

ნათია ტაბატაძე

კონსტრუქციული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური
თვისებების შესწავლა ზედაპირულად აქტიურ გარემოში

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
27 ივლისი 2014 წელი

© საავტორო უფლება ნათია ტაბატაძე, 2014 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით
ტაბატაძე ნათიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს
დასახელებით: „კონსტრუქციული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური
თვისებების შესწავლა ზედაპირულად აქტიურ გარემოში“ და ვაძლევთ
რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას
დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელები: მ. ლორთქიფანიძე
თეა ნარეკლიშვილი

რეცენზენტი: ზ. ქარუმიძე

რეცენზენტი: ო. ჩაკვეტაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2014 წელი

ავტორი: ტაბატაძე ნათია

დასახელება: კონსტრუქციული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური
თვისებების შესწავლა ზედაპირულად აქტიურ გარემოში

ფაკულტეტი : სამშენებლო ფაკულტეტი

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 27.06.2014 წელი

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

ბეტონი 21-ე საუკუნეშიც მოთხოვნად კონსტრუქციულ საშენ მასალად რჩება, ამიტომ საჭიროა მისი უარყოფითი თვისებების შესწავლა (ანიზოტროპულობა, სიმყიფე და სხვა) და მათგან გამოწვეული ლოკალურ-გლობალური პრობლემების აღმოფხვრის ინოვაციური, ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად გამართლებული ტექნოლოგიების შემუშავება. საქართველოს სამშენებლო ბაზარი ითხოვს ახალი თაობის ბეტონების გამოყენებას, ნანოტექნოლოგიების მორგებას ადგილობრივ პირობებთან, რაც საშუალებას იძლევა შეიქმნას მრავალფუნქციური, ნანომოდულიზირებული მაღალტექნოლოგიური საშენი მასალები.

დისერტაციის მიზანია კონსტრუქციული მასალების, კერძოდ ჰიდროტექნიკური ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა ზედაპირულად აქტიურ გარემოში და ნანოტექნოლოგიების გამოყენებით მაღალი სიმტკიცის, მცირედეფორმირებული, აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგი ბეტონების მიღება. დანამატიანი ბეტონების გამოყენების შესაძლებლობა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დასმულია შემდეგი ამოცანები:

მძიმე ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა ადგილობრივი შემკვებების, ჰიდრავლიკური შემკვრელი ნივთიერების და დანამატების გამოყენებით:

- ჰიდროტექნიკური ბეტონისათვის დანამატების: კალმატრონ და ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის და პენეტრონ ადმიქსის გამოცდა სიმტკიცეზე და მათ შორის საუკეთესო ვარიანტის შერჩევა;
- აგრესიული გარემოს გავლენა დანამატებით მიღებულ (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) მძიმე ბეტონის სიმტკიცეზე;
- მდგრადი (დანამატიანი) ბეტონის ხანმედეგობის შესწავლა (წყალშთანთქმა, წყალშეუღწევადობა, წყალმედეგობა);
- მდგრადი (დანამატიანი) ბეტონის დეფორმაციული თვისებების შესწავლა ხანმოკლე და მრავალჯერადი სტატიკური

დატვირთვების დროს. დრეკადობის მოდულისა და პუასონის კოეფიციენტის დადგენა.

რეკომენდაციების შედგენა ჰიდროტექნიკურ და სასოფლო მშენებლობაში მდგრადი ბეტონის გამოყენების შესაძლებლობაზე.

სამუშაოს პირობებიდან გამომდინარე, ჰიდროტექნიკური ბეტონის დანამატად შერჩეული იქნა 1.5 % ქსაიპექს ადმიქს ც-1000, რომლისგან დამზადებული ბეტონის მახასიათებლები - ადვილჩაწყობადობა, ნარევის პლასტიკურობა და სიმტკიცე სხვა დანამატებთან შედარებით (კალმატრონ დ; პენეტრონ ადმიქსი) უფრო მისაღები აღმოჩნდა.

კუმშვაზე და ღუნვაზე ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ით დამზადებული ბეტონის მაღალი მედეგობა აგრესიული გარემოს მიმართ და ხანმედეგობის მაღალი მაჩვენებლები (წყალშთანთქმა, წყალშეუღწევადობა, წყალმედეგობა).

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ საბაზო ბეტონის დეფორმაციები დატვირთვის ყოველ საფეხურზე ზღვრული დეფორმაციების ჩათვლით, არის ნაკლები დანამატიან ბეტონთან შედარებით. ასეთივე სურათია ცოცვადი დეფორმაციისას სტატიკურად მრავალჯერადი დატვირთვების დროს. საბაზო ბეტონის რღვევა ხდება მყისიერად, იმ დროს, როდესაც მდგრადი დანამატიანი ბეტონი ამჟღავნებს პლასტიკურ დეფორმაციებს, რაც იძლევა საშუალებას რკინაბეტონის კონსტრუქციებში არმატურის სრულყოფილად გამოყენების შესაძლებლობას;

როგორც კვლევებმა გვიჩვენეს, მდგადი დანამატიანი ბეტონის (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები აკმაყოფილებს ჰიდროტექნიკური ბეტონისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს. რის საფუძველზეც ვიძლევიტ მისი გამოყენების რეკომენდაციას ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში.

Abstract

Concrete even in 21-th century remains as widely demanded structural construction material, thus is necessary to develop innovative, economically and environmentally justified technologies for avoiding its negative properties (anisotropy, fragility, etc.) and caused by those local - global problems. The Georgia construction market demand is the application of a new generation concrete, adaptation of nanotechnologies to local conditions that gives the possibility to create multi-functional, nano modified high-tech construction materials.

The aim of dissertation is to study the physical - mechanical characteristics of structural materials, in particular, hydraulic concrete in the surface active environment and receiving of high strength concrete, low-deformable, resistant to aggressive environment concrete due application of nano technologies. The possibility of application of concrete with additives in hydraulic structures.

For the achievements of mentioned goal are raising the following tasks:

Due the application of local filler with using a hydraulic binder substance the study of basic and additive heavy concrete physical - mechanical properties:

- additives of hydraulic concrete additives: kalmatron d, Xipex admix C-1000 and penetron admix test on strength and the selection of best option;
- impact of aggressive environmental on strength of heavy concrete with additives (Xipex admix C-1000);
- study of durability of steady (with additives) concrete (water absorption, water impermeability, water resistance);
- study of elasticity modulus and Poisson's ratio at short-term and multiple static loads deformability of concrete with additives.

Making of recommendations for possibility of application in hydraulic agricultural construction of steady concrete.

Due the working conditions, as addition of hydraulic concrete was chosen 1.5 % of Xipex admix C-1000 the properties of made from them concrete – easy concreting, mixture plasticity and strength compared to other supplements (Kalmatron d; penetron admix) is proved to be more acceptable.

Carried out studies on compression and bending have shown high resistance of made with Xipex admix C-1000 concrete to aggressive environments and high durable performance (water absorption, water impermeability, water resistance).

By the experiments was defined that the deformations of basic concrete on each step of loading including the limiting deformations is less than in concrete with additives. The same picture is repeated at creep deformation due static multiple loadings. The rupture of basic concrete becomes instantly, at a time when concrete with additives reveals the plastic deformations that gives the possibility of application in the reinforcement concrete structures;

As it is clear from researches, the physical - mechanical properties of concrete with additives (Xipex admix C-1000) meet the requirements on hydraulic concrete. Grounded on this we make the recommendation for their application in hydraulic facilities.

შინაარსი

შესავალი	XV
1. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	28
1.1. ჰიდროტექნიკური ბეტონი სამეცნიერო წყაროებში.....	28
1.2. ტემპერატურულ-შეკლებითი მოვლენები და ბზარების წარმოქმნა ბეტონში.....	33
1.3. ბზარწარმოქმნები ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე.....	34
1.4 ბზარების წარმოქმნის საწინააღმდეგო ღონისძიებანი.....	45
1.5 მყარი სხეულების გაჟღენთვა სითხეებით (ადგეზია).....	46
1.6 ზედაპირის თავისუფალი ენერგია.....	48
1.7 ადგეზიის და კოგეზიის მუშაობა.....	50
1.8 მყარი სხეულის ზედაპირის დასველების ცვლილება წყალთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს.....	51
1.9 ფორიანი და ბოჭკოვანი მასალების კაპილარული წყალშთანთქმა.....	54
1.10 ესაიპექს ადმიქს ც-1000.....	59
1.11 კალმატრონი.....	59
1.12 პენეტრონ ადმიქსი	59
1.13 მსუბუქი პოლიმერლექობეტონის შექმნის თეორიული საფუძვლები...63	
1.14 შენახვის პირობების გავლენა პოლიმერლიჩობეტონის სიმტკიცეზე და დეფორმაციაზე.....	69
1.15 პოლისტიროლბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა.....	74

2. ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია, დაგეგმვა და ჰიდროტექნიკური ბეტონისათვის მასალების შესწავლა.....	79
3. შეღწევადი მოქმედების ჰიდროსაიზოლაციო დანამატანი ბეტონის კვლევა სიმტკიცეზე ზედაპირულად აქტიურ გარემოში.....	102
4. დანამატანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის ხანმდეგობის შესწავლა.....	118
5. დანამატანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის დეფორმაციული მახასიათებლების შესწავლა.....	123
5.1 დანამატანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტული კვლევები ხანმოკლე დატვითვის დროს.....	123
5.2 ჰიდროტექნიკური დანამატანი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტული კვლევები მრავალჯერადი დატვითვის დროს.....	128
ძირითადი დასკვნები.....	133
გამოყენებული ლიტერატურა.....	135

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი №1.1 ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ტანში ჩასხმული ბეტონის შედგენილობა.....	35
ცხრილი №1.2 ენგურის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე ბზარწარმოქმნის სტატისტიკური მახასიათებლები.....	38
ცხრილი №1.3 სხვადასხვა ბეტონის ნარევისთვის გამოსაყენებელი პლასტიფიკატორები, სუპერპლასტიფიკატორები და დანამატები	60
ცხრილი №1.4 პოლიმერლერბეტონის შემადგენელი მასალები და შედგენილობები.....	70
ცხრილი №1.5 შენახვის პირობების გავლენა ბეტონისა და პოლიმერლერბეტონის სიმტკიცეზე.....	72
ცხრილი №1.6 პოლისტიროლბეტონის შედგენილობა (1 მ ³).....	77
ცხრილი №1.7 პოლისტიროლბეტონის ნიმუშების (10×10×10 სმ) გამოცდა სიმტკიცეზე.....	77
ცხრილი №2.1 მდგრადი დანამატიანი (ქსაიპექსადმიქსც-1000) ბეტონის ნიმუშების გამოცდა სიმტკიცეზე.....	80
ცხრილი №2.2 სტიუდენტის კოეფიციენტები (t).....	82
ცხრილი №2.3 ექსპერიმენტული სამუშაოების გაზომვების რაოდენობა.....	83
ცხრილი №2.4 სანდო ალბათობის დონე.....	83
ცხრილი №2.5 ჰიდროტექნიკური ბეტონის კომპონენტები და მისი შედგენილობა.....	98
ცხრილი №2.6 ჰიდროტექნიკური ბეტონის (1 მ ³) შედგენილობის კალკულაცია.....	98
ცხრილი №2.7 ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი ცენტრალური კუმშვის დროს.....	99

ცხრილი №3.1 ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას (10×10×10 სმ).....	109
ცხრილი №3.2 ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას (10×10×10სმ) აგრესიულ გარემო პირობებში (H ₂ SO ₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%.....	112
ცხრილი №3.3 საბაზო ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას (4×4×16 სმ) აგრესიულ გარემოში (H ₂ SO ₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%).....	114
ცხრილი №3.4 დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას (4×4×16 სმ) აგრესიულ გარემოში (H ₂ SO ₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%).....	115
ცხრილი №4.1 ჰიდროტექნიკური ბეტონის მასითი წყალშთანთქმა.....	120
ცხრილი №4.2 ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე წყალმედევობაზე....	122

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი №1.1 ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე ბზარების რაოდენობრივი წარმოქმნა სექციების მიხედვით: მრიცხველში 2008 წლის მონაცემები, მნიშვნელში – 1996 წლის.....	36
ნახაზი №1.2 ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიეფის თაღოვან ნაწილზე ბზარწარმოქმნის სტატისტიკური მახასიათებლების დიაგრამები ზონების მიხედვით.....	42
ნახაზი №1.3 წყლის დონე ჰიდროფობულ (ა) და ჰიდროფილურ (ბ) კაპილარებში.....	54
ნახაზი №1.4 კაპილარული წნევის (P) დამოკიდებულება ცილინდრული ფორმის დიამეტრზე (d) და დასველებადობის კუთხეზე.....	56
ნახაზი №1.5 წყლის წვეთი განლაგებული მყარი სხეულის ზედაპირზე ზევით (ა) და წყლის წვეთი განლაგებული მყარი სხეულის შიგნით (ბ).....	57
ნახაზი 1.6 კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებული მნიშვნელობები სხვადასხვა შედგენილობის და შენახვის პირობების ბეტონისათვის.....	73
ნახაზი №3.1 წინასწარ გამომშრალი ბეტონის ნიმუშების ცოცვადობა შემდეგი ფარდობითი ტენიანობის გარემოში: 1-0.00; 2-21.25; 3-48.5; 4-70.4; 5-100%, 6-წყალში.....	104
ნახაზი №3.2 მშრალი ბეტონის ცოცვადობის მრუდები.....	106
ნახაზი №3.3 წყალგაჟღენთლი ბეტონის ცოცვადობის მრუდები.....	106
ნახაზი № 3.4 ტუფობეტონი სხვადასხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით გაჟღენთილი შემვსების ჩაღუნვის მრუდები (1-პოლიმერით; 2-წყლით, 3-0.5% CaCl)	107
ნახაზი №3.5 ტუფობეტონი სხვადასხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით გაჟღენთილი შემვსების ცოცვადობის მრუდები (1-პოლიმერით; 2-წყლით, 3-0.5% CaCl).....	108

ნახაზი №3.6 ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას (10×10×10 სმ).....	110
ნახაზი №3.7 ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას აგრესიულ გარემო პირობებში (10×10×10 სმ).....	112
ნახაზი №3.8 ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას აგრესიურ გარემო პირობებში (4×4×16 სმ).....	115
ნახაზი №5.1 მძიმე ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის μ მრუდები მისი ცენტრალური კუმშვის დროს.....	125
ნახაზი №5.2 ჰიდროტექნიკური ბეტონის გრძივი $\varepsilon_{გრძ 1}$; $\varepsilon_{გრძ 2}$; განივი $\varepsilon_{გან 1}$; $\varepsilon_{გან 2}$ დეფორმაციების და პუასონის კოეფიციენტის μ_1 ; μ_2 საშუალო მნიშვნელობები.....	126
ნახაზი №5.3 შეკუმშული ბეტონის უნივერსალური გრაფიკი.....	129
ნახაზი №5.4 საბაზო და დანამატიანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე-დეფორმაციების დამოკიდებულების გრაფიკები.....	131

სურათების ნუსხა

სურათი №1.1 ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლიდან ამოზღვრული ბეტონის ფუძეთა ცილინდრული ფორმის ნიმუშები.....	41
სურათი №2.1 ქსაიპეეს ადმიქს ც-1000-ით დამზადებული ბეტონის ნიმუშების კრისტალური სტრუქტურა.....	100
სურათი №2.2 ქსაიპეეს ადმიქს ც-1000-ით დამზადებული ბეტონის ნიმუშების კრისტალური სტრუქტურა.....	100
სურათი №2.3 პენეტრონ ადმიქსით დამზადებული ბეტონის ნიმუშების კრისტალური სტრუქტურა.....	100
სურათი №2.4 პენეტრონ ადმიქსით დამზადებული ბეტონის ნიმუშების კრისტალური სტრუქტურა.....	100
სურათი №3.1 სტენდის საერთო ხედი ბეტონის ნიმუშების გამოცდისას ცენტრალური გაჭიმვის დროს.....	105
სურათი №4.1 ჰიდროტექნიკური ბეტონის ცილინდრული ნიმუშები წყალშეუღწევადობის სტენდზე.....	119

შესავალი

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა: ბეტონი 21-ე საუკუნეშიც მოთხოვნად კონსტრუქციულ საშენ მასალად რჩება, ამიტომ საჭიროა მისი უარყოფითი თვისებების შესწავლა (ანიზოტროპულობა, სიმყიფე და სხვა) და მათგან გამოწვეული ლოკალურ-გლობალური პრობლემების აღმოფხვრის ინოვაციური, ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად გამართლებული ტექნოლოგიების შემუშავება. საქართველოს სამშენებლო ბაზარი ითხოვს ახალი თაობის ბეტონების გამოყენებას, ნანოტექნოლოგიების მორგებას ადგილობრივ პირობებთან, რაც საშუალებას იძლევა შეიქმნას მრავალფუნქციური, ნანომოდიფიცირებული მაღალტექნოლოგიური საშენი მასალები. მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა უაღრესად აქტუალურია, განსაკუთრებით სადაწნეო ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისათვის, სადაც დაუშვებელია ბეტონის კონსტრუქციებში ბზარების გაჩენა და განვითარება.

დისერტაციის მიზანია კონსტრუქციული მასალების, კერძოდ ჰიდროტექნიკური ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა ზედაპირულად აქტიურ გარემოში და ნანოტექნოლოგიების გამოყენებით მაღალი სიმტკიცის, მცირედ დეფორმირებული, აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგი ბეტონების მიღება. მდგრადი დანამატიანი ბეტონების გამოყენების შესაძლებლობა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში.

დისერტაციის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ საქართველოში ჰიდროტექნიკური ნაგებობათა მდგრადობის (ხანგამძლეობა, სეისმომედეგობა) გაზრდისათვის საჭიროა ახალი თაობის მოდიფიცირებული (ნაკლებად ფორიანი, ნაკლებად ბზარიანი, ნაკლებად მყიფე) სტრუქტურისა და ნაკლებადანიზოტროპული (გაჭიმვა-ღუნვაზე მომეტებული სიმტკიცე) თვისებების ჰიდროტექნიკური ბეტონების ტექნოლოგიების შექმნა და მათი გამოყენებით მშენებლობების განხორციელება.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდგომში:

1. ადგილობრივი შემკვრელი, შემსები მასალებისა და შეღწევადი მოქმედების ჰიდროსაიზოლაციო დანამატების გამოყენებით, ბეტონის ნარევის პროექტირების დროს, სრული ინფორმაციის დადგენა მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე ჰიდროტექნიკური ბეტონის მისაღებად;
2. აგრესიული გარემოს გავლენა შეღწევადი მოქმედების ჰიდროსაიზოლაციო დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) მძიმე ბეტონის სიმტკიცეზე;
3. შეღწევადი მოქმედების ჰიდროსაიზოლაციო დანამატიანი ბეტონის ხანმედგობის შესწავლა (წყალშთანთქმა, წყალშეუღწევადობა, წყალმედგობა);
4. შეღწევადი მოქმედების ჰიდროსაიზოლაციო დანამატიანი ბეტონის ხანმოკლე და მრავალჯერადი დატვირთვების დროს დეფორმაციულობის, დრეკადობის მოდულისა და პუასონის კოეფიციენტი შესწავლა.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება მდგრადი ბეტონის მიღება ქიმიური დანამატების გამოყენებით, რომელიც მოგვცემს ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ეკონომიურად გამოყენების შესაძლებლობას ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში.

ნაშრომის შინაარსი

პირველი თავი - წამყვანი ქვეყნების სამრეწველო განვითარების დონე ხასიათდება არამხოლოდ წარმოების მოცულობითა და გამოშვებული პროდუქციის ასორტიმენტით, არამედ მათი ხარისხის მაჩვენებლითაც. საქართველო გამორჩეულად მდიდარია წყლის ენერგეტიკული რესურსებით,

რაც ხელს უწყობს ჰიდროტექნიკურ მშენებლობას. ამ მხრივ ერთ-ერთ სერიოზულ პრობლემას წარმოადგენს მიწისქვეშა წყლები, რომლებიც ნაგებობებს დიდი რისკის ქვეშ აყენებს. ამიტომ აუცილებელია შევისწავლოთ მდგრადი ბეტონი აგრესიულ (ზედაპირულად აქტიური) გარემოსთან მიმართებაში, რათა თავიდან იქნეს აცილებული, როგორც ჰიდროტექნიკური, ასევე სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების შენობა-ნაგებობების რღვევა და ავარიები. თანამედროვე ჰიდრომშენებლობაში ძირითად სამშენებლო მასალას წარმოადგენს ჰიდროტექნიკური ბეტონი, რომელიც ზოგჯერ ნაწილობრივ არმირდება.

