5**	**<5**	
კერძო, გრ	-	8.2	1599.9	698.2	2306.3
კერძო, %	-	0.4	69.3	30.3	100
სრული	-	0.4	69.7	100	-

მოცულობითი მასა

ცხრ. 3.7

სინჯ	ჭურჭლ	მასა, გრ	სიმკვრივე, კგ/მ^3

ის №	ის მოცულობა, V სმ³	ჭურჭლის, m	ჭურჭელი მასალით m_1	სინჯის	საშუალო
1	1000	360.2	1870.6	1510.4	1501.6
2	1000	360.2	1853.0	1492.8	

სიმკვრივე

ცხრ. 3.8

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, გრ/სმ³	
	პიკნომეტრი ლორღით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m_1	პიკნომეტრი დისტილირებული წყლით, m_2	პიკნომეტრი დისტილირებული წყლით და ლორღით, m_3	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	136.6	155.3	2.6	2.6
2	66.5	36.5	136.5	155.2	2.6	

საშუალო სიმკვრივის განსაზღვრა

ცხრ. 3.9

№	მშრალი სინჯის მასა, m გრ	წყლით გაჟღენთილი სინჯის მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ_k გრ/სმ³	
		ჰაერზე აწონვით, m_1	წყალში აწონვით, m_2	სინჯის	საშუალო
1	109.0	109.7	67.0	2.55	2.55
2	105.7	106.3	65.0	2.55	

ცარიელობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$V_в = \left(1 - \frac{1501.6}{2{,}55 * 1000}\right) * 100\% = 41.11\%$$

სადაც 1501,6 კგ/მ³არის მოცულობითი მასა, ხოლო 2,55 გრ/სმ³ არის ღორღის სიმკვრივე. ღორღის ცარიელობა 41,11% შეესაბამება სახელმწიფო სტანდარტს (< 45%)

ტენიანობა

ცხრ. 3.10

სინჯის №	სინჯის მასა, გრ		ტენიანობა, %	
	ტენიანი ღორღის წონა, M	მშრალი ღორღის წონა, M_1	სინჯის	საშუალო
1	2320.0	2304.2	0.68	0.59
2	2315.1	2303.6	0.50	

ტენიანობა ღორღისა, როგორც მოსალოდნელი იყო გამოვიდა მცირე (0,59%), რაც იძლევა მისი გამოყენების საშუალებას შრობის გარეშე.

ღორღის გამოცდის შედეგები ფრაქციისათვის 10–20 მმ მოცემულია ცხრილებში 3.11; 3.12; 3.13; 3.14; 3.15. გამოცდა ჩატარდა 30.09.2014 წელს, ასევე ფირმა „მიქსორის“ ცენტრალურ ლაბორატორიაში სახელმწიფო სტანდარტით გოსტ 8269.0–97 „ღორღი და ხრეში მთის მკვრივი ქანებისაგან სამშენებლო სამუშაოებისათვის.“

მარცვლოვანი შედგენილობა

ცხრ. 3.11

ნარჩენი საცერზე	საცრის ხვრეტის ზომები, მმ				ჯამი
	20	**10**	**5**	**<5**	
კერძო, გრ	75.7	2269.7	374.9	33.6	2753.9
კერძო, %	2.7	82.5	13.6	1.2	100
სრული	2.7	85.2	98.8	100	-

მოცულობითი მასაცხრ. 3.12

სინჯის №	ჭურჭლის მოცულობა, V სმ³	მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ_H კგ/მ³	
		ჭურჭლის, m	**ჭურჭელი მასალით, m_1**	**სინჯის**	**საშუალო**
1	1000	360.2	1795.4	1435.2	1436.6
2	1000	360.2	1798.2	1438.0	

სიმკვრივე

ცხრ. 3.13

ᲡᲘᲜᲯᲘᲡ №	**მასა, გრ**	**სიმკვრივე,**

					ρგრ/სმ³	
	პიკნომეტრი ლორლით,m	ცარიელი პიკნომეტრი,m_1	პიკნომეტრი დისტილირებულ წყლით, m_2	პიკნომეტრი დისტილირებულ წყლით და ლორლით, m_3	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	136.6	155.3	2.6	2.6
2	66.5	36.5	136.6	155.2	2.6	

საშუალო სიმკვრივის განსაზღვრა

ცხრ. 3.14

№	მშრალი სინჯის წონა, m გრ	წყლით გაჟღენთილი სინჯის მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ_kგრ/სმ³	
		ჰაერზე აწონვით, m_1	წყალში აწონვით, m_2	სინჯის	საშუალო
1	143.4	143.8	88.7	2.6	2.6
2	141.1	141.3	88.3	2.6	

ცარიელობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით,

$$V_{\text{ბ}} = \left(1 - \frac{1436.6}{2.6*1000}\right) * 100\% = 44.74\%$$

სადაც 1436.6 კგ/მ³ არის მოცულობითი მასა, ხოლო 2,6 გრ/სმ³ არის ღორრის სიმკვრივე. ღორღის ცარიელობა 44, 74 % შეესაბამება სახელმწიფო სტანდარტს, რადგანაც < 45%–ზე.