წყლის მეურნეობის და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის მოცულობის ზრდასთან ერთად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, კონსტრუქციებში ბეტონის ეფექტურ გამოყენებას. მისი ხანმედეგობისა და საპროექტო სიმტკიცის უზრუნველყოფა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ბეტონის თვისებების ცვლილების კინეტიკაზე ნაგებობის ექსპლუატაციის სრულად გათვალისწინების პირობებში. როგორც ცნობილია ბეტონის ხანმედეგობის ძირითად პირობად უნდა ჩაითვალოს მისი მაღალი სიმკვრივე, რომლის დროსაც გამწვანებულია აგრესიული აგენტების შეღწევა (წყლის ან მისი ნაერთებისა) ბეტონის კაპილარულ-ფორიან სისტემაში. მეორეს მხრივ საინტერესოა, რომ წყალს შეუძლია გამოიწვიოს ბეტონის თვითგამკვრივება. დესტრუქციული და კონსტრუქციული პროცესების ჯამური ეფექტი ჯერ კიდევ შესასწავლია, რადგან ის წარმოადგენს მრავალი ფაქტორის რთულ ფუნქციას.

ბეტონის და რკინაბეტონის სიმტკიცის და დეფორმაციის შესწავლისას დიდი ყურადღება ექცევა ამ მასალების სიმტკიცისა და რღვევის მექანიკის კვლევას, რადგან მათი სიმტკიცე გაცილებით ნაკლებია მინერალებისაგან შედგენილ კრისტალური მესერის თეორიულ სიმტკიცეზე. ამ პრობლემის ახსნა შესაძლებელია მიკრობზარების განვითარების კანონზომიერებისა და მექანიზმის შესწავლით.

ცნობილია, რომ მასალის სიმტკიცე დამოკიდებულია მისი სტრუქტურის ერთგვაროვნებაზე და შინაგანი ძაბვების თანაბარგანაწილებაზე. შინაგან ძაბვებში არ იგულისხმება ძაბვები გამოწვეული გარე დატვირთვებით. საყურადღებოა, რომ „ძაბვა-დეფორმაციის“ დიაგრამის ფორმა სხვადასხვა მარკის ბეტონებისათვის განსხვავებულია. მაღალი სიმტკიცის ბეტონისათვის მრუდის აღმავალი შტო უახლოვდება სწორს, ხოლო დაღმავალი-მოკლეა. საშუალო და დაბალი სიმტკიცის ბეტონებისათვის კი მრუდი გაცილებით დახრილია. როგორც კვლევებისას გამოირკვა ეს თვისება ბეტონში ძაბვების განაწილების განსხვავებული კანონზომიერების შედეგია.

ბეტონის დეფორმაციისათვის დამახასიათებელია დრეკადობა და პლასტიკურობა. პლასტიკური დეფორმაციის სიდიდე მატულობს გარე დატვირთვის ზრდასთან ერთად, რაც გამოიხატება დიაგრამის σ (ϵ) სიმრუდის მატებაში. ასევე ბეტონში ტენიანობის ზრდასთან ერთად კლებულობს მისი სიმტკიცე, შესაბამისად დრეკადობის მოდულიც, ხოლო პლასტიკური დეფორმაციები იზრდება. თუმცა ბეტონის წყლით გაჯერების შემთხვევაში ბეტონის სიმტკიცე მატულობს, რადგან წყალი ავსებს ბზარებსა და ფორებს, რაც იწვევს სტრუქტურის ერთგვაროვნებას.

განვიხილეთ ბეტონის ძირითადი უარყოფითი თვისებები:

სიმციფე ბეტონის ერთ-ერთი უარყოფითი თვისებაა, რომელიც მატულობს ბეტონის სიმტკიცის ზრდასთან ერთად განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ბეტონის ნარევი გაზრდილია ცემენტის რაოდენობა (500-600კგ/მ). ბეტონის სიმციფე იზრდება აგრეთვე ბეტონის ნაადრევი გაუწყლოებისას, მაგალითად შეორთქვლის პროცესში ზედმეტი ტემპერატურის და ნაკლები ტენიანობის პირობებში. სიმციფის შესამცირებლად სასურველია ბეტონში ღია ტიპის მაკროფორების რაოდენობისა და ზომების შემცირება და მათი მიყვანა ულტრამცირე მიკრო და ნანოზომებამდე.

ანიზოტროპულობა ბეტონის უარყოფითი თვისებებიდან ყველაზე პრობლემურია.

ბუნებრივი ქვების, ნალექი წარმოშობის ქანების მექანიკური სიმტკიცე ანიზოტროპიულია, მაგრამ ბუნებრივი ქვის სტრუქტურაში პრაქტიკულად არ არის ღია და გამჭოლი ფორები და სიცარიელები, ამიტომ მისი მექანიკური სიმტკიცე მაღალია ვიდრე ბეტონისა. ბეტონი ხელოვნური ქვაა.

ბეტონის მაღალი სიმტკიცის და მდგრადობის მისაღწევად, მისი სტრუქტურა მაქსიმალურად უნდა მიემსგავსოს ბუნებრივ ქვის სტრუქტურას.

ბეტონის მექანიკური სიმტკიცის ანიზოტროპულობა ამცირებს მისგან აშენებული ნაგებობის ხანგამძლეობასა და სეისმომდეგობას. ბეტონი, როგორც ხელოვნური ქვა კონგლომერატად შეცემენტებული ნივთიერებების ერთობლიობაა. მისი ქვის თვისებების ანიზოტროპიულობის მთავარი მიზეზი გამყარებულ ბეტონის ქვაში კონგლომერატის შემადგენელთა შეუთავსებლობა და დაბალი ადგეზიულობაა, აგრეთვე ღია გამჭოლი ფორების და მიკროსიცარიელების და მიკროდეფექტების სიჭარბეა. მაღალი სიმტკიცის მისაღწევად ბეტონის სტრუქტურა უნდა განთავისუფლდეს მაკროდეფექტებისაგან. ამისთვის ახდენენ სხვადასხვა მიკრონაწილაკების შემცველი მასალების, ნაცრის ან მიკროსილიციუმის შერევას ბეტონის სხვა კომპონენტებთან. მიკროსილიციუმის (MICROSILICA) ნაწილაკები (100ნმ) უფრო წვრილია ვიდრე ცემენტისა (20-80მკმ), ამიტომ, ისინი ნაწილობრივ შეავსებენ ცემენტის ნაწილაკებს შორის სიცარიელებს და ეს სუპერ და ჰიპერპლასტიფიკატორების გამოყენებასთან ერთად, რომლებიც ახდენენ ბეტონის ადუღებისათვის საჭირო წყლის და შესაბამისად ფორების წარმოქმნის შესაძლებლობის მინიმიზაციას, ცემენტ-ბეტონის ქვის სტრუქტურას ხდიან უფრო ნაკლებად ფორიანს, მკვრივსა და ერთგვაროვანს.

ზედაპირული ნაბზარები ბეტონისთვის დამახასიათებელი და საშიში მოვლენაა, რომელიც ამცირებს კონსტრუქციის მდგრადობასა და ხანმდეგობას, რადგან ნაბზარებიდან გაადვილებულია აგრესიული ინგრედიენტების შეღწევა მასის შიგნით და უარყოფითი პროცესების (კოროზიის) ხელშეწყობა. ნაბზარები შეიძლება აგრეთვე წარმოიქმნას ბეტონის მასის და ზედაპირის ნაადრევი გაუწყლოების გამოც, ანუ წყლის აორთქლებით

- ქარის ან ჰაერის მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედების შედეგად, ასევე წყალშთანთქმის მაღალი თვისების მქონე შემვსების გამოყენების გამოც და სხვა მიზეზებითაც.

ბეტონის ზედაპირული ნაზარების წარმოქმნის ერთ-ერთ მიზეზად შეიძლება მივიჩნიოთ ბეტონის ზედაპირზე ან ზედაპირთან ახლოს არსებული ღია ფორების გაუწყლოება. ცნობილია, რომ ბეტონი გამყარების პროცესში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური რეაქციების შედეგად განიცდის გაუწყლოებას (გამოშრობას), რის შედეგადაც ხდება მოცულობის შეკლება, რომლის დროსაც წარმოიქმნება გამჭიმავი ძალები (ძაბვები). იმის გამო, რომ ბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ნაკლებია, ვიდრე კუმშვაზე (ანიზოტროპია), წარმოიქმნება ნაზარები, რომელთა წარმოქმნაც უარყოფითად აისახება ბეტონის ქვისა და რკინაბეტონის მექანიკურ სიმტკიცეზე, სეისმომდეგობასა და ხანგამძლეობაზე.

ფორები ჰაერშემცველი და კაპილარული სახით არის გამყარებული ბეტონის ქვის ცემენტურ მატრიცაში, გამყარების პროცესის შედეგად წარმოქმნილ კრისტალჰიდრატებთან ერთად. ისინი წარმოიქმნიან ჰიდრატაციის ფიზიკურ-ქიმიურ რეაქციაში არ შესული (ჭარბი) წყლის ბეტონის შიგა ფენებიდან ზედაპირისაკენ მიგრაციის და შემდგომში ზედაპირიდან აორთქლების შედეგად. რაც მეტი წყალი იხმარება ბეტონის დასამზადებლად, მით მეტია ფორების ზომები და რაოდენობა და პირიქით. ფიზიკურ-ქიმიურ რეაქციაში არ შესული ჭარბი წყლის რაოდენობის შემცირება, ტექნოლოგიურად შესაძლებელია პლასტიფიკატორების გამოყენებით.

როგორც აღვნიშნეთ, საქართველოში ამჟამად ჰიდროტექნიკური დანიშნულების ობიექტების მშენებლობები ხორციელდება რიგითი, არაჰიდროტექნიკური ბეტონების გამოყენებით. მასშტაბური მშენებლობების განსახორციელებლად კი საჭირო იქნება ახალი თაობის ჰიდროტექნიკური ბეტონების დამზადება და გამოყენება საქართველოში არსებული რესურსებით. ამისათვის კი საჭიროა მომზადდეს სამეცნიერო-ტექნიკური

წინაპირობები, რაშიც მოიაზრება თანამედროვე ტექნოლოგიების გადმოტანა განვითარებული ქვეყნებიდან, მათი ათვისება და მორგება ადგილობრივ პირობებთან (ცემენტი, შემვსებები, ქიმიური დანამატები, ტექნიკა, შემსრულებელთა კვალიფიკაცია). ადგილობრივი ნორმატიული დოკუმენტების შექმნა და ა.შ.

საქართველოში ახალი თაობის ჰიდროტექნიკური ბეტონების წარმოება-გამოყენების ტექნოლოგიების ასათვისებლად, საჭიროა მოხდეს ქვეყანაში წარმოებული ცემენტების და არსებული ხელმისაწვდომი დანამატების გამოყენებით ბეტონების შედგენილობების ეტალონური ვარიანტების დადგენა. აგრეთვე საჭიროა ბეტონის თვისებების მამოდიფიცირებელი და მაკლასტიფიცირებელი ქიმიური და მინერალური დანამატების სახეობებისა და რაოდენობების შერჩევა – უცხოურ სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში არსებული ინფორმაციის და მოწინავე ფირმების გამოცდილების მაქსიმალური გამოყენებით.

საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე გამოკვეთილია შემდეგი პრობლემები:

- სეისმური რისკების პირობებში ჰიდროტექნიკური მშენებლობები მიმდინარეობს რიგითი, კლასის მიხედვით (C16/20-C45/50) მარკის ანიზოტროპული თვისებების ბეტონებით და არ გამოიყენება ახალი თაობის ჰიდროტექნიკური ბეტონები;

- უცნობია ადგილობრივი მასალების გამოყენებით ახალი თაობის ჰიდროტექნიკური ბეტონების მიღების შესაძლებლობები;

- ნაკლებად ცნობილია ახალი თაობის ჰიდროტექნიკური ბეტონების მისაღებად გამოსაყენებელი ტექნიკურ-ნორმატიული დოკუმენტები.

დისერტაციის თემატიკა ითვალისწინებს დანამატიანი ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის, დრეკადობის მოდულის, ზღვრული დეფორმაციის, ცოცვადობის ექსპერიმენტული შესწავლის აუცილებლობას.

ჰიდროტექნიკური ბეტონისადმი წაყენებულია შემდეგი მოთხოვნები: მაღალი სიმტკიცე, მაქსიმალური წყალშეუღწევადობა, მრღვევი ფაქტორისადმი (ყინვის, წყლის ქიმიური მოქმედების, გამოფიტვისა და გაცვეთისადმი) მედეგობა. შესასწავლია ბეტონის დეფორმაცია, ცოცვადობა, ჯდენა, წყალშთანთქმა და ტემპერატურის ზემოქმედება. ამ მოთხოვნათა დაკმაყოფილება შეიძლება მიღწეულ იქნეს ბეტონის შედგენილობის სათანადო შერჩევით, მისი დამზადების წესების მკაცრი დაცვით და ექსპლოატაციის პირობების გათვალისწინებით. ამ პრობლემების გადასაწყვეტად ერთ-ერთი წინაპირობაა მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებისა და ხანმედეგობის მქონე ბეტონის მიღება, რაც მიიღწევა ბეტონში დანამატების გამოყენებით და ბეტონის დამზადების ახალი ტექნოლოგიით, რომელიც გულისხმობს შემვსების წინასწარ გაჟღენთვას პოლიმერით და შემდგომში მის არევას ცენემტთან და ქვიშასთან. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად უმჯობესდება შემვსების კონტაქტი ცემენტის ქვასთან, რადგან ხდება ლიკვიდაცია შემვსების გარშემო არსებული წყლისა, რასაც მივყავართ ბეტონის სიმკვრივისა და სიმტკიცის მნიშვნელოვანმატებასთან.

ექსპერიმენტული კვლევის დროს გამოვიყენეთ და შევისწავლეთ შემდეგი დანამატები: კალმატრონი, პენტრონ ადმიქსი და ქსაიპექს ადმიქს ც-1000. აღნიშნულ დანამატებს ახასიათებთ მოქმედების საერთო მექანიზმი, შედიან რა ბეტონის ნარევის მთლიან მოცულობაში, ავსებენ ფორებს, კაპილარებს და მიკრობზარებს, იქცევიან ბეტონის ერთიან და განუყოფელ ნაწილად, წინააღმდეგობას უწევენ მაღალ ჰიდროსტატიკურ დაწნევას ბეტონის როგორც შიგა, ისე გარეთა მხრიდან, ბეტონი ხდება მედეგი ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ და იზრდება მისი სიმკვრივე და სიმტკიცე. ისინი საშუალებას იძლევიან დაიცვან ახლადდასხმული ბეტონი ბზარების გაჩენისგან, ასევე ზრდიან ბეტონის ზედაპირის ცვეთამედეგობას. ასეთი ბეტონები საიმედოდ იცავენ მეტალს კოროზიისაგან. ამიტომ აუცილებელია დანამატიანი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების, ხანმედეგობის და მისი მოქმედების დინამიკის შესწავლა, სამეცნიერო-

ექსპერიმენტალური კვლევა, ოპტიმალური, ხარისხიანი, ეკონომიური და მიზანმიმართული ბეტონის ნარევის მომზადება, ტრანსპორტირება, დაყალიბება, შენახვა და ბოლოს მიღებული ჰიდროტექნიკური ბეტონის დანერგვა სამშენებლო ინდუსტრიაში.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დასმულია შემდეგი ამოცანები:

1. ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია და დაგეგმვა;
2. ადგილობრივი შემავსებლის, ჰიდრავლიკური შემკვრელი ნივთიერების გამოყენებით საბაზო და დანამატიანი მძიმე ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა:
 - ჰიდროტექნიკური ბეტონისათვის დანამატების: კალმატრონის, ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის და პენეტრონ ადმიქსის გამოცდა სიმტკიცეზე და მათ შორის საუკეთესო ვარიანტის შერჩევა;
 - აგრესიული გარემოს გავლენა დანამატიან (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) მძიმე ბეტონის სიმტკიცეზე;
 - მდგრადი (დანამატიანი) ბეტონის ხანმედეგობის შესწავლა (წყალშთანთქმა, წყალშეუღწევადობა, წყალმედეგობა);
 - დანამატიანი ბეტონის დეფორმაციულობის ხანმოკლე და მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვების დროს დრეკადობის მოდულისა და პუასონის კოეფიციენტის შესწავლა.

მეორე თავში მოყვანილია მოკლე ლიტერატურული მიმოხილვა ნაშრომში დასმული პრობლემების გარშემო. ამ კუთხით აღსანიშნავია ექსპერიმენტები ჩატარებული ბეტონის ცოცვადობაზე, რადგან დეფორმაციის ეს ფორმა ნათლად დაგვანახებს მისი სტრუქტურის არაერთგვაროვნებას, მასზე აგრესიული გარემოს მოქმედებისას. ჯერ კიდევ მე-20 საუკუნის 40-იან წლებში ამერიკელმა მეცნიერებმა გლუკლიხმა და ისჰაიმ დაადგინეს, რომ 105⁰ C-ზე გამომშრალი ბეტონი არ განიცდის ცოცვად დეფორმაციას. ასეთივე შედეგი მიიღო პროფესორმა ზურაბ წილოსანმა, რომელმაც გამოცადა ბეტონი გრეხაზე მშრალ, წყალგაჟღენთილ და არაპოლარული ნივთიერებით-ნავთით

გაჟღენთილ მდგომარეობაში, ასევე ზედაპირულად აგრესიულ გარემოში 0.5 % CaCl_2 . აღმოჩნდა, რომ მშრალ და ნავთით გაჟღენთილ ბეტონში ცოცვადობა არ აღინიშნებოდა, ხოლო წყალში და განსაკუთრებით 0.5 % CaCl_2 -ში კი ინტენსიურად მიმდინარეობდა. ასევე საინტერესო გამოკვლევები ჩაატარეს ტ.მ.დ. ვ. ბალავაძემ და ტ.მ.დ. პროფ მ. ლორთქიფანიძემ. გამოიცადა მსუბუქი ბეტონი გაჟღენთილი წყალში, 2% CaCl_2 -ში და პოლიმერლექობეტონი ღუნვაზე ხანმოკლე და მუდმივი დატვირთვების დროს.

პირველ პარაგრაფში მოყვანილია ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია და დაგეგმვა.

საინჟინრო პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება სხვადასხვა მარტივი სტანდარტებით რეგლამენტირებული მეთოდები საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დასადგენად. მიუხედავად შედარებითი სიმარტივისა, ამ შემთხვევაშიც აუცილებელია სწორად იყოს დასაბუთებული გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა. გამოცდის სახეობა და მათი სიზუსტე შეთანხმებული უნდა იყოს ძირითადი ექსპერიმენტების ცდომილებასთან.

უაღრესად მნიშვნელოვანია ექსპერიმენტული კვლევების რაციონალური მიმდევრობის და ცდების მონაცემების მოცულობის დადგენა შესასწავლი ობიექტის პარამეტრებისათვის. ექსპერიმენტების გეგმა შედგენილი უნდა იყოს ისე, რომ მივიღოთ მაქსიმალურად ამომწურავი ინფორმაცია მინიმალური საშუალებებით და მაქსიმალურად მოკლე დროში.

მეორე პარაგრაფში მოცემულია მდგრად ჰიდროტექნიკურ ბეტონში სხვადასხვა დანამატების გამოყენებით: კალმატრონის, პენეტრონის და ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის ექსპერიმენტები საუკეთესო ვარიანტის შესარჩევად.

დადგინდა ბეტონის შედგენილობა ყველა ექსპერიმენტული სამუშაოებისათვის.

სტუ-ს სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში დამზადდა დანამატებიანი და საბაზო ბეტონის კუბები. დანამატებად გამოიყენებოდა: კალმატრონი, პენეტრონი ადმიქსი და ქსაიპექს ადმიქს ც-1000.

ნიმუშები გამოიკადა ცენტრალურ კუმშვაზე და დადგინდა სიმტკიცის მახასიათებლები როგორც საბაზო, ასევე დანამატებიან ბეტონებზე.

სამუშაოს პირობებიდან გამომდინარე, ჰიდროტექნიკური ბეტონის დანამატად შერჩეული იქნა 1.5 % ქსაიპექს ადმიქს ც-1000, რომლისგან დამზადებული ბეტონის მახასიათებლები - ადვილჩაწყობადობა, ნარევის პლასტიკურობა და სიმტკიცე სხვა დანამატებთან შედარებით უფრო მისაღები აღმოჩნდა.

კანადური კომპანია Xypex Chemical Corporation აწარმოებს მაღალი ხარისხის კრისტალიზაციის ტექნოლოგიურ ჰიდროსაიზოლაციო მასალას Xypex-ს. იგი პოპულარულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს 170-ზე მეტ ქვეყანაში კაშხლებისა და მათი გვირაბების წყლისა და სხვა სითხეების რეზერვუარების, სანავიგაციო და სარწყავი არხების, საავტომობილო, სარკინიგზო და მეტროპოლიტენის გვირაბების (როგორც მიწისზედა ასევე მიწისქვეშა), აუზების, საავტომობილო ესტაკადების, ხიდების, შენობების საძირკვლებისა და სხვა სახის ბეტონის შენობა-ნაგებობების მშენებლობისა და რეაბილიტაციისათვის.

ქსაიპექსის მოქმედების თვისებაა მისი უნიკალური შესაძლებლობა წარმოქმნას არაგადამუშავებადი კრისტალის ფორმაცია, ბეტონის ფორებსა და კაპილარების სიღრმეში. ბეტონში წარმოიქმნება კრისტალური სტრუქტურა, რომელიც ლუქავს ბეტონს ყველანაირი წყლისა და სითხის შეღწევისაგან.

მესამე თავში - მოცემულია ექსპერიმენტები დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ჰიდროტექნიკური ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დასადგენად.

პირველი პარაგრაფი - ცნობილია, რომ ბეტონი წარმოადგენს კონგლომერატს. მასში მრავლადაა ფორები, ბზარები, მიკრობზარები, რომლებიც ქმნიან შიდა ძაბვებს ბეტონის ნარევის გამყარების პროცესში, ამიტომ ბეტონი მუდმივად შინაგანად დაძაბულ მდგომარეობაშია. მნიშვნელოვანია, რომ ბეტონში ყოველთვის არსებობს წყალი სხვადასხვა ფორმით: ქიმიური, კაპილარული, ადსორფციული და თავისუფალი.

გამყარებულ ბეტონში წყალი ერთის მხრივ დადებით როლს ასრულებს, რადგან დროთა განმავლობაში იგი შედის ქიმიურ რეაქციაში არ შესულ დარჩენილ ცემენტთან და ამის შედეგად ბეტონის სიმტკიცე დროში იზრდება. ხოლო მეორეს მხრივ ადსორბირებული და თავისუფალი წყალი გარე ძალების მოქმედების დროს იწვევს მიკრობზარებასა და ფორებში რეზინდერის ეფექტის თანახმად წყლის გამხლეობას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ბეტონის სიმტკიცეს.

ჩატარდა ექსპერიმენტული სამუშაოები ცენტრალურ კუმშვაზე და ღუნვაზე, როგორც საბაზო, ასევე დანამატიან ბეტონზე. დადგინდა სიმტკიცის ზრდა დროში (3; 7; 14; 28; 56 და 180 დღე), დანამატიანი ბეტონის მედეგობა აგრესიულ გარემოში (H_2SO_4 წყლის 5%, NaCl წყლის 5%).

მოთხე თავში მოცემულია ექსპერიმენტული კვლევები ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის წყალშეუღწევადობის პარამეტრების დასადგენად.

ექსპერიმენტული კვლევები ჩატარდა აგრეთვე ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონების მასით წყალშთანთქმაზე.

ამავე პარაგრაფში მოცემულია ექსპერიმენტული კვლევები ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის წყალმედეგობაზე.

მეხუთე თავში განხილულია ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის როგორც გრძივი, ასევე განივი დეფორმაციების დროს, დრეკადობის მოდულისა და პუასონის კოეფიციენტის დადგენაზე.

როგორც კვლევებმა გვიჩვენეს, დანამატიანი ბეტონის (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები აკმაყოფილებს ჰიდროტექნიკური ბეტონისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს. რის საფუძველზეც ვიძლევიტ მისი გამოყენების რეკომენდაციას ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში.

თავი 1 ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1 ჰიდროტექნიკური ბეტონი სამეცნიერო წყაროებში

ბოლო ათწლეულებში განვითარებულმა მოვლენებმა საქართველოს ჰიდრო და თბოენერგეტიკა მიიყვანა კრიზისამდე. საპროექტო და სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების დახურვის გამო, ქვეყანა განიცდის პროფესიული კადრების დეფიციტს.

გასულ საუკუნეში საქართველოში აშენდა მრავალი ჰიდროენერგეტიკული ნაგებობა. განსაკუთრებით აღსანიშნავია შესანიშნავი როგორც ინჟინრული, ისე კონსტრუქციული გადაწყვეტით, ასევე დიდი ენერგეტიკული პოტენციალის მქონე კომპლექსის ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის მშენებლობა მდ. ენგურზე. სწორედ მაშინ, დაპროექტებისა და მშენებლობის პერიოდში გაიზარდნენ ძლიერი პროფესიული სამამულო კადრები. ჯერ კიდევ არსებობენ სპეციალისტები, რომლებიც უშუალოდ მონაწილეობდნენ ამ უნიკალური ობიექტის დაპროექტებასა და მშენებლობაში.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს მუშაობა უხდება ძალიან რთულ პირობებში. ისინი მუდმივად იმყოფებიან მდგარ ან მოძრავ წყალში, რომლებიც მათზე ახდენენ მექანიკურ, ფიზიკურ-მექანიკურ და ბიოლოგიურ ზემოქმედებას (წყალში არსებული ორგანიზმების მოქმედებით გამოწვეული ხის ლპობის, ბაქტერიული კოროზიის, ქვის დაშლის პროცესები და სხვა) [1].

წყლის მექანიკური მოქმედება ნაგებობაზე ვლინდება ჰიდროსტატიკური და ჰიდროდინამიკური წნევების სახით, რომლებიც მათ ძირითად დატვირთვებს წარმოადგენენ. აქვე უნდა აღინიშნოს ქართულ წარმოშობილი წყლის ტალღების, ჰიდრავლიკური დარტყმის, ყინულის და ნატანის წნევები, აგრეთვე ის ძალები, რომლებიც წარმოიშვებიან მიწისძვრის დროს (წყლის სეისმური წნევა, ინერციული ძალები).

წყლის ფიზიკურ-მექანიკური ზემოქმედება ვლინდება ჰიდრონაგებობის მასალასა და ფუძის წყალშელწევად გრუნტზე. მაგ: დიდი

სიჩქარით მოძრავი წყალი ხეხავს ნაგებობათა ზედაპირს და ზოგჯერ მოკლე დროში უვარგისს ხდის მას, ანგრევს მდინარის კალაპოტს მაშინაც კი, როდესაც იგი კლდოვანია და სხვა. წყლის ზემოქმედებით კოროზიას (ჟანგვა) განიცდის ნაგებობათა ლითონის ნაწილები, რის გამოც მათი სისქე თანდათანობით მცირდება.

ბეტონის ნაგებობებში გაჟონილი (ფილტრაციული) წყლის როგორც ფიზიკურ, ისე ქიმიურ მოქმედებას შეუძლია გამოიწვიოს ნაგებობების ტანში დარჩენილი ქიმიურად დაუკავშირებელი ჩამქრალი კირის გამორეცხვა და ბეტონის თანდათანობით დაშლა (დეზინტეგრაცია). ფაქტია, რომ ამ დროს ადგილი აქვს ფიზიკურ კოროზიას, ხოლო ქიმიურ კოროზიას ადგილი ექნება ჩამქრალ კირზე სხვადასხვა სახის მჟავების ან მარილების მოქმედების დროს, რის შედეგად წარმოიქმნება ახალი ქიმიური შენაერთები, რომლებიც ადვილად იშლებიან წყლის მოქმედებით, ანდა კრისტალდებიან ცემენტის ქვაში მოცულობის საგრძნობი გადიდებით. უკანასკნელი გარემოება წარმოქმნის შიდა ძაბვებს, რაც იწვევს ბეტონის დაშლას.

ბეტონის კოროზია შეიძლება განვითარდეს რბილი წყლების, აგრეთვე იმ წყლების მოქმედებით, რომლებიც შეიცავენ აგრესიულ ნახშირმჟავებს, სულფატებს, მაგნიუმის მარილებს დიდი რაოდენობით, თავისუფალ მჟავებს და სხვა [1].

ჰიდროტექნიკური ნაგებობები თავისებურ გავლენას ახდენს როგორც მომიჯნავე ტერიტორიებზე, ისე ახლო მდებარე რაიონებზეც, რადგან ზოგჯერ მათ მიერ შექმნილი შეტბორვა ვრცელდება ასეულ კილომეტრ მანძილზე და იწვევს ათეულ და ასეულ ჰექტარზე მიწების დატბორვას, გრუნტის წყლების დონის აწევას და სხვა.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობა დიდი სირთულით ხასიათდება, რადგან მშენებლობის პერიოდში აუცილებელია გადავადგოთ წყალდიდობის წყალი, ხოლო ჩრდილოეთის მდინარეებზე აგრეთვე ყინული, რაც იწვევს სამუშაოთა შეწყვეტას. ასევე უნდა ვუზრუნველყოთ მდინარეზე ნაოსნობა და დაცურება.

ასეთი ნაგებობები მჭიდროთაა დაკავშირებული მშენებლობის ადგილის ტოპოგრაფიულ, გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ პირობებთან.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სტატიკურ და დინამიკურ მუშაობაში პასუხისმგებელი როლი ეკისრება მათ ფუძეებს. ისინი უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ მოთხოვნებს: საკმარის სიმტკიცეს, მცირე და შესაძლო თანაბარ დეფორმირებას, ხოლო ძალიან საპასუხისმგებლო ნაგებობათა შემთხვევაში (დიდი დაწნევის პირობებში) პრაქტიკულად უკუმშვადობას, მცირე წყალშედწევადობას და საკმარის წყალმედევობას.

გრავიტაციულ კაშხლებს აშენებენ როგორც კლდოვან, ისე არაკლდოვან ფუძეებზეც, მაგრამ მაღალი კაშხლების მშენებლობისათვის გამოსადეგია მხოლოდ კლდოვანი ფუძეები, რადგანაც მათ ახასიათებთ დიდი ხვედრითი დატვირთვების მიღების უნარი.

გრავიტაციული კაშხლის ბეტონი უნდა იყოს მტკიცე; შესაძლო წყალშეუღწევი; მონოლითური; ხანგამძლე. ე.ი. მრღვევი (დამშლელი) ფაქტორებისადმი-ყინვის, წყლის ქიმიური მოქმედების, გამოფიტვისა და ცვეთისადმი მედეგი. ამ მოთხოვნათა დაკმაყოფილება შეიძლება მიღწეული იქნას ბეტონის შედგენილობის სათანადო შერჩევით და მისი დამზადების და წყობის წესების დაცვით.

ბეტონის წყალშეუღწევადობას და ყინვამედეგობას აღწევენ მკვრივი ბეტონის დამზადებით. სასურველია, რომ კაშხლის წყალქვეშა ნაწილაკებისათვის წ/ც სიდიდის მნიშვნელობა არ აღემატებოდეს 0.55-0.60, ხოლო მისი გარე ნაწილებისათვის 0.50-0.55.

მოთხოვნილება მონოლითურობისა და ბეტონში ბზარების არსებობის შესახებ ყველაზე უკეთ კმაყოფილდება მასში შესაძლო მცირე რაოდენობის ცემენტის გამოყენებით, მისი დაბალი და საშუალო აქტივობით, აგრეთვე მცირე ეგზოთერმულობით, როდესაც ამასთანავე დაცულია ბეტონის წყობის სპეციალური ტექნოლოგია.

ჰიდროტექნიკური ბეტონები კუმშვაზე იყოფა ნიმუშის სიმტკიცის ზღვარის მიხედვით (კგ/სმ²) შემდეგ მარკად: 75; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 500

და მეტი. დაბალი მარკის ბეტონები გამოიყენება ნაკლებად საპასუხისმგებლო ნაგებობებში და კონსტრუქციებში. მაგ: 75 მარკა დასაშვებია საგებებისათვის, ჩამაგრებისათვის, უბეების ამოსავსებად და სხვა. 400 და 500 მარკის ბეტონებს იყენებენ განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო შემთხვევებში, როგორც წესი სიმტკიცის მიხედვით მარკას ადგენენ ბეტონის 180 დღის ხნოვანებიდან გამომდინარე.

წყალშეუღწევადობის მიხედვით-ხუთი მარკა: W-2; W-4; W-6; W-8 და W-12 რომლებიც დადგენილია 180 დღის ხნოვანების ბეტონის ნიმუშებისათვის (ციფრები გვიჩვენებს წყლის მაქსიმალურ წნევას კგ/სმ², რომლის დროსაც ჯერ კიდევ არ შეიმჩნევა გაჟონვა ბეტონის ნიმუშში).

ყინვამდეგობის მიხედვით-ხუთი მარკა: Mpa 50; Mpa 100; Mpa 150; Mpa 200 და Mpa 300 (28 დღის ბეტონის ნიმუშების გაყინვა-გაღობის ციკლების დაყოვნების რაოდენობა, რომელთა განმავლობაში მათი სიმტკიცე მცირდება არაუმეტეს 25%-ისა).

ჰიდროტექნიკური ბეტონის დასამზადებლად გამოიყენება სხვადასხვა სახეობის ცემენტი. კაშხლის იმ ნაწილებისათვის, რომლებიც მუდმივად იმყოფებიან წყალქვეშ ან წყლით გაჯერებულ მდგომარეობაში, საჭიროა პირველ რიგში გამოყენებულ იქნას პუცოლანიანი პორტლანტცემენტი; ბეტონისათვის, რომელიც იმყოფება ცვალებადი დატენიანების ზონაში-სულფატმედეგი, პლასტიფიცირებული, ან ჰიდროფობული პორტლანტცემენტი. ბეტონისათვის, რომელიც მუდმივად იმყოფება წყლის ზემოთ გამოიყენება პლასტიფიცირებული და ჰიდროფობული პორტლანტცემენტი. პლასტიფიცირებული ცემენტების დამზადება წარმოებს პორტლანტცემენტის კლინკერის, თაბაშირისა და მაპლასტიფიცირებელი დანამატის სულფიტ-სპირტის თხლეს კონცენტრატის ერთობლივი წმინდა დანამცეცებით.

გრავიტაციულ კაშხლებში, რომელთა კონსტრუქციების სისქე, ჩვეულებრივ დიდია (2.5 მ მეტი) ცემენტს წაყენება სითბოს მცირე

რაოდენობის გამოყოფის მოთხოვნა, სახელდობრ, არაუმეტეს 50 კალ/გ ადულებიდან 3 დღის და 60 კალ/გ 7 დღის განმავლობაში.

ბეტონის ნარევის ადვილჩაწყობადობის გასაუმჯობესებლად, წყალცემენტის ფარდობის შესამცირებლად და სხვა ღირსებათა (წყალშეუღწევადობის, ყინვამედეგობის) ასამაღლებლად, საჭიროა მასში შევიტანოთ მაჰიდროფილირებელი (სულფატ-სპირტი თხლე და მისი წარმოებულები) ან მაჰიდროფობირებელი, ჰაერშემტაცი (საპონნაფთენი, ვინსოლის საპონი და სხვა) ზედაპირულ-აქტუალური დანამატები.

ბეტონის გაიაფებისა და აგრეთვე გამაგარების დროს სითბოს გამოყოფის (ეგზოთერმის) შემცირების მიზნით, საჭიროა მისი ნარევების დაპროექტებისა და შედგენის დროს მივაღწიოთ ცემენტის მინიმალურ ხარჯს. ამჟამად ბეტონის კაშხლებისათვის დადგენილია ცემენტის ხარჯვის შემდეგი ზღვრები: შიგა ზონებისათვის 160 კგ/მ³, საძირკვლის ნაწილებისათვის 230 კგ/მ³, ყრუ კაშხლების გარე ნაწილებისათვის 240-230 კგ/მ³, წყალსაგდები კაშხლების გარე ზონებისათვის და თხემისათვის 260-230 კგ/მ³ და წყლის დონის ცვალებადობის ზონებისათვის 275-230 კგ/მ³. ცხადია ყოველმხრივ უნდა ვეცადოთ, რათა ცემენტის ხარჯი იყოს რაც შეიძლება უფრო ნაკლები. ამის რეალურ შესაძლებლობას გვიჩვენებს შვეიცარიაში აგებული 284 მ სიმაღლის გრანდ დიქსანსის გრავიტაციული კაშხლის მაგალითი: რომლის შიგა ზონების ბეტონის ყოველ 1 მ³-ზე დაიხარჯა მხოლოდ 140 კგ ცემენტი.

კაშხლის პროფილის ცალკეულ ნაწილებში ბეტონი განიცდის სხვადასხვა ფიზიკურ-მექანიკურ ზემოქმედებას და იმყოფება სხვადასხვა ძაბვით მდგომარეობაში, ამიტომ ცემენტის ეკონომიისათვის საჭიროა მასში გავითვალისწინოთ სხვადასხვა მარკის ზონალური განლაგება. სადაწნეო წახნაგის მხარეზე და ძირთან უნდა ჩაიწყოს წყალშეუღწევი ბეტონი, ქვედა წახნაგზე და თხემზე-ყინვამედეგი, წყლის დონის ცვალებადობის ზონაში-წყალშეუღწევ-ყინვამედეგი და წყალსაშვებ ზედაპირზე-ცვეთამედეგი ბეტონი. სიმტკიცის მიხედვით კაშხლის პროფილის ზედა ზონებში უნდა ჩაიწყოს

უფრო დაბალი კლასის ბეტონები, ხოლო ქვედა ზონებში-უფრო მაღალი კლასის ბეტონი-მაბვითი მდგომარეობის გათვალისწინებით.

1.2 ტემპერატურულ-შეკლებითი მოვლენები და ბზარების წარმოქმნა ბეტონში

ბეტონის წყობის (შეჭიდვის) დროს მასში ვითარდება ეგზოთერმული მოვლენები, რომელთა შედეგად ჩაწყობილი ბეტონის ტემპერატურა იზრდება 15°C - 25°C -მდე, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში 36°C -მდე. ეს მოვლენები ძირითადად დამოკიდებულია ცემენტის სახეობასა და მის რაოდენობაზე. ტემპერატურის აწევის შედეგად ბეტონში წარმოებს მისი მოცულობის გაფართოების დეფორმაციები, ხოლო მაქსიმალური ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ იწყება მისი დაცემა გარემომცველ ჰაერის ტემპერატურამდე და ბეტონის მოცულობის შემცირების დეფორმაციები, რომლებიც გამოწვეულია როგორც ტემპერატურის დაწევით, ისე ბეტონის შეკლებით.

ეგზოთერმული (სითბოს გამოყოფის) პროცესი შედარებით ხანმოკლეა და გრძელდება რამდენიმე დღე, ხოლო ტემპერატურის კლების პროცესი მიმდინარეობს ძალიან ხანგრძლივად, ჩვეულებრივ რამდენიმე წელი, რის შემდეგ კაშხალის ტანის შიგა ნაწილი ღებულობს ადგილმდებარეობის საშუალო წლიურ ტემპერატურას, ხოლო გარე წახნაგებთან ახლომდებარე ზონები (ზედაპირიდან 5-6 მ სიღრმემდე) განიცდის სეზონურ ტემპერატურულ ცვლილებას კაშხლის გარემომცველი ჰაერისა და წყლის ტემპერატურის სხვაობის შესაბამისად. კაშხალის შიგა და გარე ნაწილებს შორის ტემპერატურული სხვაობის (ვარდნის) არსებობის გამო ვითარდება საშიში დეფორმაციები, რომელთა შედეგად წარმოქმნილმა გამჭიმავმა ძაბვებმა შეიძლება გადააჭარბოს ბეტონის დროებით წინაღობას გაჭიმვაზე და წახნაგებზე გაჩნდეს კაშხალის შიგნით შემღწევი ბზარები.