ტენიანობა

ცხრ 3.15

სინჯის №	სინჯის მასა, გრ		ტენიანობა, %	
	ტენიანი ღორღის წონა, M	მშრალი ღორღის წონა, M_1	სინჯის	საშუალო
1	2766.0	2754.1	0.43	0.43
2	2763.0	2751.1	0.43	

ტენიანობა ღორღისა ფრაქციით 10–20 მმ გამოვიდა მცირე – 0,43 %, რაც იძლევა მისი უშაოლო გამოყენების საშუალებას შრობის გარეშე.

3.3 სწრაფმყარებადი ცემენტის გამოცდა. სწრაფმყარებადი ცემენტი რომელიც გამოყენებული იქნა რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად, გამოცდილი იქნა ფირმა „მიქსორის“ ლაბორატორიაში. გამოცდის მონაცემებიდა ძირითადი შედეგები მოცემულია ცხრილებში: 3.16; 3.17; 3.18; 3.19; 3.20; 3.21; 3.22.

პროდუქციის მწარმოებელი:შპს „HeidelbergCement in Georgia“

გამოცდის ჩატარების ადგილი: „MIXORI Ltd“

ნიმუშების დაყალიბების თარიღი: 1.10.2014 წელი

გამოცდის ჩატარების თარიღი: 29.10.2014 წელი

ნორმატიული დოკუმენტი, რის მიხედვითაც ჩატარდა გამოცდა:გოსტ310.2-76 „ცემენტი. დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა“. გამოცდის მეთოდები“; გოსტ 310.3-76 „ცემენტი. ნორმალური ცომის, შეკვრის ვადების და თანაბარზომიერების განსაზღვრა“; გოსტ 310.4-81 „ცემენტის სიმტკიცის განსაზღვრა ღუნვაზე და კუმშვაზე“.

ცემენტის დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა

ცხრ. 3.16

ნიმუში №	დასახელება	სინჯის მასა, გრ		ცემენტის დაფქვის სიწმინდე, %
		საწყისი, გრ	საბოლოო №0.08 საცერში გასული, გრ	სინჯის
1	Cem I 42.5 R	50	46.25	7.5
1	Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით	50	48.25	3.5

ხვედრითი ზედაპირის განსაზღვრა

ცხრ. 3.17

ნიმუში №	დასახელება	ხვედრითი ზედაპირი გრ/სმ^2

1	**CemI 42.5 R**	3354
1	**Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით**	3400

ხვედრითი ზედაპირის სიდიდე იმატებს ინტენსიფიკატორის დამატებით, რაც მნიშვნელოვანი ასპექტია, ამასთან ერთად, მისი სიდიდე 3400 გრ/სმ^2 ახასიათებს მაღალი დაფქვის სიწმინდის ცემენტებს, რაც სრულიად გამართლებულია.

ცემენტის შეკვრის ვადების განსაზღვრა ცხრ. 3.18

ნიმუში №	**დასახელება**	**შეკვრის დასაწყისი წთ**	**შეკვრის დასასრული წთ**
1	**CemI 42.5 R**	45	720
1	**Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით**	30	680

ინტენსიფიკატორის დამატებით შემცირდა ცემენტის შეკვრის პროცესის როგორც დასაწყისი, ასევე დასასრული, რაც ინტენსიფიკატორის მოქმედების შედეგია.

წყალმოთხოვნელობის განსაზღვრა

ცხრ. 3.19

ნიმუში №	დასახელება	სინჯის მასა, გრ	წყლის რაოდენობა მლ	ლითონის ცილინდრის ცემენტის ცომში ჩაძირვის სიღრმე, მმ	წყლის პროცენტული რაოდენობა ცემენტის მასიდან, %
1	CemI 42.5 R	300	71.4	6	23.8
1	Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით	300	72.0	5	24.0

ამ შემთხვევაში ცემენტის წყალმოთხოვნილება გაიზარდა, მაგრამ უმნიშვნელოდ.

ცემენტისდუღაბისაგანდამზადებული ნიმუშების გამოცდა კუმშვაზე

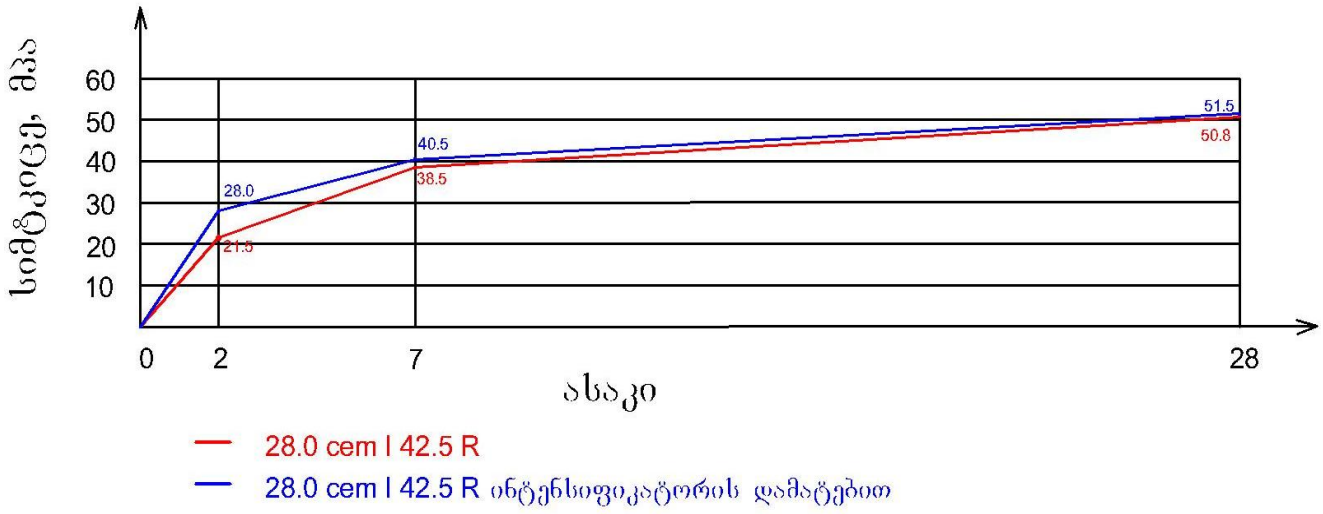
დასახელება	გამოცდის დ/ღ	სიმტკიცე, მპა	სიმტკიცე, კგძ/სმ²