ბეტონის ბლოკში ტემპერატურის არათანაბარ განაწილებას, რომელსაც თან სდევს ძაბვებისა და დეფორმაციების ასეთივე არათანაბარი განაწილება, ხელს უწყობს ბლოკის ფუძის (კლდის ან ადრე დაწყობილი ბეტონის),

მეზობელი ბლოკებისა და შემდეგი (მოცემულის ზომიდან დაწყობილი) ბლოკის განსხვავებული ტემპერატურული რეჟიმები.

კაშხალთმშენებლობის პრაქტიკა ადასტურებს, რომ ბეტონის საკმარისად დიდი ზომების ბლოკში ტემპერატურის უთანაბრობამ ანუ ტემპერატურის სხვაობამ შეიძლება მიაღწიოს 17°C - 20°C -ს მასში ბზარების გაჩენის გარეშე. ტემპერატურის უფრო დიდი სხვაობის დროს კი უკვე ვითარდება ბზარები. საერთოდ, აღნიშნული პროცესი ემორჩილება ანგარიშს და შეიძლება მისი სათანადო რეგულირება. ანალოგიურად წარმოებს ბეტონში შეკლებისა და გაჯირჯვის დეფორმაციები მასში ტენიანობის არათანაბარი განაწილების დროს.

ახალგაზრდა ბეტონის ტემპერატურულ-შეკლებითი დეფორმაციები მით უფრო დიდია, რაც მეტია მის შედგენლობაში ცემენტი და რაც უფრო ეგზოთერმულია იგი. სწორედ, აღნიშნული გარემოების გამო საჭიროა, რომ ბეტონის შედგენილობაში შეტანილ იქნას დაბალთერმული ცემენტი, შესაძლო მცირე რაოდენობით. საშიში დეფორმაციები იზრდება (პირველ ორ წელიწადში) ბეტონის ცოცვადობის და ყალიბების მაიზოლირებელი გავლენის გამო, აგრეთვე ტენიანობის რეგულირების დროს, რასაც აწარმოებენ გაშრობისაგან ბეტონის დაცვის მიზნით [1].

1.3 ბზარწარმოქმნები ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე

ენგურჰესის თაღოვანი კაშხალი მარჯვენა და მარცხენა ნაპირების საყრდენ ბურჯებთან ერთად წარმოადგენს ორმაგი სიმრუდის ბეტონის გარსს, რომლის თაღოვანი ნაწილი ფუძეში ეყრდნობა საცობს, ხოლო ფერდობებზე უნაგირის ფორმის გლუვზედაპირიან რკინაბეტონის კონსტრუქციას და მისგან გამოყოფილია პერიმეტრული ნაკერით.

თაღოვანი ნაწილი ჰელიკოიდალური ნაკერებით დაყოფილია 38 სექციად. გრავიტაციული საყრდენი ბურჯების ჩათვლით კაშხლის სექციების საერთო რაოდენობა 511.5-473.0 ნიშნულებს შორის შეადგენს 45. სექციებს

შორის და პერიმეტრულ ნაკერებში ჩატანებულია განივკვეთში 1360 მმ სიგანის და 10 მმ სისქის თითბერის ფურცლები.

კაშხლის მონოლითურობის მისაღწევად სექციებს შორის ნაკერებში (სშნ) შესრულდა ცემენტაციის სამუშაოები. იგივე სამუშაოებია განხორციელებული კაშხლის ფუძესა და ფერდობებში [2].

თაღოვანი კაშხლის სამშენებლო სიმაღლეა 271.5 მ; სისქე ფუძეში 86 მ, პერიმეტრულ ნაკერში – 56 მ; ცენტრალური კონსოლის (მე-18 სექცია) თხემზე – 10 მ. კაშხლის თხემის სიგრძეა 728 მ, თაღის რკალის სიგრძე – 605 მ, კაშხლის ღია ნაწილის ბეტონის მოცულობა შეადგენს $3838 * 10^3$ მ³, ხოლო მიწისქვეშა ნაწილისა $238 * 10^3$ მ³. კაშხლის ტანში ჩასხმული ბეტონის შედგენილობები მოცემულია ცხრილში № 1.1

ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ტანში ჩასხმული ბეტონის შედგენილობა

ცხრილში № 1.1

შედგენილობათა №	ცემენტი	წყალი	ქვიშა	ხრეში			დანამატი სულფატსაფუარიანი დურო	კონუსის ჯდენა, სმ	წ/ც	სიმკვრივე, კგ/მ ³
				5-20	20-40	40-80				
3 ^ა	290	130	575	400	500	635	0.58	3-4	0.45	2530
4 ^ა	320	144	600	665	800	-	0.64	4-5	0.45	2524

კაშხალში ჩაისხა ძირითადად 3^ა შედგენილობის ბეტონი, ხოლო 4^ა გამოყენებული იყო კაშხლის არმირებულ და ძნელად დასაბეტონებელ უბნებში.

ამ ბეტონების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებია:

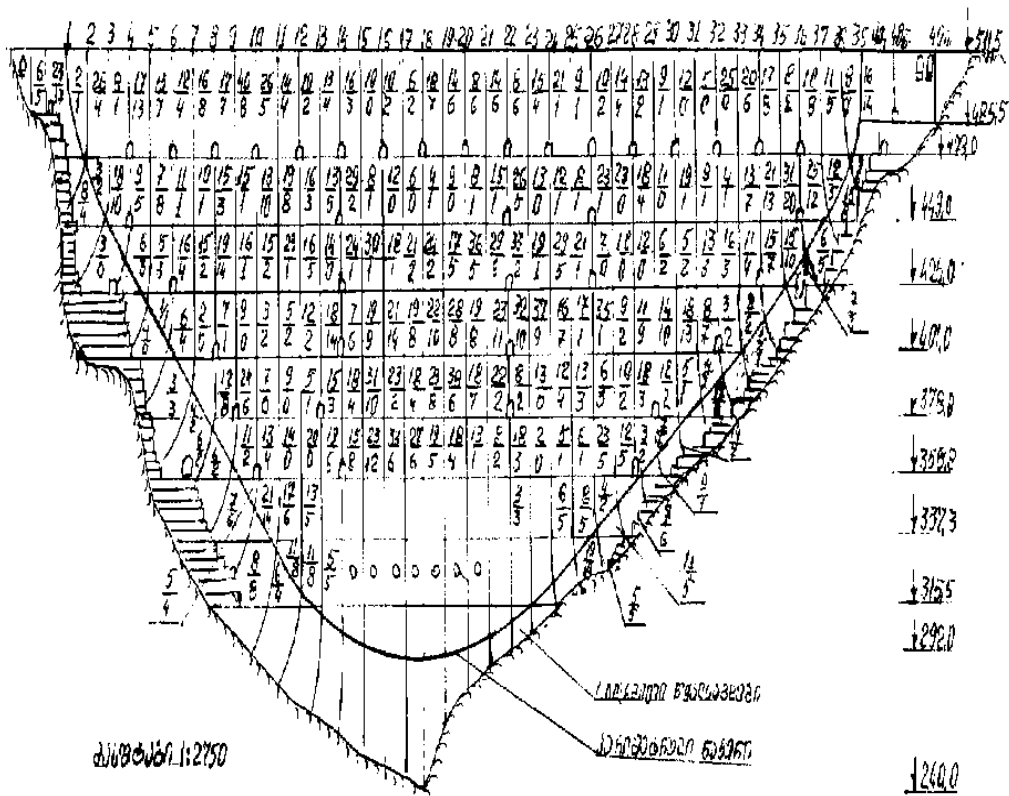
სიმტკიცე კუმშვაზე $R_{კუმ}$ - 35 მპა, სიმტკიცე გაჭიმვაზე $R_{გაჭ}$ - 2.5 მპა, პრიმზული სიმტკიცე – 25 მპა, პუასონის კოეფიციენტი 1/6, დეფორმაციის მოდული $E_{0,25}$ – $40 * 10^3$ მპა, წყალუჟონადობა ”12” და ”8” .

ენგურჰესის თაღოვან კაშხალზე, ბეტონისა და ცემენტაციის სამუშაოების დამთავრებიდან (1986 წ.) 10 წლის შემდეგ (1996 წ.) მოეწყო კაშხლის პირველი საინსპექციო შემოწმება, რომლის დროსაც მისი ქვემო

ბიეფის ზედაპირზე აღწერილი იქნა 512 ძველი და ახალი ბზარი. ძველი ბზარები იყო სიღრმისეული და კოლმატირებული, ხოლო ახალი - ზედაპირული. ორივე სახის ბზარი შვეულია, მაგრამ ახალი, პერიმეტრულ ნაკერთან იძენს რადიალურ მიმართულებას.

ბზარების რაოდენობამ 1999 წ. შეადგინა 935, ხოლო 2008 წელს 3044 ერთეული.

ნახაზზე №1.1 წარმოდგენილია თაღოვანი კაშხლის სექციების ქვემო ბიეფის ზედაპირზე 1999 და 2008 წლებში აღწერილი ბზარების რაოდენობები სექციებისა და ზონების მიხედვით [3].



ნახაზი №1.1 ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე ბზარების რაოდენობრივი წარმოქმნის სურათი სექციების მიხედვით: მრიცხველში 2008 წლის მონაცემები, მნიშვნელში – 1996 წლის

მის საფუძველზე შედგენილი იქნა კაშხლის უნაგირასა და თაღის თარაზული და შვეული ზონების დაბზარვის სტატისტიკური მახასიათებლების ცხრილი №1.2, რომლის ანალიზი გვიჩვენებს კაშხლის ღია ზედაპირზე ბზარწარმოქმნის განუყრელ ზრდას, განსაკუთრებით მის თაღოვან ნაწილში. აქ ბზარების რაოდენობამ მიაღწია 2829 (92,94%) და 1999 წლის მონაცემს გადააჭარბა 3.57-ჯერ. ბზარწარმოქმნა მიმდინარეობს არათანაბრად. გარდა 4, 5, 7, 8, 9, 31, 33, 35 და 37 სექციების [3].

ენგურის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიევის ზედაპირზე ბზარწარმოქმნის სტატისტიკური მახასიათებლები

ცხრილი №1.2

kaSxlis Tarazul zonaTa niSnuli	dabzaruli seqciebis da bzarebis raodenoba zonebSi da bzarwarmoqmnis intensiuroba												bzarebis jamuri raodenoba			
	marjvena napiridan perimetrul nakeramde		perimetrul nakeridan me-14 sSn		me-14 sSn-dan 26 sSn- mde		26 sSn-dan marcxena napiris perimetrul niSnulamde		perimetruli nakeridan marcxena napiramde		perimetruli nakeris qvemoT unakero		perimetruli nakeris zemoT "TaRSi"		qvemo biefig zedapirze	
	1999	2008	1999	2008	1999	2008	1999	2008	1999	2008	1999	2008	1999	2008	1999	2008
511,5	2(3)	2(3)	12(13)	13	8(12)	12	10(13)	13	1(4)	1(4)	3(7)	3(7)	30(38)	38	33(45)	41(45)
473,0	22	29	68	216	42	149	45	162	14	16	36	45	155	527	191	572
	11,0	14,5	5,7	6,6	5,3	12,4	4,5	12,5	14,0	16,0	12,0	15,0	5,2	13,9	5,8	13,5
473,0	1(3)	2(3)	12(13)	12(13)	8(12)	12	10(12)	12	2(3)	3	3(6)	5(6)	36(37)	36(37)	33(43)	41(43)
449,0	4	9	51	149	13	150	74	209	14	25	18	34	138	508	156	542
	4	4,5	4,3	12,4	1,6	12,5	7,4	17,4	7	8,3	6,0	6,8	4,6	14,1	4,7	13,2
449,0	0(3)	2(3)	9(11)	10(11)	12	12	7(11)	10(11)	2(4)	2(4)	2(7)	4(7)	28(34)	32(34)	30(31)	36(41)
425,0	0	6	35	145	35	301	31	110	8	12	8	18	101	556	109	574
	0	3	3,9	14,5	2,9	25,1	4,4	11,0	4	6	4	4,5	3,6	17,4	3,6	15,9
425,0	0(3)	1(3)	6(10)	9(11)	12	12	9(10)	9(10)	1(4)	1(4)	1(7)	2(7)	27(32)	30(32)	28(39)	32(39)
401,0	0	4	26	63	99	270	40	100	1	1	1	5	165	433	166	430
	0	4	4,3	7,0	8,3	22,5	4,4	11,1	1,0	1,0	1,0	2,5	5,9	14,4	5,7	13,7
401,0	2(3)	2(3)	3(8)	6(8)	11(12)	12	6(7)	6(7)	2(4)	2(4)	4(7)	4(7)	20(27)	24(27)	24(38)	28(34)
378,8	5	7	17	72	52	247	18	65	9	15	14	22	87	384	101	406
	2,5	3,5	5,7	1,2	4,7	20,6	3,0	10,8	4,5	7,5	3,5	5,5	4,4	16,0	4,2	14,2
378,8	2(4)	2(4)	4(7)	6(7)	10(12)	11(12)	4(5)	4(5)	2(4)	2(4)	4(8)	4(8)	18(24)	21(24)	22(32)	25(32)
358,8	4	12	12	77	49	187	18	45	7	14	11	26	79	309	90	335
	2,0	6,0	3	12,8	4,9	17,0	4,5	11,3	3,5	7,0	2,8	6,5	4,4	14,7	4,1	13,4
358,8	2(3)	2(3)	4(5)	4(5)	3(12)	3(12)	2(2)	2(2)	3(4)	3(4)	5(7)	5(7)	9(19)	9(19)	14(26)	14(26)
337,3	7	8	29	55	13	17	4	13	12	19	19	27	46	85	65	112
	3,5	4	7,3	13,8	4,3	5,7	2,0	6,5	4,0	6,3	3,8	5,4	5,1	9,4	4,6	8,0
337,3	2(3)	2(3)	3(4)	3(4)	0(12)	0(12)	0	0	2(3)	2(3)	4(6)	4(6)	3(16)	3(16)	7(22)	7(22)
315,5	12	14	21	27	0	0	0	0	24	24	36	38	21	27	57	65
	6,0	7,0	7,0	9,0	0	0	0	0	12	12	9,0	9,5	7,0	9,0	8,1	9,3
sul kaSxlis qvemo biefidan zedapirze	11(25)	15(25)	53(71)	63(71)	68(96)	74(96)	48(60)	56(60)	15(30)	16(30)	26(55)	31(55)	165(227)	193(227)	191(262)	224(252)
	54	89	259	804	303	1321	230	704	89	125	143	215	792	2829	935	3044
	2,2	3,6	3,6	11,3	3,2	13,8	3,8	11,7	3,0	4,2	2,6	3,9	3,5	12,5	3,3	10,8
	4,9	5,9	4,9	12,8	4,5	17,9	4,8	12,6	5,9	7,9	5,5	6,9	4,8	14,7	4,9	13,6

შენიშვნა: პირველ თარაზულ რიგში მოცემულია დაბზარული სექციების რაოდენობა (ფრჩხილებში სექციების სრული რაოდენობა) ზონაში; მეორე თარაზულ რიგში მოცემულია ბზარების რაოდენობა ზონაში; მესამე თარაზულ რიგში მოცემულია ბეტონის ზედაპირის დაბზარვის ინტენსიურობა (ბზარების რაოდენობათა ფარდობა დაბზარულ სექციების რაოდენობასთან) ზონებში.

პერიმეტრულ ნაკერთან არსებული ბლოკებისა და საკეტების მართვის შენობაში მოქცეული სექციები და თაღის ყველა სექციის ღია ზედაპირი დაბზარულია.

511.5-473.0 ნიშნულებს შორის თაღის მარჯვენა ნაწილში მე-14 სშნ-მდე ბზარები უფრო მეტია, ვიდრე შუა (14-16 სშნ) და მარცხენა (26 სშნ მარცხენა კ.ნ.) შვეულ ზონებში. მაგრამ ზოგიერთ სექციაში (16.25-33) სადაც ადრე ბზარები არ არსებობდა, ან მათი რაოდენობა უმნიშვნელო იყო, 2008 წლის მონაცემებით გაიზარდა 10-25-მდე. დაბზარულია თაღის საყრდენი ბურჯები და მათი მიმდებარე სექციებიც. მაგრამ მათში ახალი ბზარები უმნიშვნელოა.

ძველი ბზარები და სამშენებლო ბლოკების თარაზული და სექციებს შორის ნაკერები კოლმატირებულია ფილტრაციის პროდუქტებით. პერიოდული გახსნა-დახურვით ნაკერების წიბოები დაზიანებულია, ხოლო სექციების ზედაპირებიდან აყრილია ნაშხეფი ბეტონი. მარჯვენა საყრდენი ბურჯიდან მე-18 სშნ-მდე, სხვადასხვა ინტენსიურობით მიმდინარეობს ფილტრაცია, მაგრამ განსაკუთრებით გამოირჩევა მე-8 სშნ. გალერეის თაღიდან წყლის ძლიერი მოდინება. ფილტრაცია შეინიშნება 34 სშნ [4].

473.0-448.0 ნიშნულებს შორის თაღის მარჯვენა ნაწილში ბზარწარმოქმნა მცირდება, მარცხენა ნაწილში მატულობს და უცვლელი რჩება შუა ზოლში.

449.0-358.8 ნიშნულებს შორის ბზარწარმოქმნა (54-64%) ძირითადად ვრცელდება კაშხლის ცენტრალურ ნაწილში, ხოლო მარჯვენა და მარცხენა ნაწილებში 20-20% საშუალოა.

358.8 ნიშნულის ქვემოთ თაღის შუა ზოლში (საკეტების მართვის შენობა) ბზარები არ აღინიშნება, ხოლო განაპირა ზოლებში ახალი ბზარები

უმნიშვნელოა. ამასთან, 1996 წ. მე-10-12 სექციებში აღმოჩენილი სიღრმისეული ბზარები სრულიად კოლმატირებულია და ფილტრაცია შეწყვეტილია.

473.0-425.0 ნიშნულებს შორის 7-11, 14, 15, 16, 18-32 სმ და სამშენებლო ბლოკების თარაზული ნაკერებისა და ბზარების წიბოები მრავალჯერადი გახსნა-დახურვის შედეგად დაზიანებულია, ფილტრაციით კოლმატირებული ნაკერებიდან გამოტანილია არამკვრივი მასა, ხოლო მოსაზღვრე ზედაპირებიდან აყრილია ნაშხეფი ბეტონი.

კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე პერიმეტრულად მიმდინარე ბზარწარმოქმნა და სხვა დაზიანებები გამოწვეული უნდა იყოს რამდენიმე ფაქტორის კომპლექსური ზემოქმედებით.

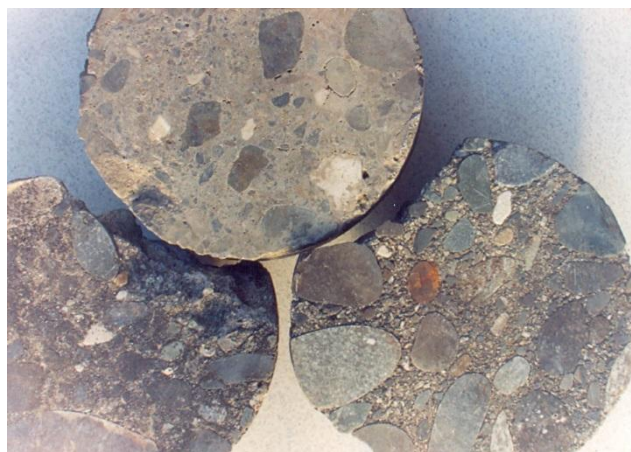
ცნობილია, რომ ჰიდროსტატიკური დატვირთვისას თაღოვანი კაშხლის ტანი გადაადგილდება ქვემო ბიეფისკენ, ხოლო წყალსაცავში წყლის დონის დაწვევისას, საპირისპირო მიმართულებით. მსგავსი სურათია აგრეთვე გარემოს ტემპერატურის სეზონური ცვლილებისას, როდესაც მაღალი ტემპერატურისას (ზაფხულში) თაღოვანი კაშხლის თხემი გადაადგილდება წყალსაცავისკენ, ხოლო ზამთარში – ქვემო ბიეფისკენ. ამ დროს, კაშხლის ორივე ზედაპირზე წარმოიქმნება ნიშანცვლადი ძაბვები, ხოლო სამხრეთის მხარეს ორიენტირებულ ზედაპირზე ჰაერის ტემპერატურით აღძრულ ძაბვათა ეპიურას ემატება მზის ინსოლაციით აღძრული მრუდწირული თვითგაწონასწორებული ძაბვების ეპიურა. მზით გახურებულ ზედაპირზე აღძრული ეს ძაბვები ორიენტირებულია ყველა მიმართულებით, მაღალი სიდიდისაა და სწრაფად მცირდება (მიილევა) ზედაპირიდან სიღრმეში.

მზის მხარეს მიმართული ზედაპირების დაზიანებები გამოვლენილი იქნა აგრეთვე ზაჰესის, რიონჰესის, გუმათჰესების, ვარციხეჰესების და სხვა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობების კვლევებისას. ამასთან, აღმოჩნდა, რომ თარაზული ზედაპირის ბეტონში სიმტკიცე უფრო მეტად იყო დაცემული, ვიდრე შვეულ ზედაპირზე [4].

სურათი №1.1-ზე ნაჩვენებია ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლიდან ამოზურღული ბეტონის ფუძეთა ცილინდრული ფორმის ნიმუშების სამი

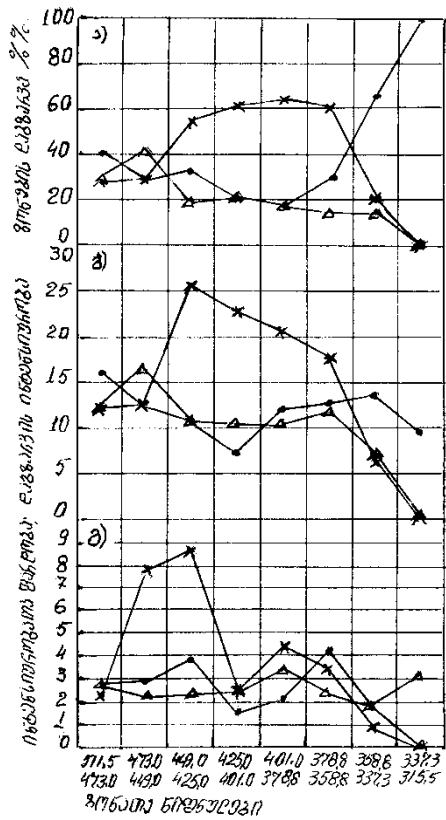
გადანაჭერი, რომლებიც დაახლოებით 30 წლის განმავლობაში განიცდიდნენ მზისა და სხვა ატმოსფერული ფაქტორების ზემოქმედებას. ქვედა ორი გადანაჭრის ზედაპირზე დაზიანებულია ცემენტის ქვის სტრუქტურა, ბეტონის შემავსებელი (ხრეში და ქვიშა) უვნებელი დარჩა. სურათზე, ზედა მესამე გადანაჭერი იმყოფებოდა დანარჩენების გვერდით, მაგრამ გადაჭრის ზედაპირით პირქვე და არ განიცდიდა მზის ინსოლაციურ და ქარის აბრაზიულ ზემოქმედებას, ამიტომ მას შენარჩუნებული აქვს პირვანდელი სახე [4].

გარდა ზემოთ აღნიშნული ფაქტორებისა, ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ზედაპირის ბზარწარმოქმნაზე სხვა მიმდინარე პროცესებიც ახდენს გავლენას.



სურათი №1.1 ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლიდან ამოღებული ბეტონის ფუძეთა ცილინდრული ფორმის ნიმუშები

სურათი №1.1-ში მოყვანილი ქვედა ორი გადანაჭერის ზედაპირი, დაახლოებით 1975 წლიდან 2007 წლამდე განიცდიდა მზისა და ატმოსფერული ფაქტორების ზემოქმედებას, რის შედეგადაც დაზიანებულია ცემენტის ქვა; ყველაზე მეტად დაზიანებულია საკონტაქტო ზონა ცემენტის ქვასა და შემვსებს შორის; ზედა მესამე გადანაჭერი იმყოფებოდა ქვედა გადანაჭრების გვერდით, მაგრამ სურათზე გამოსახული ზედაპირით პირქვე და არ განიცდიდა მზის ინსოლაციას და ქარის აბრაზიულ ზემოქმედებას. მისი ცემენტის ქვის სტრუქტურასა და საკონტაქტო ზონებს შემვსებთან შენარჩუნებული აქვთ პირველადი სახე.



ნახაზი №1.2 ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ქვემო ბიეფის თაღოვან ნაწილზე
 ბზარწარმოქმნის სტატისტიკური მახასიათებლების დიაგრამები ზონების მიხედვით:

ა) ბზარწარმოქმნა პროცენტებში; ბ) ბზარწარმოქმნის ინტენსიურობა (ბზარებისა და
 დაბზარულ სექციათა რაოდენობების ფარდობა); გ) 2008 და 1999 წლების ინტენსიურობათა
 ფარდობა;

_ . _ მარჯვენა ნაპირის პერიმეტრულ ნაკერიდან მე-14 სშნ-მდე;

_ ხ _ მე-14-26 სშნ ნაკერებში; _ Δ _ 26-ე სშნ ნაკერიდან ნარცხენა ნაპირის კ.ნ-მდე.

1989-1996 წლების ნატურულ დაკვირვებათა მონაცემებით [4] წყალსაცავში წყლის დონის 510 მ ნიშნულზე აწევსას ხდებოდა სექციების გადახრა ქვემო ბიეფისაკენ. ამ მხრივ განსაკუთრებით აღინიშნებოდა კაშხლის მარჯვენა ნაპირის სექციების თხემის გადახრა X და Y ღერძების გასწვრივ, რომლებიც დიდად აღემატებოდა შუა და მარცხენა ნაპირის სექციების გადახრებს იმავე ღერძების გასწვრივ.

ამ დაკვირვებათა შედარება კაშხლის ზედაპირებზე მიმდინარე ბზარწარმოქმნებთან გვიჩვენებს, რომ 511.5-473.0 ნიშნულებს შორის განვითარებული ბზარწარმოქმნა (216 ბზარი – 41%) აღემატება როგორც შუა ზონის (149 ბზარი – 28.3%) ისე მარცხენა განაპირა ზონის (162 ბზარი – 30.7%)

ბზარწარმოქმნებს (ცხრილი №1.2 და ნახაზი №1.2). გარდა ამისა, მარჯვენა საყრდენ ბურჯებში გაჩენილი ბზარები (29) თითქმის 2-ჯერ აღემატება მარცხენა ნაპირისას, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მარჯვენა საყრდენ ბურჯებში უფრო მეტი იყო ბზარწარმოქმნელი ძაბვები, ვიდრე მარცხენაში.

კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე ბზარწარმოქმნის შესაფასებლად დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ ფაქტს, რომ ჰიდროკვანძის ექსპლუატაციისას ადგილი ჰქონდა კაშხლის მთავარი მკუმშავი ძაბვების გადაჭარბებას, დასაშვებ (13.5 მპა) და ზღვრულ ძაბვებზე (15 მპა). მაგალითად, 1991-1996 წლებში 26-ე სექციის 403 ნიშნულზე ქვემო ბიეფის ზედაპირთან მთავარი მკუმშავი ძაბვების სიდიდე აღწევდა 16-17 მპა-ს. მსგავსი სურათი იყო აგრეთვე მე-12 სექციის ქვემო ბიეფის ზედაპირთანაც.

კაშხლის საპროექტო დატვირთვების დაწყებისას სექციების არათანაბარი გადახრა ქვემო ბიეფისაკენ და ზღვრულ მკუმშავ ძაბვებში გადაჭარბებული ძაბვების განვითარება განპირობებული უნდა ყოფილიყო, როგორც საყრდენი ფერდების დამყოლობით, განსაკუთრებით მარჯვენა ნაპირისა, სადაც გადის ბეტონით გაძლიერებული ტექტონიკური რღვევის ზონა, ისე, ჰიდროსტატიკური დატვირთვებითა და ტემპერატურათა ცვლილებებით განვითარებული შეუქცევადი (პლასტიკური) დეფორმაციები, სექციებს შორის ნაკერებში. სექციების მასიური ბეტონის დრეკადი დეფორმაციებისაგან განსხვავებით, სექციებს შორის ნაკერებში გამკვრივებული ცემენტის ხსნარის დეფორმაციები შეუქცევადია, რის შედეგადაც სექციებს შორის წარმოიქმნება ღრეჩოები, საიდანაც ფილტრაციულ წყლებს გამონატუტის სახით კაშხლის ზედაპირზე გამოაქვთ ცემენტის ჰიდრატაციის პროდუქტები, რაც ხელს უწყობს კაშხალში კოროზიული პროცესების განვითარებას.

სექციებს შორის ნაკერებში ღრეჩოების გაჩენა, წყალსაცავში წყლის დონის აწევა-დაწევისას და სეზონური ტემპერატურის ცვლილებისას, განპირობებს სექციებს შორის გამბრჯენი ძალების უკმარისობას, ქვემო ბიეფისკენ და პირიქით, მათი გადახრების ამპლიტუდის გაზრდას და

ნაკერების გახსნა-დახურვის გაფართოებას. აღნიშნული პროცესები სეზონურ ტემპერატურებთან და მზის ინსოლაციასთან კომპლექსში კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირზე ქმნიან პერმანენტული ბზარწარმოქმნის პირობებს.

ენგურჰესის თაღოვან კაშხალზე მიმდინარე ზემოთ აღნიშნული დესტრუქციული პროცესების აღსაკვეთად მიზანშეწონილად მიგვაჩნია შემდეგ ღონისძიებათა აუცილობელი განხორციელება:

1. კაშხლის ქვემო ბიეფის ზედაპირი უნდა დაიფაროს მზის საწინააღმდეგო დარაბის ტიპის საჩრდილობელით, რომლის ტექნიკური პროექტი წარმოდგენილი აქვს ენგურჰესის დირექციას. ამ პროექტის დადებით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ მისი განხორციელებით არა მარტო დაცული იქნება კაშხლის ზედაპირი მზის ინსოლაციისაგან, არამედ საშუალებას იძლევა უფრო სრულყოფილად მოხდეს კაშხლის მთელი ზედაპირის გამოკვლევა. ამ ტიპის დამცავი საფარის ეფექტურობის შესაფასებლად შესაძლებელია მისი ეტაპობრივად განხორციელება. იგი ჯერ უნდა მოეწყოს რომელიმე სექციის მონაკვეთზე საექსპლუატაციო აივნებს შორის, ხოლო შემდეგ კაშხლის ქვემო ბიეფის მთელ ზედაპირზე.

2. თაღოვანი კაშხლის მონოლითურობის მისაღწევად სექციებს შორის ნაკერებში განხორციელდეს საცემენტაციო სამუშაოები, რაც შეამცირებს სექციების გადახრების ამპლიტუდას და მისგან გამოწვეულ ძაბვებს.

3. საჭიროა შემუშავდეს ტექნიკური ნორმები და პირობები, რათა ჰიდროტექნიკური ნაგებობათა დაპროექტებისას გათვალისწინებული იქნას ბეტონისა და რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციების ზედაპირების დაცვა მზისა და სხვა ატმოსფერული ფაქტორების ზემოქმედებისაგან.

მოცემულმა მაგალითებმა გვიჩვენა ჰიდროტექნიკური ბეტონის ხანმედეგობის გაზრდის აუცილებლობა, რისი განხორციელებაც შესაძლებელია მასში სხვადასხვა დანამატების გამოყენებით და ბეტონის დამზადების ახალი ტექნოლოგიით, რომელიც გულისხმობს შემდგომის წინასწარ გაჟღერებას პოლიმერით და შემდგომში მის არევას ცენემტთან და ქვიშასთან. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად უმჯობესდება შემავსებლის

კონტაქტი ცემენტის ქვასთან, რადგან ხდება ლიკვიდაცია შემავსებლის გარშემო არსებული წყლისა, რასაც მივყავართ ბეტონის სიმკვრივისა და სიმტკიცის მნიშვნელოვან მატებასთან [4].

1.4 ბზარების წარმოქმნის საწინააღმდეგო ღონისძიებანი

გარდა ზემოთ აღნიშნული ღონისძიებისა, რომელიც მოითხოვს ბეტონის ნარევი ცემენტის რაოდენობის შემცირებას და მის დაბალ თერმულობას, ბეტონში ბზარების წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით დებულობენ სხვა ღონისძიებებსაც, მათ შორის: 1) ბეტონის შემკვების და მისი ამადუღებელი წყლის გაცივებას (წყლის ნაწილის ყინულით შეცვლით) იმდენად, რომ ნარევი მიიღოს დაბალი ტემპერატურა, რათა შემცირდეს ბეტონის გახურება და ჰაერის ტემპერატურათა სხვაობა და ამის შედეგად ტემპერატურული ძაბვები ბეტონში. 2) ბეტონის გაცივება უშუალოდ კაშხალის ტანში მაცივარ-დანადგარიდან მიწოდებული გამაცივებელი წყლის ცირკულაციით მიმდინარეობს, რაც კაშხალის ტანში არის შეზღუდული ზომების მქონე ცალკეულ ბლოკებად ისეთი რიგით, რომ რაც შეიძლება სწრაფად გაიფანტოს ეგზოთერმული სითბო, რათა ახალი ბლოკების დაწყობა მოხდეს ადრე დაწყობილი ბლოკების ტემპერატურის დაწევის შემდეგ.

კაშხლის დაყოფა დასაბეტონებელ ბლოკებად უფრო მოსახერხებელია და ეკონომიურად ხელსაყრელი მეთოდია, ვიდრე ზემოთ აღწერილი სხვა ღონისძიებები, ამოტომ მისი გამოყენება მასიურ ჰიდრონაგებობების მშენებლობისათვის აუცილებელია [1].

1.5 მყარი სხეულების გაყენება სითხეებით (ადგეზია)

არსებობს საშენი მასალების დასველებადობის სამი ხერხი: კაპილარული შთანთქმა (წყალშთანთქმა დასველების დროს); წყალშთანთქმა მთლიანად წყალში მოთავსების დროს და სორბციული წყალშთანთქმა.

ჰიდროფობიზაცია პრაქტიკულად თითქმის ზღუდავს წყალშთანთქმას პირველი ხერხით, საკმაოდ ამცირებს წყალშთანთქმას მეორე ხერხით და ფაქტიურად არ ტენიანდება მესამე ხერხით. კაპილარული შთანთქმის აღმოფხვრა და ფორებში წყლის შეღწევის სიჩქარის შემცირება დაწნევის დროს მჭიდროდაა დაკავშირებული ფორების კედლების დასველების შემცირებაზე. ამის გამო საჭიროა უფრო ფართოდ განვიხილოთ მყარი სხეულის დასველების ბუნება - მექანიზმი [8].

წყალი ან სხვა რაიმე სითხე თავისუფალ მდგომარეობაში იძენს სფეროსებრ ფორმას. სითხის მოლეკულებს ახასიათებს სფერული ფორმის წვეთების შექმნა, ანუ თავისი ზედაპირის მაქსიმალურად შემცირება, რაც გამოწვეულია სითხის მოლეკულების ურთიერთმიზიდვით - კოგეზიით. ამის გამო სითხე იკავებს მინიმალურ მოცულობას. თუ სითხის წვეთი მოთავსებულია მყარი სხეულის ზედაპირზე, აქ სითხის წვეთში არსებული მოლეკულათა შორის მიზიდვის გარდა არსებობს ურთიერთ მიზიდვა სითხესა და მყარი სხეულის მოლეკულებს შორის - ადგეზია.

თუ მიზიდულობა სითხის და მყარი სხეულის მოლეკულებს შორის უფრო მაღალია, ვიდრე თვით სითხის მოლეკულებს შორის, მაშინ წვეთი კარგავს თავის პირველად სფერულ ფორმას და განიღვრება თხელი ფენით მყარი სხეულის ზედაპირზე - ასველებს მას. საწინააღმდეგო შემთხვევაში სითხე არ ასველებს მყარ სხეულის ზედაპირს. მის ზედაპირზე მყოფი წვეთი დაახლოებით სფერული ფორმისაა, მაგრამ, როგორც წესი, ოდნავ მობრტყელებული (მაგალითად, ვერცხლის წყალი მინაზე).

მყარი სხეულის დასველება ან არადასველება არ არის დამოკიდებული იმაზე, მდებარეობს ის სითხეში თუ მასთან მხოლოდ შეხებაშია თავისი ზედაპირის ნაწილით, ან მთლიანად. თუ სხეული კარგად დასველებადია,

წყლიდან ამოღების შემდეგ ინარჩუნებს მდგრად წყლის ფენას, და თუ არადასველებადია სხეული, წყლიდან ამოღების შემდეგ რჩება მშრალი. იმ შემთხვევაში, როდესაც სხეული მთლიანად არ სველდება, მაშინ წყლის ფენა მის ზედაპირზე იკუმშება, ამიშვლებს მშრალ ზედაპირს, მაგრამ ცალკეული ნაწილები მაინც არიან დაფარული წყლის წვეთებით.

აბსოლუტურად დასველებადს ან არადასველებადს შორის შეიძლება იყოს შუალედური მდგომარეობა, მაგრამ მისი ხარისხობრივი მდგომარეობის შეფასება ჯერჯერობით შეუძლებელია. აქვე აღსანიშნავია, რომ აბსოლუტურად არადასველებადი მყარი ზედაპირები არ არსებობენ, ვინაიდან წარმოადგენელია მიზიდვის ძალების არ ყოფნა მყარ სხეულსა და სითხის მოლეკულებს შორის.

ამრიგად, ყველა სხეული სველდება წყლით, მხოლოდ სხვადასხვა ხარისხით. ამის გამო შეიძლება გავყოთ მასალები დასველებადად - ჰიდროფილურად და არადასველებადად - ჰიდროფობულად. თვით დასველებადობა საჭიროა წარმოვადგინოთ ისეთ მოვლენად, რომელსაც აქვს ადგილი სამი ფაზის შეხების დროს - მყარი სხეული, სითხე და აირი (ძირითადად ჰაერი) - გამყოფი ზღვრის წარმოქმნით, რასაც ეწოდება დასველებადობის პერიმეტრი [8].

მყარის სხეულის თვისებას დასველდეს ან არ დასველდეს განაპირობებს მისი ურთიერთმოქმედი ფაზების ქიმიური ბუნება. მაგალითად, წყლით სველდება ისეთი ნივთიერება, რომლის ზედაპირი წარმოქმნილია ელექტრონების დაუყოფელი წყვილების მქონე (O, N) ანიონებით (მაგალითად OH^-) ან ისეთი ატომებით, რომლებსაც გააჩნია უნარი მიიზიდოს იმ წყლის მოლეკულები, რომლებიც გააჩნდა (ჩამოყალიბდა) წყალბადის კავშირების წარმოქმნისას. წყალბადის კავშირის ხარჯზე, ზედაპირზე, რომელზედაც სორბირებულია წყლის მოლეკულები, ამოშენდება სხვა ფენები. ზედაპირის ამგვარი ბუნებით წარმოქმნილია უმეტესი საშენი მასალების ჰიდროფილურობა.

მყარი ზედაპირის სტრუქტურის დასველებისათვის მნიშვნელოვანია მისი ხაოიანობა, ფორიანობა და მის ზედაპირზე მყოფი სხვა მოლეკულების არსებობა. დასველების გამო, წყალი შეიწოვება ფორებიანი მასალების მიერ და რჩება შიგ ფორებსა და მიკროფორებში.

ბუნებაში ჰიდროფილურ მასალებთან ერთად არსებობენ ჰიდროფობულებიც. მათ მიეკუთვნებიან ნივთიერებები, რომელთა მოლეკულათშორის მიზიდულობა საკმაოდ სუსტია, მაგალითად, ფთორნახშირბადი, ორგანოსილოქსანები, ნახშირწყალბადები. წყალი არა მარტო ასველებს მათ ზედაპირს, არამედ, ზოგ შემთხვევაში, ჩამოდინდება დასველებადობის რაოდენობრივი შეფასების გადასვლამდე.