CemI 42.5 R	$R_{კუმშ}$ - 2დ/ღ	21.5	219.08
Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით	$R_{კუმშ}$ - 2დ/ღ	28.0	285.32
სხვაობა %30.23			
CemI 42.5 R	$R_{კუმშ}$ - 7დ/ღ	38.5	392.31
Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით	$R_{კუმშ}$ - 7დ/ღ	40.5	412.69
სხვაობა %5.19			
CemI 42.5 R	$R_{კუმშ}$ - 28 დ/ღ	50.8	517.65
Cem I 42.5 Rინტენსიფიკატორის დამატებით	$R_{კუმშ}$ - 28 დ/ღ	51.5	524.78
სხვაობა %1.37			

ცხრ. 3.20

(ცხრ. 3.20) ინტენსიფიკატორის დამატება საგრძნობლად ზრდის ცემენტის სიმტკიცეს 30%–ით, 2–ე დ/ღ ასაკში, 7 დ/ღ ასაკში მატება აღწევს 5,19 %–ს, ხოლო 28 დ/ღ ასაკში 1,37 %.

ცემენტის სიმტკიცე კუმშვისას Cem I 42.5 R და Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით 28 დ/ღ ასაკში



ნახ. 3.3

ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დასკვნითი მონაცემები

ცხრ. 3.21

| | | |

ს			შეკვრის დასაწყისიწთ	შეკვრის დასასრულიწთ				
CemI 42.5 R	7.5	3354	45	720	23.8	21.5	38.5	50.8
Cem I 42.5 R ინტენსიფიკატორის დამატებით	3.5	3400	30	680	24.0	28.0	40.5	51.5

ნაკლები

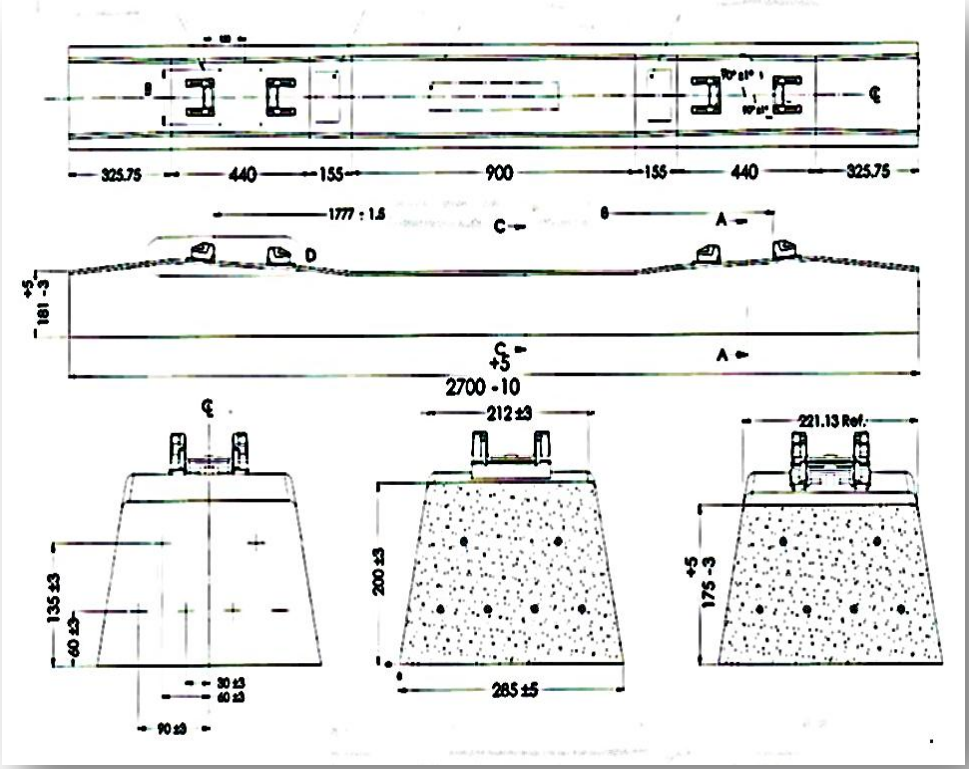
რებადი ცემენტის, შემვსებების დანამატის შესწავლის საფუძველზე, ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა ბეტონის კომპოზენტები და განსაზღვრული იქნა მისი ოპტიმალური შედგენილობა 1მ³ ბეტონისათვის