1.6 ზედაპირის თავისუფალი ენერგია

როდესაც სითხე შეეხება მყარი სხეულის ზედაპირს, წარმოიქმნება სამი ფაზა: სითხე - (ს); აირი - (აი) და მყარი სხეული - (მს), ორი ფაზის სამი გამყოფი ზედაპირით: ს - აი; ს - მს; მს - აი. გარდა ამისა სამივე ფაზას გააჩნია გამყოფი ხაზური საზღვარი - დასველების პერიმეტრი. სამივე გამყოფ ზედაპირზე არსებობს მოლეკულების თხელი ფენა (ზედაპირული ფენა), რომელიც თავისი თვისებებით მნიშვნელოვნად განსხვავდება სხვა სასაზღვრო ფაზების ფენებისაგან. ზედაპირული ფენების მოლეკულებს შორის, სხვა ფენების მოლეკულებისაგან განსხვავებით, მოქმედებენ მოლეკულური მიზიდულობის გაუწონასწორებელი ძალები. ეს არაწონასწორობა განპირობებულია იმით, რომ მოლეკულების შეჭიდვის ძალების ინტენსიურობა თითოეულ ფაზაში, მკვეთრად განსხვავდება. მაგალითად, აირი - სითხის ზღვარზე მოლეკულები, რომლებიც განლაგებულნი არიან ზედაპირთან ახლოს, მიზიდულობას განიცდიან მხოლოდ ის მოლეკულები, რომლებიც არიან სითხის ზედაპირზე ან მის ქვემოთ. შედარებით უმნიშვნელო მოლეკულების რაოდენობა აირის ან ორთქლისა, რომელიც განლაგებულია ზედაპირზე უფრო ზევით, არ აწონასწორებენ ზედაპირული ფენის მოლეკულების მიზიდულობას, თხევადი ფაზის მხრიდან [8].

ამის გამო ყოველი ზედაპირული მოლეკულა განიცდის ძლიერ მიზიდულობას მიმართულს სითხის „შიგნით“, ნორმალურად, მართობულად, მისი ზედაპირის მიმართ. ამ მიზიდულობას ეწოდება შიგა წნევა და განაპირობებს სითხის ზედაპირის სწრაფვას თვითნებურ შემცირებისაკენ და ენერჯის ხარჯვისაკენ მისი გაფართოების შემთხვევაში.

აღნიშნული ფაქტორები მიგვითითებენ ზედაპირული, თავისუფალი ენერჯის არსებობაზე.

თავისუფალ ენერჯიას ფლობს ყველა გამყოფი ზედაპირი. იმისათვის, რომ მოხდეს ზედაპირის გაფართოება მუდმივი დაწნევის და ტემპერატურის დროს, საჭიროა ჩატარდეს სამუშაო, ანუ დაიხარჯოს გარკვეული ენერჯია. ამ ენერჯიის ნაწილი შეესაბამება ზედაპირის თავისუფალ ენერჯიას σ თუ წნევა მუდმივია. დანარჩენი ნაწილი წარმოადგენს ზედაპირის წარმოქმნის ფარულ სითბოს q . ის რაოდენობრივად ტოლია იმ სითბოსი, რომელიც ესაჭიროება ზედაპირს მუდმივი ტემპერატურის შენარჩუნებისათვის, მისი იზოთერმული გაფართოებისათვის. აქედან გამომდინარეობს, რომ ზედაპირის ერთეულის E მთლიანი ენერჯია შედგება ორი ნაწილისაგან - ზედაპირის თავისუფალი ენერჯია σ და ბმული ენერჯია $-T = \frac{d\sigma}{dT}$, რომელიც ტოლია:

$$E = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}$$

სითბოს შთანთქმა, რომელიც წარმოიქმნება ზედაპირის იზოთერმული გაფართოებისას, გამოწვეულია იმით, რომ მოლეკულები უნდა მოძრაობდნენ ზედაპირისაკენ და გადალახონ მოლეკულათა შორის გადაბმის (შეჭიდულობის) ძალები. ეს კი იწვევს მათი სიჩქარის შენელებას, ზედაპირის შრის ტემპერატურის დაცემას, როდესაც გარედან არ წარმოებს სითბოს მოწოდება [8].

ზედაპირის თავისუფალ ენერჯიას აქვს პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა მაშინ, როდესაც წყდება ზედაპირის დასველების და წონასწორობის საკითხი. ამ შემთხვევაში საკმარისია ზედაპირის თავისუფალი ხვედრითი ენერჯიის მნიშვნელობის ცოდნა. ამ ენერჯიის საზომი არის ე.წ. ზედაპირული დაჭიმვა. ის წარმოადგენს ძალას, რომელიც მოქმედებს

ზედაპირის სიგრძის 1 სმ-ზე და ტანგენციალურადაა მიმართული მის მიმართ. ზედაპირული დაჭიმვის და თავისუფალი ენერჯის ხვედრითი ერთეულის რიცხობრივი მაჩვენებელი და განზომილება ემთხვევა ერთმანეთს, ვინაიდან მათი სიდიდეები ექვივალენტურია. ორივე ფაზის მოლეკულური სტრუქტურა მოქმედებს ნებისმიერი ზედაპირული დაჭიმვის (თავისუფალი ენერჯის) სიდიდეზე.

1.7 ადგეზიის და კოგეზიის მუშაობა

ორი ერთგვაროვანი სითხის შეხებისას ქრება გამყოფი ზედაპირი. ზედაპირის თავისუფალი ენერჯია ნულს უტოლდება, ე.ი. ზედაპირი აღარ არსებობს და მოლეკულების ჩაბმის სამუშაო რომელიც შესრულებულია ამ დროს, უდრის ორივე თავისუფალი ზედაპირის ენერჯების ჯამს. ეს სამუშაო გვამღებს წარმოდგენას მიზიდულობის ძალაზე ამ სითხის მოლეკულებს შორის და მას ეწოდება კოგეზიის მუშაობა. კოგეზიის ხვედრითი მუშაობა შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ძალა, რომელიც საჭიროა 1 სმ² განიკვეთის მქონე სითხის მოცულობის გაწყვეტისათვის, ვინაიდან აქ წარმოიქმნება ორი ახალი ზედაპირი საერთო ფართობით 2 სმ², იქ, სადაც არ არსებობდა გამყოფი ზღვარი, მაშინ კოგეზიის მუშაობა \bar{W}_β უტოლდება გაორკეცებულ თავისუფალ ენერჯიას ან გაორკეცებულ ზედაპირულ დაჭიმვას აირთან საზღვარზე:

$$w_\beta = 2\sigma_{\beta-\alpha}$$

ორი სხვადასხვა ფაზის მოლეკულების გადაბმის ძალები ხასიათდებიან ადგეზიის მუშაობით w_α . ეს სამუშაო, რომელიც იხარჯება ორივე ფაზების მიზიდულობის დასაძლევად, მოქმედებენ გამყოფი ზედაპირიდან. ადვილია დადგინდეს, რომ ადგეზიის მუშაობა უდრის ორივე ფაზების ზედაპირულ დაჭიმვას, რომელიც იმყოფება ჰაერთან ზღვარზე ($\sigma_{\beta\alpha} + \sigma_{\beta\alpha}$) იმ ზედაპირული დაჭიმვის გამოკლებით, რომელიც არსებობს მათ ზღვარზე:

$$w_\alpha = \sigma_{\beta\alpha} + \sigma_{\beta\alpha} - \sigma_{\beta\beta}$$

ეს ტოლობა ატარებს დიუპრეს ტოლობის სახელს, თუ დასველება ხდება წყალში ჩაწყობის (ჩაძირვის) დროს, მაშინ:

$$W_{\alpha} = \sigma_{s-a} - \sigma_{m-s}$$

ნათელია, რომ ადგეზიის მუშაობა მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია ზედაპირული დაჭიმვა ყოველი ფაზის ჰაერთან საზღვარზე და რაც უფრო ნაკლებია ზედაპირული დაჭიმვა ფაზების გამყოფ ზღვარზე. ეს გასაგებია, ვინაიდან რაც უფრო ნაკლებია ზედაპირული დაჭიმვა ფაზებს შორის საზღვარზე და როგორც შედეგი, პოლარული სხვაობა, მით უფრო მეტია ადგეზია, ანუ ორივე ფაზების მოლეკულების ურთიერთმოქმედების ძალები.

ორ ფაზას შორის ადგეზიის მუშაობა უფრო თვალსაჩინოა, ვიდრე ზედაპირული დაჭიმვა ან ზედაპირული მოლეკულების მიზიდულობა ფაზების შიგნით. ამის გამო ზედაპირული მოვლენები დასველებისას უპრიანია განვიხილოთ როგორც ადგეზიის მუშაობა [8].

1.8 მყარი სხეულის ზედაპირის დასველების ცვლილება წყალთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს

წყალთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს მყარი სხეულის ზედაპირი განიცდის კოროზიას. წყალში ყოფნის შედეგად მყარი სხეული შეიძლება დაიშალოს (გამოტუტვა), რაც იწვევს ზედაპირის სტრუქტურის ღრმა ცვლილებას ან შევიდეს ქიმიურ ურთიერთქმედებაში წყალთან. ორივე შემთხვევაში ზედაპირის დასველებადობა განიცდის ცვლილებას. აქ ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ თუ მყარი სხეულის ზედაპირი დიდხანს იყო წყალთან შეხებაში, მისი დასველებადობა იცვლება, რაც გამოწვეულია მყარი სხეულის წყლით სორბციით [7].

მყარ სხეულზე დატანილი წყლის წვეთის სასაზღვრო (კიდური) კუთხე დროის განმავლობაში თანდათანობით მცირდება. ეს ფაქტი მიგვითითებს იმაზე, რომ თუ სხეული დიდხანს ურთიერთქმედებს წყალთან, ზედაპირის დასველებადობა, რომელიც შთანთქამს წვეთად წყალს, იზრდება. მხოლოდ ჰიდროფობური ზედაპირების (გაპრიალებული, შეღებილი და სხვა) წყლით

დიდი ხნის დასველების შემდეგ დასველებადობის გენეზისი მთლიანად არ იკარგება (არ ცილდება).

ე.ი. იმ ზედაპირებზე, რომლებიც ხასიათდებიან განსაკუთრებით მაღალი ჰიდროფობურობით, წყლის წვეთის სასაზღვრო კუთხე არ მცირდება და ის ინარჩუნებს სფერულ ფორმას მთლიან აორთქლებამდე. ასეთი თვისებებით ხასიათდებიან მასალების ისეთი ზედაპირები, რომლებზეც დატანილია კაჟბადორგანული ნაერთები.

ზედაპირის ჰიდროფობიზაცია წყალთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს ნაწილობრივ აიხსნება ზედაპირზე მოთავსებული მოლეკულების ორიენტაციის შეცვლით. მაგრამ ამ მოვლენის ამგვარი ახსნა არ არის საკმარისი თუნდაც იმიტომ, რომ არაპოლარული ზედაპირის მქონე ნივთიერებები, რომლებიც არ ხასიათდებიან (არ ფლობენ) ზედაპირული აქტიობით (პარაფინი, ნაფტალინი) ხდებიან უფრო ჰიდროფილურები წყალთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს და ეს თვისება ახასიათებს არა მარტო მათ ზედაპირს. თუ ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებები ხანგრძლივ კონტაქტში არიან წყალთან, მაგალითად, ცხიმოვანი მჟავა, ჰიდროფილიზაცია ვრცელდება არა მარტო ზედაპირზე, არამედ შეაღწევს მასალის სიღრმეში და ატარებს საკმაოდ მდგრად ხასიათს. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ჰიდროფილიზაცია გამოწვეულია ზედაპირის მიერ იმ წყლის მოლეკულების შთანთქმით, რომლებიც ქმნიან წყლის ზედაპირულ ფენას [7].

თუ ჰიდროფობული ზედაპირები წარმოქმნილია ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით, ჰიდროფილიზაცია მჟღავნდება ძალიან მკვეთრად, ვინაიდან წყლის მოლეკულები ჩაბმულები არიან პოლარულ ჯგუფებში და ქმნიან შედარებით მდგრად ჰიდრატებს.

აქ საჭიროა აღვნიშნოთ ის ფაქტი, რომ ჰიდროფილიზაციას იწვევენ მხოლოდ წყლის მოლეკულები, რომლებიც განლაგებულია მასალის ზედაპირზე. შიდა ფენების მოლეკულები ზედაპირის ჰიდროფილიზაციას თითქმის არ ზრდიან. ეს დასტურდება შესაძლებლობით, მივიღოთ ველების ჰიდროფობული ზედაპირი ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებების

გამოყენებით, რომლებიც შეიცავენ წყლის მნიშვნელოვან ოდენობას 90%-დე. ამ სახის ველებში (ლაბა) სოლვატური წყალი ალბათ არათანაბრად განლაგებულია მოლეკულებს შორის და ძირითადად მოთავსებულია პოლარულ ჯგუფებთან.

წყლის შეღწევა ზედაპირულ და მის ქვეშ მყოფ ფენებში იწვევს დასველებადობის გაუმჯობესებას (ზრდას). ეს საკმაოდ გავრცელებული მოვლენაა და დამოკიდებულია, როგორც ზედაპირის ბუნებრივ თვისებებზე, ისე ზედაპირის მიკროსტრუქტურაზე და ფორიანობაზე. მაღალხარისხიანი ჰიდროფობული ზედაპირების ჰიდროფილიზაცია უნდა იყოს მინიმალური და არ უნდა კარგავდეს თავის ჰიდროფობულ თვისებებს წყალთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს. განსხვავებულად იქცევიან წყალთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს მყარი სხეულები, რომლის ზედაპირი ჰიდროფობიზირებულია ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებების ადსორბციით. კაჟბადორგანული ნივთიერებებით (ნაერთებით) ჰიდროფობიზირებული მასალები წყალში დიდი ხნის ყოფნის დროს ნაკლებად სველდებიან, ანუ მათი ჰიდროფობიზაციის ხარისხი უფრო მაღლდება. ჰიდროფობულობის ანალოგიური ზრდა შეიმჩნევა ამ მასალების ორგანულ გამხსნელებთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს. ეს მოვლენა იხსნება იმით, რომ წყალთან ან სხვა სახის გამხსნელებთან ხანგრძლივი კონტაქტის დროს წარმოიქმნება დესორბცია, შექცევადად სორბირებული (ქიმიურად არაფიქსირებული) ჰიდროფობიზატორის მოლეკულებთან, რომლებიც არიან განლაგებული ზედაპირთან ქიმიურად დაკავშირებული მონომოლეკულარულ შრის ზევით.

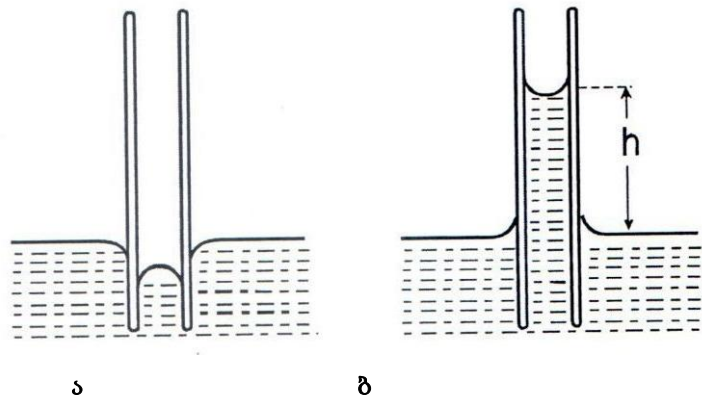
ამ მოვლენის გამო, ანუ როდესაც მონომოლეკულარული ფენა თხელდება და არ ირეცხება არც წყლით და არც გამხსნელით, იზრდება ჰიდროფობულობა. ის აღწევს მაქსიმუმს იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც მაკრანებელი მონოფენის თვისების მქონე შექცევადი სორბირებული მოლეკულები მთლიანად მოცილებულია [7].

შემდგომი დასველება იწვევს ჩვეულებრივ ჰიდროფობიზაციის დაქვეითებას წყლის მოლეკულების სორბციის ხარჯზე.

1.9 ფორიანი და ბოჭკოვანი მასალების კაპილარული

წყალშთანთქმა

ბევრ გამოსაყენებელ მასალას გააჩნია ან ბოჭკოვანი (ტექსტილი, ქაღალდი, მუყაო, მერქანი, ასბესტი) ან ფოროვანი (საშენი მასალების უმრავლესობა, გრუნტები და სხვა) სტრუქტურა. ამ სისტემის განხილვა შეიძლება ღია კაპილარების სისტემით, რომლებიც მისაწვდომია წყლის გადაადგილებისათვის, თუ ამასთან კაპილარის საშუალო რადიუსია r და მისი კედლები მთლიანად სველდება სითხით, რომელიც მასთანაა შეხებაში. მაშინ ეს სითხე, რომელიც ასველებს კაპილარის შიგა კედლებს, ქმნის მის შიგნით ჩაზნექილ მენისკს [7].



ნახაზი №1.3 წყლის დონე ჰიდროფობულ (ა) და ჰიდროფილურ (ბ) კაპილარებში ამგვარად მენისკი, რომელიც შექმნილია წყლის დონის ამოწეული ნაპირებით, წარმოქმნის კაპილარულ წნევას:

$$p = \frac{2\sigma}{r}$$

და იწვევს წყლის (სითხის) შთანთქმას კაპილარში h სიმაღლეზე. ეს დაწნევა იზომება უკუპროპორციულად კაპილარის რადიუსის მიმართ და თუ მისი დიამეტრი 1 მლმკ-ზე ნაკლებია, აჭარბებს ერთ ატმოსფეროს. კაპილარული წნევა სითხის დონეს აწევს იმ მომენტამდე, სანამ ის არ გაუტოლდება ამოსულ ჰიდროსტატიკურ წნევას, რომელიც ტოლია gdh (d სითხის სიმკვრივე, g სიმძიმის ძალის აჩქარება).

ამრიგად, თუ მივიღებთ, რომ წონასწორობის პირობებში კაპილარს აქვს ცილინდრული ფორმა, ვიღებთ:

$$gdh = \frac{2\sigma}{r}$$

აქედან კი ვიღებთ ფორმულას, რომელიც განსაზღვრავს კაპილარში სითხის ამოწვევის სიმაღლეს და რომელსაც გააჩნია აბსოლუტურად დასველებადი კედლები:

$$h = \frac{2\sigma}{r}$$

საჭიროა აღინიშნოს ის გარემოებაც, რომ წონასწორობა დამყარდება გარკვეული დროის მანძილზე და მით უფრო დიდხანს, რაც უფრო მცირეა ფორების რადიუსი. ეს გამოწვეულია იმით, რომ სითხის შეწოვა ძალიან წვრილ ფორებში საკმაოდ უმნიშვნელოა, რაც გამოწვეულია მაღალი ბლანდი წინაღობით და დგინდება ცნობილი პუაზეილის კანონი [7; 8].

როდესაც კაპილარების კედლების დასველებადობა მცირდება, კაპილარული წნევა იკლებს $\cos \Theta$ -ს პროპორციულად, რომლის მნიშვნელობა ყოველთვის ერთზე ნაკლებია თავისი აბსოლუტური სიდიდით:

$$p = \frac{2\sigma \cos \Theta}{r}$$

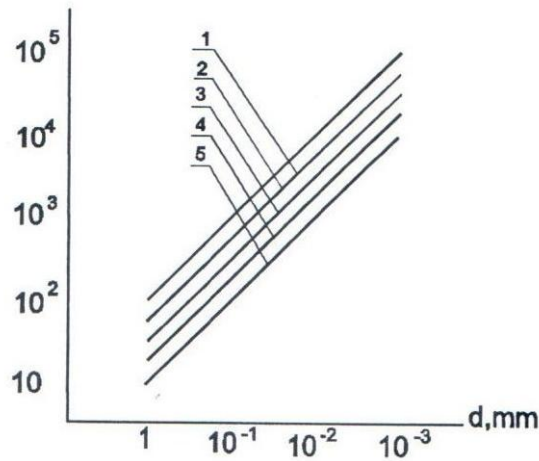
იმ შემთხვევაში, თუ კაპილარული დასველება არასრულია (ნაკლებია), კაპილარული ამოწვევის სიმაღლე გამოიხატება ჟიურენის ფორმულით:

$$h = \frac{2\sigma \cos \Theta}{gdr}$$

წყლისათვის ($\sigma=73$ დინ/სმ; $h=1$ გ/სმ³; $g=981$ სმ/წმ²) აქედან გამომდინარე ფორმულა იქნეს შემდეგ სახეს:

$$h = \frac{0.15 \cos \Theta}{r}$$

ანუ წყლის ამოწვევის სიმაღლე ფორებში უკუპროპორციულია მისი რადიუსის და პირდაპირპროპორციულია დასველების მახასიათებლისა $B = \cos \Theta$.



ნახაზი №1.4 კაპილარული წნევის (P) დამოკიდებულება ცილინდრული ფორმის დიამეტრზე (d) და დასველებადობის კუთხეზე (Θ) 1 – $\Theta = 0^\circ (180^\circ)$, 2 – $\Theta = 30^\circ (150^\circ)$, 3 – $\Theta = 60^\circ (120^\circ)$, 4 – $\Theta = 80^\circ (100^\circ)$, 5 – $\Theta = 85^\circ (95^\circ)$

ამრიგად, რაც უფრო მაღალია ფორიანი მასალის სასაზღვრო კუთხე, მით უფრო დაბალი კაპილარული შთანთქმით ხასიათდება ის. თუ $\Theta = 90^\circ$ (ბრტყელი მენისკი) სითხის კაპილარული აწევა არ განიხილება ($h=0$), ვინაიდან $\cos \Theta = 0$; თუ კი $\Theta > 90^\circ$ (ამობურცული მენისკი) სიდიდე $\beta = \cos \Theta$ იცვლის მაჩვენებელს და როგორც შედეგი, იცვლის მიმართულებას და კაპილარული წნევა ეწინააღმდეგება სითხის შეღწევას ფორებში, წარმოიქმნება „ანტიკაპილარული წნევა“.

ანტიკაპილარული წნევის დადგენა შეიძლება უშუალოდ ჰიდროსტატიკური წნევის გაზომვით, რომელიც აწონასწორებს მას და ფორების მოცემული რადიუსის დროს იწვევს სითხის შეღწევას კაპილარებში. ამის გამოთვლა შეიძლება შემდეგი ფორმულით:

$$\rho = \frac{\sigma S \cos \Theta}{\delta}$$

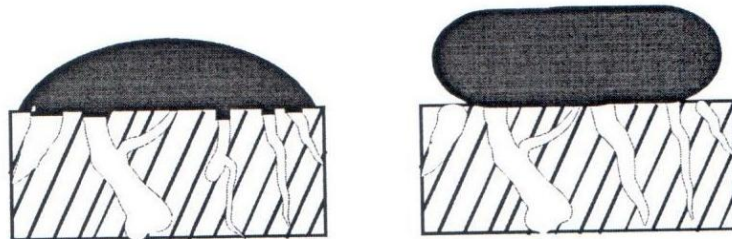
სადაც S – ხვედრითი ზედაპირია (სმ²);

δ - ფორიანობა, რომელიც გამოისახება ერთეულის ნაწილებში.

ამ ფორმულით გამოსახული ანტიკაპილარული წნევის აბსოლუტური სიდიდე შეიძლება მივიღოთ ჰიდროფობურობის მაჩვენებლად ფორიანი მასალებისათვის თუ კი $\Theta > 90^\circ$.

ანალოგიურ დასკვნამდე შეიძლება მივიდეთ, თუ უშუალოდ დავაკვირდებით წყლის წვეთს მოთავსებულს ფორიანი სხეულის

ზედაპირზე. თუ სხეულის ზედაპირის დასველებადობის კუთხე (ფორების კედლების ჩათვლით) 90° -ზე მეტია (ნახაზი №1.15 ა), მაშინ წვეთის ქვედა ზედაპირი, რომელიც განლაგებულია ღია ფორების თავზე და არ შეეხება მყარ ნაწილაკებს, იქნება განლაგებული მყარი სხეულის ზედაპირზე ზევით. იმისათვის, რომ წყალმა გაიაროს ფორებში, საჭიროა საკმაოდ მაღალი წნევა, რაც საჭიროა მაღალი სიმრუდის მქონე თხევადი ზედაპირის გადასალახავად, მით უფრო მაღალი, რაც უფრო ნაკლებია ფორების სიდიდე და რაც უფრო ბლაგვია სასაზღვრო კუთხე. თუ ფორიანი სხეული ჰიდროფილურია ან თუ $\Theta < 90^\circ$ (ნახაზი №1.15 ბ), მაშინ ფორების კედლების დასველება იწვევს სითხის შიგ შეღწევას. ამ შემთხვევაში კაპილარული წნევა ჯამდება თვით სითხის ჰიდროსტატიკურ წნევასთან, რომელიც დგინდება წვეთის სიმაღლით ან სითხის სისქით h (თუ $\Theta > 90^\circ$), ჰიდროსტატიკური წნევა ეწინააღმდეგება უკუკაპილარულს.



ა

ბ

ნახაზი №1.5 წყლის წვეთი განლაგებული მყარი სხეულის ზედაპირზე ზევით (ა) და წყლის წვეთი განლაგებული მყარი სხეულის შიგნით (ბ)

უკუკაპილარული წნევის არსებობა ჰიდროფობიზირებული მასალის ფორებში მოწმობს იმას, რომ წყალდამცავი საფარის ტერმინი იძენს რეალურ ფიზიკურ შინაარსს. ამ წნევის გამო ჰიდროფობული ფორიანი მასალები რჩებიან აირგამტარნი და გაუმტარნი წყლისათვის საკმაოდ მაღალი ჰიდროსტატიკური წნევის დროსაც კი. წნევა, რომლის მოქმედების დროს წყალი იწყებს გაჟონვას ჰიდროფობიზირებულ მასალებში ისაზღვრება ძირითადად ფორების სიგანით, ვინაიდან არსებული წყალამრიდი დაფარვები ხასიათდებიან ჰიდროფობურობის თანაბარი ხარისხით ($90^\circ < \Theta < 110^\circ$). მაგალითად, ჰიდროფობიზებულ მასალამ, რომლის ფორების

ზომები დაახლოებით 10 მკმ-ა, შეუძლია წინააღმდეგობა გაუწიოს დატვირთვას 1/3 ატმ, ანუ გაუძლოს, შეწოვის გარეშე წყლის ჭავლს 3 მ-მდე. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ყველაზე ძლიერი წვიმა გრიგალის თანხლებით ქმნის დაახლოებით 20-40 სმ ჭავლის ჰიდროსტატიკურ წნევას, ნათელია, რომ საშენი მასალების ჰიდროფობიზაცია საკმაოდ საიმედოდ იცავს მათ წყლის შიგნით შეღწევისაგან. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, თუ მასალაზე მოქმედი წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა აღემატება ანტიკაპილარულს (მაგალითად, თუ ჰიდროფობიზირებული მასალის ზედაპირის თავზე არსებობს წყლის სქელი ფენა), ყველა ფორის წყლით შევსების შემდეგ წარმოებს ფილტრაციის პროცესი, რომელიც შეიძლება მიმდინარეობდეს უფრო ადვილად, ანუ უფრო დაბალი შეღწევადობის კოეფიციენტით, ვიდრე ჰიდროფილურ მასალებში.

ეს მოვლენა განპირობებულია იმით, რომ ჰიდროსტატიკური მასალები ახდენენ წყლის სორბციას რომელიც აღწევს ფორების ზედაპირის წვრილ დეფექტებშიც კი. მოვლენას, რომელიც გამოწვეულია წყლის სორბაციით, მიჰყავს ფორების ზომები შემცირებისაკენ და აგრეთვე იწვევს პეპტიზაციას და განცხრილვას, რის შედეგადაც ზედაპირს მოეხლიჩება პატარ-პატარა ნაწილაკები, რომლებიც ქოლავენ ფორებს. ასეთი მოვლენები ჰიდროფობიზირებულ მასალებს ახასიათებს ან ძალიან უმნიშვნელოდ, ან სულ არ გააჩნია.

ამ მოვლენების პრევენცია შესაძლებელია დანამატების საშუალებით. ქვემოთ გთავაზობთ საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე გამოყენებულ რამდენიმე დანამატის სახეობას.

1.10 ქსაიპექს ადმიქს ც-1000

კანადური კომპანია Xypex Chemical Corporation აწარმოებს მაღალი ხარისხის კრისტალიზაციის ტექნოლოგიურ ჰიდროსაიზოლაციო მასალას Xypex-ს. იგი პოპულარულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს 170-ზე მეტ ქვეყანაში. Xypex-ით შესრულებულია ჰიდროსაიზოლაციო სამუშაოები ისეთ ცნობილ შენობა-ნაგებობებში როგორცაა პანამის არხი, MARBLE HILL ატომური ელექტრო სადგური (ა.შ.შ) WOLSUNG ატომური ელექტრო სადგური (კორეა), NASA-ს (ა.შ.შ-ს კოსმოსის სააგენტო) ასტრონავტების საწვრთნელი აუზები, სიდნეის ოპერის თეატრი, Microsoft-ის ოფისი, აზიის განვითარების ბანკი, ვაშინგტონის, პარიზის, სან პაოლოს, ბუენოს აირესის, ინსტამბულის, ანკარას, ვარშავას, შანხაის, მეხიკოს მეტროპოლიტენის გვირაბები და სადგურები. შვეიცარია, ბულგარეთი, ირანი, ვიეტნამი და სხვა ქვეყნებში კაშხლები და გვირაბები [21; 22].

1.11 კალმატრონი

სამშენებლო დამანატი Kalmatron-ი ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მრავალ სამშენებლო ინდუსტრიაში. მას გააჩნია ბიოციდური თვისებები და გამოიყენება კვების მრეწველობაში, სასმელი წყლის საცავებში, საცურაო აუზებში, ასევე ფუძე-სადირკვლებში, მიწისქვეშა ავტოფარეხებში, წყალსაცავებში, აუზებში, სარდაფებში, სველ წერტილებში, ბრტყელ გადახურვებში, აივნებში, გვირაბებში, კაშხლებში და ა.შ [21; 23].

1.12 პენეტრონ ადმიქსი

პენეტრონის ისტორია საქართველოში ფაქტიურად 2007 წლის აგვისტოში დაიწყო, როდესაც შემოტანილ იქნა პენეტრონის ჯგუფის მასალების პირველი პარტია. უფრო ადრე კი ივლისში შეიქმნა შპს „ჰიდროსაიზოლაციო ტექნოლოგიები“, რომელიც გახდა კომპანიათა ჯგუფ „პენეტრონ-როსიას“ ოფიციალური წარმომადგენელი საქართველოში.

„პენეტრონ-როსია“ თავის მხრივ ამერიკულ კომპანია "ICS/Penetron International ltd"-გან ფლობს პენეტრონის ჯგუფის მასალების წარმოების და გავრცელების ექსკლუზიურ უფლებას მთელს ევრაზიულ სივრცეში. იგი გამოიყენება ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში [21; 24].

**სხვადასხვა დანიშნულების ბეტონის ნარევისათვის გამოსაყენებელი
პლასტიფიკატორები, სუპერპლასტიფიკატორები და დანამატები**

ცხრილი №1.3

დასახელება	გამოყენების სფერო
PENETRON	ბეტონის სტრუქტურის როგორც ძველის, ისევე ახლის ზედაპირზე წასასმელი (იხსნება წყალში და არ აქვს მნიშვნელობა რომელ მხარეს წაესმევა შიგნით თუ გარეთ) მასალაა, რომელიც ბეტონს ანიჭებს წყალგაუმტარობას. იგი შედგება პორტლანდცემენტისგან, გარკვეული გრანულომეტრიის კვარცის ქვიშისა და აქტიური ქიმიური კომპონენტებისაგან. გამოყენების სფერო: საძირკვლის ფილები და კედლები, გვირაბები და მიწისქვეშა ნაგებობები, ავტოფარეხები, ხიდები და სხვა.
PENETRON PLUS	ბეტონის სტრუქტურის როგორც ძველის, ისევე ახლის ზედაპირზე წასასმელი (იხსნება წყალში და არ აქვს მნიშვნელობა რომელ მხარეს წაესმევა შიგნით თუ გარეთ) მასალაა, რომელიც ბეტონს ანიჭებს წყალგაუმტარობას. იგი შედგება პორტლანდცემენტისგან, გარკვეული გრანულომეტრიის კვარცის ქვიშისა და აქტიური ქიმიური კომპონენტებისაგან. გამოყენების სფერო: საძირკვლის ფილები და კედლები, გვირაბები და მიწისქვეშა ნაგებობები, ავტოფარეხები, ხიდები და სხვა. ფერი: ნაცრისფერი დოზა: ორ ფენად 0.65-0.80 კგ/მ ²
PENECRETE MORTAR	ახლად დასხმული ბეტონისთვის გამოიყენება ჰორიზონტალური ზედაპირებზე. ანიჭებს ბეტონს მაღალ ჰიდროიზოლაციას, ხდის ცვეთამდედგ, წყალგაუმტარს, ზრდის სიმტკიცეს. იგი შედგება პორტლანდცემენტისგან, გარკვეული გრანულომეტრიის კვარცის ქვიშისა და აქტიური ქიმიური კომპონენტებისაგან. გამოყენების სფერო: საძირკვლის ფილები და კედლები, გვირაბები და მიწისქვეშა ნაგებობები, ავტოფარეხები, ხიდები და სხვა. დოზა: 0.5 კგ/მ ² .
PENETRON ADMIX	ერევა ბეტონის ნარევის გამოყენების წინ. იგი შედგება პორტლანდცემენტისგან, გარკვეული გრანულომეტრიის კვარცის ქვიშისა და აქტიური ქიმიური კომპონენტებისაგან. ბეტონი ხდება წყალგაუმტარი, დაცული აგრესიული გარემოს მიმართ, მედეგი ეკოლოგიური პირობების ცვლილების მიმართ. დოზა: 0.8% ცემენტის მასის.
KALMATRON F	გამოიყენება ბეტონის რთული პრობლემატური ადგილების დასამუშავებლად. დოზა: 10 კგ/მ ³ .
KALMATRON E	გამოიყენება ბეტონის ალდგენითი სამუშაოების წარმოებისას: წყლის გაჟონვის, ნესტის და სოკოს საწინააღმდეგოდ და ახლად დასხმული ბეტონის დუღაბის დასაცავად. დოზა: 10 კგ/მ ³ .
KALMATRON D	ხდის ბეტონს წყალგაუმტარს, ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს, ყინვაგამძლეობას, აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგობას. დოზა: 10 კგ/მ ³ .
Xypex Admix	ფხვნილის სახით ერევა წყალს ბეტონის დასხმამდე, შემდეგ ერევა ნარევი და ირევა 5-6 წუთის განმავლობაში. ხდის ბეტონს წყალგაუმტარს, ზრდის სიმტკიცეს, ყინვაგამძლეობას, აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგობას და. ა.შ. დოზა: 1.5 % ცემენტის მასის.

isomat	
PLASTIPROOF A ტიპის პლასტიფიკატორი ბეტონის ჰიდროიზოლაციისთვის	გამოიყენება ბეტონის მოსამზადებლად დაბალი წყალშთანთქმის და ფიზიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად. ფერი: მუქი ყავისფერი. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 0.2-0.5 კგ.
BEVETOL-RD G ტიპის სუპერპლასტიფიკატორი ნელამყარებადი ბეტონისათვის	გამოიყენება ნელამყარებადი ბეტონის მოსამზადებლად (ASTM C-494: ტიპი A, D და G, ELOT EN 934-2: T11.1 და T11.2). ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს. ფერი: მუქი ყავისფერი. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 0.2-0.8 კგ.
BEVETOL-SPL G ტიპის სუპერპლასტიფიკატორი ნელამყარებადი ბეტონისათვის	გამოიყენება ნელამყარებადი ბეტონის მოსამზადებლად (ASTM C-494 ტიპი A, D და G, ELOT EN 934-2: T11.1 და T11.2). ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს, ამცირებს წყლის ხარჯს, რითაც იზრდება საბოლოოდ ბეტონის სიმტკიცე. ფერი: მუქი ყავისფერი. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 0.6-0.8 კგ. მცირე დოზა გამოიყენება როგორც პლასტიფიკატორი.
ADIUM 110 სუპერპლასტიფიკატორი ფართო გამოყენებისთვის	წარმოადგენს თხევად სითხეს პოლიკარბონატის ეფექტით ეფუძნება ELIOT (ბერძნული სტანდარტი) EN 934-2: T3.1 და T3.2. ამცირებს წყლის ხარჯს 20 %-ით. ზრდის ბეტონის ნარევის დენადობას (სიხისტე). ფერი: ღია ყავისფერი. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 0.60-1.40 კგ.
ADIUM 130 სუპერპლასტიფიკატორი გამოიყენება ბეტონის ტრანსპორტირებისას	წარმოადგენს თხევად სითხეს პოლიკარბონატის ეფექტით ეფუძნება ELIOT (ბერძნული სტანდარტი) EN 934-2: T3.1 და T3.2. ამცირებს წყლის ხარჯს 20 %-ით. ზრდის ბეტონის ნარევის დენადობას (სიხისტე). გამოიყენება ხანგრძლივ მანძილზე ბეტონის ნარევის ტრანსპორტირებისას და ინარჩუნებს კონუსს. ფერი: მუქი ყავისფერი. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 0.35-0.70 კგ.
BEVETOL-VZ ნელამყარებადი ბეტონისთვის	გამოიყენება ნელამყარებადი ბეტონის მოსამზადებლად (ASTM C-494 ტიპი B, ELOT EN 934, ELOT EN 934-2:T8). ზრდის ბეტონის ნარევის დენადობას და აუმჯობესებს მის ფიზიკურ თვისებებს. გამოიყენება ხანგრძლივ მანძილზე ბეტონის ნარევის ტრანსპორტირებისას. ფერი: მუქი ყავისფერი. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 0.2-0.4 კგ.
RETADOL ნელამყარებადი პლასტიფიკატორი	გამოიყენება ნელამყარებადი ბეტონის მოსამზადებლად (ASTM C-494 ტიპი D, ELOT EN 934-2:T10). ზრდის ბეტონის ნარევის დენადობას და აუმჯობესებს მის ფიზიკურ თვისებებს. გამოიყენება ხანგრძლივ მანძილზე ბეტონის ნარევის ტრანსპორტირებისას. ფერი: მუქი ყავისფერი. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 0.2-0.3 კგ.
ADINOL-RAPID 2H სწრაფმყარებადი ბეტონისათვის	გამოიყენება სწრაფმყარებადი ბეტონის მოსამზადებლად (ELOT EN 934-2:T7). უზრუნველყოფს სიმტკიცის ადრეულ ზრდას, რაც არ მოქმედებს მის საბოლოო სიმტკიცეზე. ასეთი მეთოდი აჩქარებს ბეტონირების პროცესს. მოხმარების წესი: 100 კგ ცემენტზე 1.0-2.0 კგ.
ADINOL-DM ჰიდროსაიზოლაციო დანამატი დულაბისთვის და არაარმირებული ბეტონებისთვის	გამოიყენება წყალშეუღწევადი დულაბებისა და ბეტონებისათვის. ფერი: მუქი ყვითელი. მოხმარების წესი: ცემენტის დულაბისთვის - 100 კგ ცემენტზე 1.0 კგ. ცემენტ-კირის დულაბის შემკვრელისთვის - 100 კგ ცემენტზე 1.0 კგ. ბეტონებისთვის - 100 კგ ცემენტზე 0.8 კგ.
ISOCURE წყალშემკავებელი ემულსია ახალი ბეტონისთვის	წყლის ემულსია იცავს ახალ ბეტონს სწრაფი ჰიდრატაციისაგან. ხელს უწყობს ბეტონში ნორმალურ ჰიდრატაციას და ხელს უშლის ბეტონში ბზარების წარმოქმნას. მოხმარების წესი: 0.15-0.20 კგ/მ ³ .
ISOCURE-A წყალშემკავებელი ემულსია ახალი ბეტონისთვის	წყლის ემულსია იცავს ახალ ბეტონს სწრაფი ჰიდრატაციისაგან. ხელს უწყობს ბეტონში ცემენტის ჰიდრატაციას და ხელს უშლის ბეტონში ბზარების წარმოქმნას. ფერი: თეთრი მოხმარების წესი: 0.15-0.20 კგ/მ ³ .
ФИБРА	პოლიპროპილენის ფიბრო სიგრძით 12 მმ გამოიყენება არმირვან ბეტონის ზედაპირზე და დულაბისათვის.