1მ³ ბეტონის შედგენილობა

ცხრ. 3.22

შემადგენელი მასალების რაოდენობა

ცემენტი Cem I 42.5 R ინტენსივეკტორის დამატებით, კგ	წყალი მლ.	ქვიშა კგ.	ღორღი 5 – 10 მმ კგ.	ღორღი 10 – 20 მმ კგ.	მოცულობითი მასა კგ/მ³	წყალშემცველობის ფარდობა	**ბეტონის ნარევის კონუსის ჯდენა სმ**	**CHRYSO Fluid Premia 180, %**
1	2	3	4	5	6	7	8	89
570	100	760	380	630	2440	0,175	14	1,2



ნახ. 3.4 რკინაბეტონის შპალი

აღნიშნული შედგენილობით ცენტრალურ ლაბორატორიაში დამზადებული იქნა მძიმე ბეტონის ნარევი მოცულობითი მასით 2440 კგ/მ^3,კონუსის ჯდენით 14 სმ. გამოცდილი იქნა სიმტკიცის განსაზღვრისათვის ბეტონის კუბიკები ზომით 15·15·15 სმ, 9 ცალი 28 დღე–ღამის ასაკში, რიშ შედეგადაც მიღებული იქნა დადებითი შედეგები.

ბეტონის სიმტკიცის განსაზღვრის შემდეგ შპალების ბეტონის ნიმუშები გამოიცადა ყინვამედეგობაზე, რადგანაც რკინაბეტონის შპალებისათვის ყველაზე საპასუხისმგებლო არის ყინვამედეგობა.

ბეტონის ნიმუშების ყინვამედეგობაზე გამოცდა ჩატარდა გოსტ 1006.1–95 –ის მიხედვით.გამოცდისშედეგებიმოცემულიაცხრილში 3.23

საკონტროლო და ძირითადი ნიმუშების საწყისი მონაცემები							საკონტროლო		ძირითადი									
									შუალედური გამოცდის შემდეგ					შემაჯამებელი გამოცდის შემდეგ				
ნიმუშის შემოსვლის თარიღი	პარტიის № და ნიმუშის ნიშანდება	დამზადების თარიღი	ნიმუშის წონა, გრ	ბეტონის სიმტკიცე, კლასი (მარკა) კუმშვაზე	საბროექტო მარკა, ყინვაგამძლ.ციკლი	გამოცდის თარიღი	სიმტკიცე კუმშვაზე გაჯ. მდგომარეობაში, კგძ/სმ²	საშუალო სიმტკიცე, კგძ/სმ²	გამოცდის დაწყების თარიღი	შუალედური ციკლების რიცხვი	სიმტკიცე კუმშვაზე, კგძ/სმ²	საშუალო სიმტკიცე, კგძ/სმ²	საშუალო სიმტკიცის ცვლილება, %	შემაჯამებელი გამოცდის თარიღი	ციკლების რიცხვი გამოცდის დაწყებიდან	სიმტკიცე კუმშვაზე, კგძ/სმ²	საშუალო სიმტკიცე, კგძ/სმ²	საშუალო სიმტკიცის ცვლილება %
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*
27-11-14	№284, ინ3	06-12-14	2485	B-40(M500)	F-200	3-01-15	849	808	3-01-15	F-100	825	826	≥ 2,25	25-01-15	F-200	887	890	≥≥ 10.2
			2460				800				821					887		
			2475				841				808					849		
			2450				790				834					898		
			2500				855				847					932		
			2440				716				820					885		
14	№238, ინ3	06-12-14	2410	B-40(M500)	F-200	3-01-15	743	719	3-01-15	F-100	874	853	≥ 18,7	25-01-15	F-200	915	894	≥≥ 24,5
			2395				721				854					904		

			2425				702				746					905		
			2400				722				856					884		
			2440				720				850					879		
			2410				705				810					877		
27-11-14	№238, ᲝᲗ	06-12-14	2415	B-40(M500)	F-200	3-01-15	766	764	3-01-15	F-100	897	878	≥ 15,0	25-01-15	F-200	1037	1005	≥≥ 31,5
			2400				731				853					977		
			2395				757				871					996		
			2410				749				887					997		
			2410				753				872					990		
			2400				826				887					1035		

ბეტონის ნიმუშების ყინვამედეგობაზე გამოცდის შედეგები ცხრ. 3.23

შპალების დამზადების ტექნოლოგიური ხაზის სიგრძეა 115 მ, სადაც ერთდროულად ყალიბდება 320 რკინაბეტონის შპალი.

ტექნოლოგიური პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი თანმიმდევრობით: ყალიბების მომზადება, სავარცხლების ჩაწყობა, ტროსების ჩალაგება ორ რიგად და მათი დაძაბვა, ბეტონის ჩასხმა სპეციალური ბეტონსარიგებლებით, ვიბრირება, გაორთქვლის პროცესის მომზადება, რაც ითვალისწინებს თვითმავალი მოწყობილობით შპალების ზედაპირის დამცველი ტენტით დაფარვას, გაორთქვლა 60^0C ტემპერატურაზე.

ყალიბების მომზადება წარმოებს სპეციალური დანადგარით, რომელიც აწარმოებს შემდეგ ოპერაციებს: ტექნოლოგიურ ხაზზე ალაგებს ყალიბებს, აწყობენ ჩასაყოლებელ დეტალებს, ტროსებს ორ რიგად, ქვემო რიგში 4 რიგად, ხოლო ზემო რიგში 2 რიგად.

ნახ. 3.5 ყალიბების მომზადება

ყალიბების მომზადების სემდეგ წარმოებს ბეტონის გამოყოფი სავარცხლების ჩაწყობა და ტროსების დაძაბვა მექანიკურად (ტროსები იძაბება 70 კნ–ით).

ბეტონის ჩასხმა მიმდინარეობს სპეციალური ბეტონსარიგებელით.

ნახ: 3.6 ბეტონის ჩასხმა

ყალიბებში ისხმება ბეტონსარიგებლიდან ვიბრირებული ბეტონი, დენადობით 16 სმ, ფორმის გავსების შემდეგ ყალიბს ქვემოდან უკეთდება დამატებითი ვიბრირება, რომლის ხანგრძლივობა 5–10 წმ. ვიბრირებული ზედაპირი უნდა იყოს იდეალურად სწორი, რადგან უახლესი ტიპის ვაკუუმამომღები დანადგარი, რომლის ზედაპირი მთლიანად უნდა დაედოს ნაკეთობას სხვა შემთხვევაში ვერ ამოიღებს.

გაორთქვლის პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი თანმიმდევრობით: ვიბრირებულ ნაკეთობებს სპეციალურ

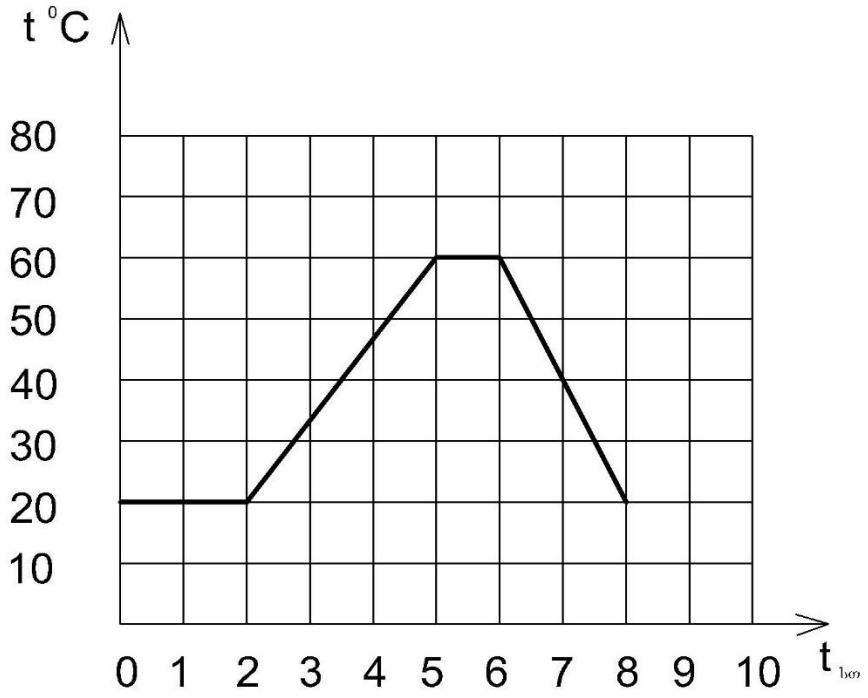
მოწყობილობა ლიანდზე ვიბრირებული შპალების ზედაპირს მოძრაობით თანმიმდევრობით ფარავს ტენტი .

ნახ. 3.7 ტენტის დამფარავი დანადგარი

ყალიბების ქვემოთ გაყვანილია ორთქლმიმწოდებელი მილები, რომლებზეც დამონტაჟებულია ელექტრომაგნიტური სარქველები, ისინი აწარმოებენ ავტომატურ რეჟიმში ტემპერატურის რეგულირებას, რათა გამოირიცხოს როგორც ორთქლის დანაკარგი, ასევე ზედმეტი ტემპერატურის მიწოდება, რათა გაორთქვლა წარიმართოს წინასწარ განსაზღვრული რეჟიმით.

შპალებთან ერთად მიმდინარეობს საცდელი ბეტონის კუბების გაორთქვლა, რომლებიც თავსდება ტენტის ქვეს ყალიბების ზედაპირზე, საცდელი ნიმუშები აღებულია ყველა შემოსული ბეტონის პარტიიდან.

შპალების თბოდამუშავების რეჟიმი მოცემულია შემდეგ ნახაზზე.



ნახ. 3.8 გაორთქვლის რეჟიმი

ბეტონის თბოდამუშავების შედეგად მისი სიმტკიცე ნაკეთობებში უნდა შეადგენდეს საპროექტო მარკის 70 %–ს, რასაც ნაკეთობის გასაშვებ სიმტკიცეს უწოდებენ და იგი მთლიანად საკმარისია მისი ტრანსპორტირებისა და მონტაჟისათვის.

რომ არ დაირღვეს ბეტონის 15^{0}C–ით) 60^{0}C–მდე. ერთ საათის განმავლობაში ხდება იზოთერმული დაყოვნება და შემდეგ წარმოებს ნაკეთობის ნელ-ნელა გაცივება. მთელი თბოტენიანი დამუშავების ციკლი შეადგენს 8-10 სთ-ს, ხოლო სიმტკიცე გაორთქლის შემდეგ აღწევს საპროექტო სიმტკიცის 70 %–ს.

გამყარების შემდეგ მიმდინარეობს დაძაბულობის მოხსნა, ტროსების ჩაჭრა დათანამედროვე ვაკუუმდანადგარით განყალიბება.

ტექნოლოგიურ სიახლეს შეადგენს უახლესი ტიპის ვაკუუმდანადგარი.

ნახ. 3.9 ვაკუუმდანადგარი

დანადგარი ნაკეთობის ყალიბიდან ამოღებას აწარმოებს 0,2 ბარი ატმოსფეროთი, ყოველგვარი დაზიანების გვერდითი კბილანების საშუალები ამოატრიალებს შპალს და ასაწყობებს სპეციალურად გამოყოფილ ტერიტორიაზე.

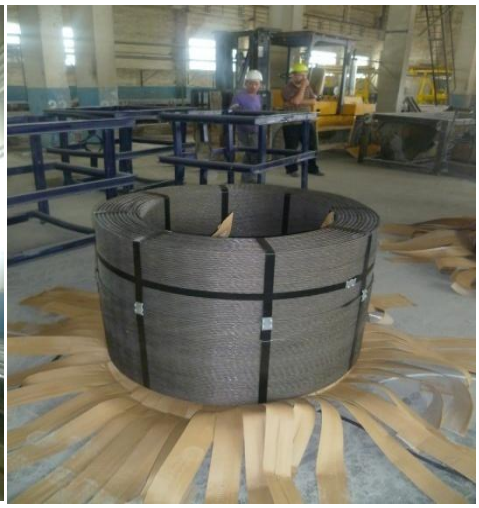
3.10 განყალიბება

რკინაბეტონის შპალების ტექნიკური კონტროლისათვის შემოწმებული იქნა, როგორც საცდელი ბეტონის ნიმუშები, მათი მოცულობითი მასა, წყალუჟონადობა. გარდა ამისა შემოწმებული იქნა ნაკეთობის ფორმა და ზომები, შპალის გამოცდა მიმდინარეობს საამქროში არსებულ სპეციალურ სტენდზე.

ნახ. 3.11 რკინაბეტონის შპალის გამოცდა

<u>**რკინაბეტონის შპალებისტექნიკური მახასიათებლები:**</u>

1. ბეტონის კლასი B40;
2. ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, 28 დღე–ღამისასაკში – 512 კგძ/სმ^2;
3. რკინაბეტონის შპალის სიგრძე – 2700 მმ;
4. წნული არმატურა დიამეტრით – 9.3 მმ
5. შპალის მაქსიმალური მასა – 319 კგ;
6. ყინვამედეგობა – 200;
7. ტვირთამწეობა – 25 ტ.



რკინაბეტონის შპალების დასაწყობება ხდება ტიპზომების მიხედვით, ისეთ მდგომარეობაში როგორიც ექნებათ მათ ექსპლუატაციის დროს.

ნახ. 3.12 რკინაბეტონის მზა შპალები

რკინაბეტონის მზა ნაკეთობის ტრანსპორტირება დანიშნულების ადგილამდე წარმოებდა სპეციალურად მოწყობილი ავტო და რკინიგზის პლატფორმებით, რომელზეც ნაკეთობები დატვირთულია გრძივი ღერძით მოძრაობის მიმართულების გასწვრივ.

ძირითადი დასკვნები

1. ჩვენი მონაწილეობით მიღებული იქნა ახალი სწრაფმყარებადი ცემენტი, რომელიც გამოყენებული იქნა ბეტონის და რკინაბეტონის დასამზადებლად შპს„წყალმშენი–ლილოს“ და შპალების რკინაბეტონის ქარხნებში.
2. სწრაფმყარებადი ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესის შესწავლისას ფირმა „მიქსორის“ ცენტრალურ ლაბორატორიაში რენტგენო–სტრუქტურული ანალიზით დადგენილი იქნა, რომ საწყის სტადიაზე 28 დღე–ღამის ასაკში ჰიდრატაციაში შედის ცემენტის 40 – 50 %, დანარჩენი ნაწილი კი ჰიდრატირდება 2 – 3 ათეული წლის განმავლობაში, თუ ნაკეთობები იმყოფება ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში. რაც იწვევს ბეტონის და რკინაბეტონის ნაკეთობების სიმტკიცის ზრდას 1,5 – 2 ჯერ.
3. გამოკვეული და შესწავლილი იქნა ქსოვრისის კარიერიდან მიღებული ინერტული მასალები: ქვიშა და ღორღი, თანამედროვე სტანდარტების მოთხოვნის შესაბამისად.
4. ევროპელ პარტნიორებთან და შპალების ქარხნის ინჟინერ–ტექნიკურ პერსონალთან კონსულტაციის შემდეგ რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად შერჩეული იქნა დანამატი CHRYSO Fluid Premia – 180.
5. დანამატის და სწრაფმყარებადი შემკვრელის ერთობლივი გამოყენებით დამზადებული იქნა B–15, B-25 კლასის ბეტონები წყალმშენი ლილოს ქარხნისათვის, ხოლო B–40 კლასის ბეტონი შპალების ქარხნისათვის, რომლებმაც 28 დღე–ღამის ასაკში გამოცდის შედეგად მოგვცა ნაკეთობების წინასწარ მოთხოვნილი ტექნიკური მახასიათებლები.
6. შპს „წყალმშენი–ლილოს“ ქარხანაში დამზადებული იქნა რკინაბეტონის ნაკეთობები: წინასწარდაძაბული ფილები და

პარაბოლური ღარები სარწყავი გამანაწილებელი არხებისათვის, ნაკეთობები დანერგილი იქნა შეკვეთილი ხელშეკრულების მიხედვით.

7. ფირმა „მიქსორში“ ასევე ჩვენი მონაწილეობით დამზადებული იქნა სტანდარტით გათვალისწინებული მაღალი ტექნიკურ–ეკონომიკური მაჩვენებლების რკინაბეტონის შპალები, რომლებიც გამოყენებული იქნა ისეთი ადგილობრივი და ტრანსნაციონალური პროექტების განხორციელებისას როგორიცაა „ყარსი – ახალქალაქის“ რკინიგზა და საქართველოს სარკინიგზო მაგისტრალის რეაბილიტაცია.

8. შპალების თბოტენიანი დამუშავებისას სწრაფმყარებადი ცემენტისა და დანამატის ერთობლივი გამოყენებით შემცირდა გაორთქლის ხანგრძლივობა 2 – 4 სთ–ით, გარდა ამისა გაორთქვლის პროცესში შემცირდა მაქსიმალური ტემპერატურა 90^0 C–დან 60^0 C–მდე. ამის შედეგად შემცირდა ვიბროდამუშავების ხანგრძლივობა 70 %–ით, გაიზარდა წყალუჟონადობა, ყინვაგამძლეობა და ნაკეთობის სახიანი ზედაპირის ხარისხი, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა.

9. ჩვენი მონაწილეობა როგორც „წყალმშენი–ლილო“ ასევე ფირმა „მიქსორში“ ბეტონისა და რკინაბეტონის ქარხნებში ზემოთ განხილულ ტექნოლოგიურ პროცესებში დასტურდება ამ საწარმოების მიერ გაცემული დოკუმენტაციებით. (იხ. დისერტაცია დანართი 1 და 2)

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ნადირაძეა. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობათა ტექნოლოგია. თბილისი: განათლება. 1994, გვ 487– 532.
2. ნადირაძეა. საშენი მასალები და ნაკეთობები. თბილისი: 2011, გვ 45– 123.
3. ნადირაძეა; ხახუტაშვილიგ.სამეცნიეროექსპერიმენტისდაგეგმვა და მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების დამუშავება. თბილისი: 2009, გვ 9– 12.
4. ნადირაძე ა; ჩალაძელ.ცემენტის ცომის ეკონომია ბეტონისა და რკინაბეტონის ნარევში. ჟურნალიენერგია.3 (48) თბილისი: 2008, გვ 4.
5. ნადირაძეა; ყურაშვილიდ. ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესის კვლევა და მისი გავლენა ბეტონის სიმკვრივეზე. ჟურნალიენერგია .3 (48) თბილისი: 2008, გვ 12– 14.
6. ნადირაძე ა; ყურაშვილი დ. შპსწყალმშენი–ლილოსრკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადების ტექნოლოგიის კვლევა. სამეცნიერო–ტექნიკური ჟურნალიმშენებლობა. 2 (33), თბილისი: 2014 წელი, გვ 12–15.
7. ნადირაძე ა;. შიხაშვილი ი; გოცაძე დ. ბეტონისა და რკინაბეტონის შპალების დამზადების ტექნოლოგია დანამატების გამოყენებით. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალიმშენებლობა. 1 (36) 2015 წელი;
8. ნადირაძეა; დალაქიშვილიგ.ცემენტის შედგენილობის გავლენა ბეტონის ბზარმედეგობაზე. ჟურ.საშენი მასალები და ნაკეთობები. 2 თბილისი: 1994, გვ 5– 9.
9. ნადირაძეა; კალმახელიძემ.მეთოდური მითითებები საშენ მასალებში. თბილისი 1986, გვ 6– 12.
10. მოისწრაფიშვილი მ; რურუა ნ. რკინიგზის ლიანდაგი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი: 2009, გვ 7– 11.;

11. გაბადაძეთ; სულაძეი. სწრაფშემკვრადი ცემენტის მიღება და მათი თვისებების კვლევა. მშენებლობა2 (25) 2012, გვ 23– 25.
12. ჩიქოვანი ა. ბეტონის ტექნოლოგია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი: 2015, გვ 8– 9.
13. ჩიქოვანი ა. საშენი მასალები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი: 2012, გვ 5– 8.
14. კვიცარიძე. ო. მონოლითური ბეტონისა და რკინაბეტონის ტექნოლოგია. თბილისი: 1987, გვ 19– 22.
15. ნადირაძე დ; ბურჭულაძე შ; ჩრდილელი ო. საქართველოში ბეტონის შემვსებების წარმოების განვითარების ძირითადი საკითხები. ჟურნალი საშენი მასალები და ნაკეთობები. N1 1993, გვ 34– 35.
16. ნადირაძე ა; ტურძელაძე მ. ბეტონისა და რკინაბეტონის სპეციალიზებული საწარმოს დაპროექტება. თბილისი: 2009, გვ 4– 9.
17. ნადირაძე ა; რაზმაძე შ. ასაწყობი და მონოლითური ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების გამყარება ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგიით. ჟურნალი მშენებლობა 1 (18) თბილისი 2008, გვ 9– 12.
18. ნადირაძე ა; ნანიტაშვილი ე. ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების სახლის აგება საგანგებო სიტუაციებში დაჩქარებული მეთოდებით. ჟურნალი მშენებლობა N1 (18) თბილისი 2008, გვ 7– 11.
19. ბოჭორიშვილი ნ. სამშენებლო და მოსაპირკეთებელი მასალების წარმოების ტექნოლოგიის კვლევა და სრულყოფა. თბილისი 1980. გვ 11– 12.
20. Микульский Г; Гормиков. Г.И. и др. - Строительные материалы. Москва: 2007, გვ 7– 8.
21. Комар А. Г.Строительные материалы и изделия. Москва:2008, გვ 16– 19.
22. Воробъев В; Комар А. Г. Строительные материалы. Москва: 1971, გვ 7– 9.

23. Хигерович М; . Гормиков Г. И; Рыбьев и др. Строительные материалы. Москва: 1970, გვ 10– 12.
24. Мчедлов- ПетросянО.П. Химия неорганических строительных материалов. Москва:1988, გვ 9– 11.
25. Барабанщиков Ю. Г. Строительные материалы и изделия . Москва:2008, გვ 14– 15.
26. Яспевич В. Е. Бетон и железобетон в архитектуре. Москва:1980, გვ 6– 8.
27. Воробъев. В. А. Строительные материалы. Москва: 1979, გვ 4– 9.
28. Кропотов В. И; Зайцев А.Г; Скавронский Б.И. Строительные материалы. Москва: 1993, გვ 12
29. Волженский А; В. Буров Ю.С; Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества. Москва: 1979, გვ 17– 20.
30. НадирадзеА. Д; Алиев С. И. Бетонная смесь.Москва: 1989, გვ 43– 50.
31. Айрапетов О.П. Архитектурное материаловедение.Москва: 1984, გვ 33– 34.
32. Горчаков Г.И. Строительные материалы. Москва: 1981, გვ 32– 40.
33. Митрофанов Е.И. Армоцемент. Москва: 1973, გვ 13– 15.
34. Цителаури Г.И. Проектирование предприятий сборногожелезобета.Москва: 1986, გვ 7– 12.
35. Значко - Яворский И.Л. Челидзе Е.Г. Изобретатель цемента.Тбилиси: 1969, გვ 45– 46.
36. Крылов б. А.Эффективное ресурсосбережение.Москва: 1989, გვ 33– 37.
37. Надирадзе А. Д. и др. Касетное установка для изготовления крупнопонельных плит из бетона. Москва: 1991, გვ 12– 14.
38. Надирадзе А.Д;Лоладзе В.В. и др. Высокопрочные бетоны на местных заполнителях ГССР при сокращенных режимах термообработки. Строительство. София: (1976 №27);

39. Надирадзе А.Д; Панджавидзе О.М. Влияние суперпластификатора СПКС-2 на прочностные свойства легкого бетона. Сб. Трудов№8,Тбилиси: 1991, გვ 14– 17.
40. Надирадзе А.Д; Панджавидзе О.М. применение метода голографичекое интерферометри в изучение трешиностоикости лекого бетона. Сб. Трудов ГТУ №30,Тбилиси: 1990, გვ 12

დანართი 1

საქართველოს რესპუბლიკა

შეზღუდული პასუხისმგებლობის საზოგადოება

“წყალმშენი-ლილო”

ქ.თბილისი ს.კ. № 206182708 სადგ.ლილო

№ “ “ 2016წ.

2013-2014 წლებში შ.პ.ს. „წყალმშენი-ლილოს“ ქარხნის საყალიბო საამქროებში რკინაბეტონის ნაკეთობების

1. წინასწარდაძაბული ფილები გამანაწილებელი არსებისათვის.

2. პარაბოლური ღარები სარწყავი გამანაწილებელი სისტემისათვის

ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშებაში, ინერტული მასალების შესწავლაში და ნაკეთობის დამზადების პროცესში, რომელიც წარმოებდა ქარხნის მთავარი ინჟინრის რ. ჩაჩუას ხელმძღვანელობით, მონაწილეობდა ს.ტ.უ.-ს სამშენებლო ფაკულტეტის „სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიისა და საშენი მასელების“ დეპარტამენტის სპეციალისტი, დოქტორანტი დ. ყურაშვილი

შ.პ.სწ. „წყალმშენი-ლილო“

მთავარი ინჟინერი /რ. ჩაჩუა/

შპს "რკინაბეტონის შპალის ქარხანა"
208148878

"CONCRETE SLEEPER PLANT" LTD
208148878

№ 22/05-1.

22 მაისი 2015 წ.

2013-2015 წლებში სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიების და საშენი მასალების დეპატრამენტის დოქტორანტმა დალი გოცაძემ მიიღო მონაწილეობა ქარხანაში რკინაბეტონის შპალების შემადგენელი მასალების, სწრაფმყარებადი ცემენტის, ქსოვრისის კარიერის შემვსებების, დანამატ GRUSO fluid premium-180—ის შერჩევაში.

ამ მასალების გამოყენებით დოქტორანტის მონაწილეობით გაუმჯობესებული იქნა ქარხნის ცენტრალურ ლაბორატორიაში B-40 კლასის ბეტონის შედგენლობა, რაც გამოყენებული იქნა რკინაბეტონის შპალების დამზადებაში და დანერგვაში.

ილია შიხაშვილი

შპს „რკინაბეტონის შპალის ქარხნის"
დირექტორი

საქართველო, თბილისი-0137, ქაიროს ქ. № 6, Тбилиси-0137, ул. Каирская № 6,
6 Cairo Str. Tbilisi-0137, Georgia ☎(+995 32) 60 80 35/37/38/48 Fax:(+995 32) 2 70-52-68
Email: info@shpali.ge www.shpali.ge