1.13 მსუბუქი პოლიმერლერბეტონის შექმნის

თეორიული საფუძვლები

ახალი მსუბუქი კონსტრუქციული მასალა, ფორიან შემცვლებზე დამზადებული მაღალი სიმტკიცის, მცირე დეფორმაციული და წყალშეუღწევი პოლიმერლერბეტონი შექმნილია XX საუკუნის 60-70-იან წლებში. პოლიმერლერბეტონის შექმნას საფუძვლად უდევს აკად. ნ. მუსხელიშვილის შრომები [9; 11] და ტ.მ.დ. ვ. ბალავადის [12] მიერ წამოყენებული და დამუშავებული ბეტონის ცოცვადობის ადსორბციული თეორია, რომელიც შემდგომში ტ.მ.დ. მ. ლორთქიფანიძის უშუალო მონაწილეობით გავრცელდა მყარ სხეულებზე. ეს თეორია ემყარება აკად. პ. რებინდერის სწავლებას დამაბულ მყარ სხეულებში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ადსორბციული გავლენის შესახებ.

აკად. პ. რებინდერის თეორია [10] მყარ სხეულებში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ადსორბციულ გავლენაზე იმაში მდგომარეობს, რომ დამაბულ მყარ სხეულში მიკრობზარების წარმოქმნასა და განვითარებას თან სდევს გახსნილი კედლები - ზედაპირები, რომლებიც თავისუფალი არიან მოლეკულათშორისი შეჭიდულობისაგან. შემდგომში მიკრობზარების გახსნილ ზედაპირზე, მათი შეერთების მწვერვალზე, იწყება ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ნაწილაკების (მოლეკულები, ატომები) მიზიდვა, რომლებიც ცდილობენ რა დაიკავონ არაკომპენსირებული ადგილები, ეკვრიან ზემოთხსენებულ ზედაპირებს, ისწრაფვიან მწვერვალისაკენ და წარმოქმნიან დამატებით ძაბვებს, დამატებულს გარე დატვირთვით გამოწვეულ ძაბვებზე. სწორედ ამის გამო ხდება მყარი სხეულის მიკრობზარებში, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მიერ გამხლეჩი მოქმედება, რაც საბოლოოდ მყარი სხეულის სიმტკიცის დაქვეითებას და დეფორმაციების გაადვილებას იწვევს. თუ გარე დატვირთვით გამოწვეული და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების გამხლეჩი მოქმედებით წარმოქმნილი ძაბვების ჯამი გადააჭარბებს მყარი სხეულის სიმტკიცის ზღვარს, მოხდება მყარი სხეულის რღვევა.

ყოველივე ეს ძალიან კარგად ჩანს აკად. ბ. რედიაგინის ცნობილ ცდაში: სოლით იხლიჩება მართკუთხა ქარსის ფირფიტა მისი დარჩილული ზედაპირის მხარეს, ფიქსირდება გახლეჩის სიგრძე და მის მწვერვალზე მიაქვთ მხოლოდ ერთი წვეთი წყალი, რის მოქმედების შედეგად გახლეჩის სიგრძე იზრდება 20-30%-ით.

დადგენილია, რომ ძაბვა წარმოქმნილი გახლეჩვის მწვერვალზე წყლის გამხლეჩი მოქმედებით (რომელიც ემატება სოლიდან წარმოქმნილ ძაბვას) განაპირობებს ფირფიტის გახლეჩის შესაბამის წაგრძელებას.

რეზინდერის ეფექტს, მყარი სხეულების სიმტკიცის კლებისა და დეფორმაციის გაადვილების ეფექტს, აქვს დიდი პრაქტიკული გამოყენება, კერძოდ მყარი მასივების დასანგრევად, გეოლოგიურ გათხრებში, ჭაბურღილების ბურღვისას და სხვა [10].

როგორც ცნობილია, მშრალი ბეტონი (ე.ი. ბეტონი, რომელშიც არ არის თავისუფალი წყალი), არ განიცდის ცოცვადობას, ხოლო ტენიანი ბეტონი განიცდის ინტენსიურ ცოცვადობას. ასევეა სხვა მასალებიც, რომელთა მიმართ წყალი ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებაა, მაგ. თაბაშირი, ქარსი, მინა, ქვა და ა.შ. მშრალ მდგომარეობაში არ განიცდიან, ხოლო ტენიან გარემოში კი განიცდიან ცოცვად დეფორმაციას [9]. ისეთი მასალა, როგორცაა ლითონი (ფოლადი), ჩვეულებრივ პირობებში (ნორმალური ტემპერატურის დროს), თუ მასზე არ მოქმედებს კონკრეტულად ამ მასალისათვის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება, კერძოდ წყალბადი, არ განიცდის ცოცვადობის დეფორმაციას, ხოლო წყალბადის მოქმედების დროს მუდმივ ტემპერატურაზე იგი ცოცავს.

ამგვარად თუ დამაბულ მასალაზე მოქმედებს ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება, მაშინ აკად. რეზინდერისა და მისი თანამშრომლების კვლევებით, ეს ნივთიერება მასალის მიკროზარებსა და მიკროწარმონაქმნებზე, ან უფრო სწორად მის ახალწარმოქმნილ ზედაპირზე ადსორბციულ მოქმედებას ახდენს, რაც ძირითადად დამაბული მასალის მიმართ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების გამხლეჩ მოქმედებაში

გამოიხატება. შესაბამისად წყლის ადსორბციული მოქმედება დაძაბულ ბეტონზე გამოიხატება მასში მიკრობზარებისა და მიკროწარმონაქმნების გახსნით, რაც ჩვენს წინაშე წარმოდგება ბეტონის დეფორმაციით დროში, ე.ი. ცოცვადობის სახით. ეს მოვლენა განსაკუთრებით ნათლად ვლინდება ცენტრალური გაჭიმვის დროს, თუმცა მას ადგილი მასალის ნებისმიერი დაძაბული მდგომარეობის დროსაც აქვს, გარდა ყოველმხრივი თანაბარი კუმშვისას. მაგალითად, ღერძული კუმშვის დროს მიკრობზარები და მიკროწარმონაქმნები თანდათანობით იხსნება, რომლებიც მოქმედი შემკუმშავი ძალების პარალელურად არიან ორიენტირებულნი, ე.ი. ადგილი აქვს განივ გაჭიმვას, რასაც საბოლოოდ გრძივი მიმართულებით მასალის ცოცვადობისაკენ მივყავართ.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების მოქმედების შედეგად დეფორმაციების გაადვილებას აქვს ადგილი, რაც თავის მხრივ სიმტკიცის ზღვარის ნაადრევ მიღწევას იწვევს. ფაქტიურად ეს არის რეზინდერის ეფექტი, რომელსაც ზოგჯერ მასალის სიმტკიცის ადსორბციული კლების ან დეფორმაციების ადსორბციული გაადვილების ეფექტს უწოდებენ.

ზემოთ აღნიშნულიდან ნათლად ჩანს, რომ ბეტონის ცოცვადობა არის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების გამხლეჩი მოქმედების შედეგი, როცა ბეტონი იმყოფება დაძაბულ მდგომარეობაში.

ბეტონის ცოცვადობის ადსორბციული თეორიის მთავარი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ბეტონის ცოცვადობა წყლის ადსორბციული მოქმედების შედეგად ხდება და ბეტონის მიკრობზარებზე მისი გამხლეჩი მოქმედებით გამოიხატება.

მრავალი ავტორის კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ განსაზღვრულ დაძაბულ მდგომარეობამდე წყლის ადსორბციის გავლენა დატვირთული მასალების მიკრობზარებსა და მიკროწარმონაქმნებში შექცევადი პროცესია. ცნობილია აგრეთვე, რომ მასალების ხანგძლივი წინაღობის ზღვრის მიღწევამდე მრავალი მასალა (მაგ. მინა, ქარსი, ხე და ა.შ.) მუდმივი დატვირთვის მოქმედებით, მხოლოდ დრეკად დეფორმაციას

განიცდის, ე.ი. განიცდის დროში შექცევად ცოცვად დეფორმაციას. პრაქტიკით და აგრეთვე სპეციალურად ჩატარებული ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ ბეტონის ცოცვალობა, თუ ძაბვა მასში არ აღემატება ხანგძლივ წინალობის ზღვარს, მიღევადია. ბეტონის დეფორმაციის მიღევადი ბუნების განსაზღვრისათვის, თუ კერძოდ როგორ დეფორმაციასთან გვაქვს საქმე, დროში შექცევად თუ შეუქცევადთან, მრავალ ავტორს აქვს ჩატარებული სპეციალური ექსპერიმენტული კვლევები.

ცნობილია, რომ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების გამხლენი მოქმედებას შექცევად მიკრობზარებში, მოლეკულური შეჭიდულობის ძალების დრეკადი მოქმედება ეწინააღმდეგება. ამავე დროს მოლეკულური შეჭიდულობის ძალები იზრდება, ვიდრე მოლეკულათა შორის დაშორება არ იქნება კრიტიკული. სხვაგვარად რომ ვთქვათ ზრდად ადსორბციულ ძალებს, ასევე ზრდადი მოლეკულური დრეკადი შეჭიდულობის ძალები ეწინააღმდეგება.

საბოლოოდ მოლეკულურ და ადსორბციულ ძალებს შორის ხდება გაწონასწორება იმ შემთხვევაში, თუ ბეტონში ძაბვა არ გადააჭარბებს მისი ხანგძლივი წინალობის ზღვარს ცოცვალობის დროს. ეს უზრუნველყოფს არა მარტო ცოცვადი დეფორმაციის ჩაქრობას, არამედ მის შექცევადობას დროში.

ამრიგად, თუ ბეტონზე მუდმივი დატვირთვის მოქმედების შედეგადაც ბეტონში აღძრული ძაბვა არ აჭარბებს ხანგძლივი წინალობის ზღვარს, მაშინ ბეტონის ცოცვადი დეფორმაცია დროში შექცევადი და მიღევადია.

ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ წყალგაქვნილი ბეტონის გაჭიმვის დეფორმაციის შეზღუდვით (არმირებით ან ხახუნით) ბეტონის სიმტკიცე გაცილებით იზრდება, ვიდრე მშრალი ბეტონისა. ამ დებულებას დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროტექნიკური რკინაბეტონის ნაკეთობებისათვის.

როგორც ადრე აღვნიშნეთ, ბეტონის შექცევადი ცოცვადობის ძირითადი მიზეზია წყლის ადსორბციული გავლენა, ბეტონის ბზარებსა და მიკრობზარებში წყლის გამხლეჩი მოქმედებით გამოხატული.

როგორც წესი, მსუბუქი ბეტონი დამზადებულია მსუბუქ ფორიან შემვსებებზე, რომლებიც ატმოსფეროდან ყველა შემთხვევაში შთანთქავენ წყალს, თუ სპეციალურად არ არის იგი გამომშრალი. აქედან გამომდინარე, ბეტონის მსუბუქი შემვსებების მუდმივი ტენიანობა მათთვის დამახასიათებელია და იგი მიჩნეულია ბუნებრივ მდგომარეობად. წყალი მსუბუქი ბეტონის მსუბუქი შემვსებებისათვის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებაა, ამიტომ რეზინდერის ეფექტის მიხედვით, ფორიანი შემვსებები ყოველთვის განიცდიან წყლის გამხლეჩ მოქმედებას, რაც მათ სიმტკიცეს ამცირებს და აიოლებს დეფორმაციებს. ფორიან შემვსებებზე წყლის ადსორბციულ - გამხლეჩი მოქმედების ზრდას ხელს უწყობს ის ფიზიკური მოვლენები, რომლებიც აკად. ნ. მუსხელიშვილის თეორიის საფუძველზე უნდა ვლინდებოდეს ბეტონში. ბრტყელი ამოცანების (შესუსტებული ხვრელებით და მათში მოთავსებული ან დარჩილული ბირთვებით ან მათ გარეშე) დამაბული მდგომარეობის გადაწყვეტისას აკად. ნ. მუსხელიშვილი თავის შრომებში მიუთითებდა იმ ფიზიკურ მოვლენებზე, რომლებიც შესაძლებელია მივუსადაგოთ ბეტონს და ავხსნათ მასში მიმდინარე პროცესები, კერძოდ აკად. ნ. მუსხელიშვილი ბრტყელ ამოცანას შემდეგნაირად განიხილავდა:

1. ფირფიტის ხვრელში უბრალოდ ჩადებული ბირთვი არ იწვევს ხვრელის გარშემო მაქსიმალური დამაბულობის შემცირებას;
2. ბირთვი იმავე მასალისაგან, რაც ფირფიტა, დარჩილული ფირფიტის ხვრელში, შთანთქავს მაქსიმალურ დამაბულობას და ფირფიტა მუშაობს როგორც უწყვეტი სხეული;
3. დარჩილული ბირთვის სიხისტის გაზრდით ფირფიტაში ძაბვათა კონცენტრაცია კლებულობს, ხოლო რაც უფრო ვიწროა ბირთვი, მით მეტია მასში დამაბულობა;

4. ხისტი ბირთვის ფართობის გაზრდით მცირდება დაძაბულობა როგორც ბირთვში ისე ფირფიტაში;

5. შეიძლება შეირჩეს ისეთი საკმაოდ ხისტი ბირთვი, რომ ხვრელიან ფირფიტაში დაძაბულობა იყოს გაცილებით ნაკლები, ვიდრე უწყვეტ ფირფიტაში.

ეს დებულებები გ. სავინის ნაშრომში დაყვანილია რიცხობრივ შედეგებამდე. ზემოთქმული საშუალებას გვაძლევს, რომ ბეტონი წარმოვიდგინოთ როგორც ცემენტის ქვა, რომლის სიცარიელებში დარჩილია შემვსებები. ცხადია რაც უფრო სუსტია შემვსებები, მით ნაკლებია დაძაბულობა მასში და მით მეტია ძაბვის კონცენტრაციის გავლენა ცემენტის ქვაში და პირიქით. აქედან გამომდინარე, დაძაბულ ბეტონში დაძაბულობის შემსუბუქებისა და შემვსების სიმტკიცის კლების ერთ-ერთი მთავარი მიზეზი არის შემვსებისა და ცემენტის ქვის კონტაქტის ზონაში ძაბვის კონცენტრაცია, რომლის მაქსიმალური საშიში მნიშვნელობა მუშა კვეთის კონტურზე, გამჭიმავი ძალების პერპენდიკულარულად წარმოიქმნება. თუ ეს მოვლენა მძიმე ბეტონისათვის არ წარმოადგენს საშიშროებას მისი შემვსების მაღალი სიმტკიცის, მცირე დეფორმაციულობის და წყალშეუღწევადობის გამო, მსუბუქი ბეტონის ფორიანი შემვსებისათვის ამ მოვლენას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს, რადგან შემვსების საშიში მუშა კვეთის კონტურზე მოქმედი მაქსიმალური ძაბვა, შემვსებებში მიკრობზარების წარმოქმნას იწვევს, მათში იწყება წყლის გამხლეჩი მოქმედების ზრდა, რაც შემვსებისა და საერთოდ მსუბუქი ბეტონის სიმტკიცის დაქვეითებას და ცოცვადობის გაზრდას იწვევს. აქედან გამომდინარე, მსუბუქი ბეტონის სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის თავისებურებები წყლის ძლიერი ადსორბციული მოქმედების შედეგია.

ცნობილია, რომ მსუბუქი ბეტონი ლითოიდურ პემზაზე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით მძიმე ბეტონებს უახლოვდებიან. იმის გამო, რომ მათი შემვსებების ფორები ნაწილობრივ ჩაკეტილია, ნთქავენ გაცილებით

ნაკლებ წყალს, ამიტომ ამ ბეტონებს ნაკლებად აქვთ გამოხატული მსუბუქი ბეტონისათვის დამახასიათებელი თვისებები.

როგორც ზემოთქმულიდან ჩანს, მაღალი სიმტკიცის, მცირე დეფორმაციული და წყალშეუღწევადი მსუბუქი ბეტონის მისაღებად საჭიროა, რომ მსხვილი შემვსები, გარდა სხვა თანაბარი პირობებისა, იყოს მედეგი და მშრალი, ე.ი. არ შეიცავდეს და არ შთანთქავდეს წყალს. ყოველივე ამის დაცვა შესაძლებელია აფუებადი მასალების (მაგ. ნაცარმიწა, თიხა, ფიქალი) თერმული დამუშავებით ან მშრალი ფორიანი შემვსების დაფარვით მაღალი სიმტკიცის თხევადი პოლიმერული მასალებით, ან კიდევ შემკვრელად თხევადი გოგირდის გამოყენებით, რომლებიც გარდა იმისა, რომ ზრდიან შემვსების სიმტკიცესა და წყალშეუღწევადობას, უზრუნველყოფენ ერთ შემთხვევაში შემვსების, ცემენტის ქვასთან შეჭიდულობის გაზრდას, ხოლო მეორე შემთხვევაში შემვსებების ერთმანეთთან უწყლო შეჭიდულობას, რაც თავის მხრივ ხელს უწყობს შესაბამისი ბეტონების სიმტკიცის მატებას.

ამ გზით, აკად. ნ. მუსხელიშვილის თეორიის სრული შესაბამისობით, სავსებით შესაძლებელია მაღალი სიმტკიცის, წყალშეუღწევადი, აგრესიული გარემოს მიმართ მდგრადი ბეტონი მივიღოთ.

1.14 შენახვის პირობების გავლენა პოლიმერლიჩობეტონის სიმტკიცეზე და დეფორმაციაზე

როგორც ყველა ბეტონი, ასევე პოლიმერლიჩობეტონის სიმტკიცეც მატულობს დროთა განმავლობაში. ამ მიმართებით ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტალური ცდები შენახვის სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით [9; 11].

დამზადდა 96 ბეტონის კუბი, ზომებით 10X10X10 სმ. მათ შორის 33 ცალი მიმიე ბეტონის, 33 ცალი პოლიმერლიჩობეტონის, 15 ცალი ტუფობეტონის და 15 ცალი მსუბუქი პოლიმერლიჩობეტონის. აღნიშნული

ბეტონის შემადგენელი მასალები და შედგენილობები მოყვანილია ცხრილში №1.4:

პოლიმერლექობეტონის შემადგენელი მასალები და შედგენილობები
ცხრილში №1.4

№	ბეტონის სახე	1მ ³ ბეტონის შედგენილობა						წყალცემენტის ფარდობა	დგრადობა „სტრონიცილის“ კონსოლი	ვიბრაცია, წმ
		ცემენტი, კგ	ღორღი (5-20), მმ	ქვიშა (0-5) მმ,კგ	წყალი, ლ	ჰა-5	გამამყარებელი			
1	მძიმე ბეტონი	300	1100	800	180	-	-	0.5	3	30
2	მძიმე პოლიმერბეტონი	300	1100	800	120	15	0,15	0.4	3	30
3	ტუფობეტონი	400	507	605	300	-	-	0.75	3	30
4	მსუბუქი პოლიმერლექობეტონი	400	507	605	160	30	0.3	0.4	3	30

შემკვრელად ყველა სახის ბეტონისათვის გამოიყენებოდა რუსთავის წიდაპორტლანდცემენტი მარკით 400. მძიმე ბეტონის შემსვებად გამოიყენებოდა წვრილი და მსხვილი შემსვებები წიწამურის კარიერიდან, მაქსიმალური სიდიდით 20 მმ, ხოლო მსუბუქი ბეტონის შემსვებებად წალკის საბადოს წვრილი და მსხვილი ტუფი, მაქსიმალური სიდიდით 20 მმ. დამზადდა კუბები ხის ყალიბებში ლაბორატორიულ ვიბრომაგიდაზე. განყალიბება მოხდა დამზადებიდან ორი დღე-ღამის შემდეგ. კუბების შენახვის პირობები შემდეგნაირი იყო:

1. მძიმე ბეტონის 33 კუბიდან 18 მოთავსებული იქნა წყალში, დანარჩენი 15 ბუნებრივ მშრალ გარემოში. 18 კუბიდან 3 კუბი 4 თვის განმავლობაში ინახებოდა წყალში, ხოლო 3 თვის განმავლობაში ბუნებრივ მშრალ გარემოში.

2. მძიმე პოლიმერლექობეტონის 33 კუბისათვის წინა შემთხვევის ანალოგიური შენახვის პირობები იყო.

3. მსუბუქი ბეტონისა და მსუბუქი პოლიმერლექობეტონის შენახვის პირობები იყო ბუნებრივი მშრალი გარემო.

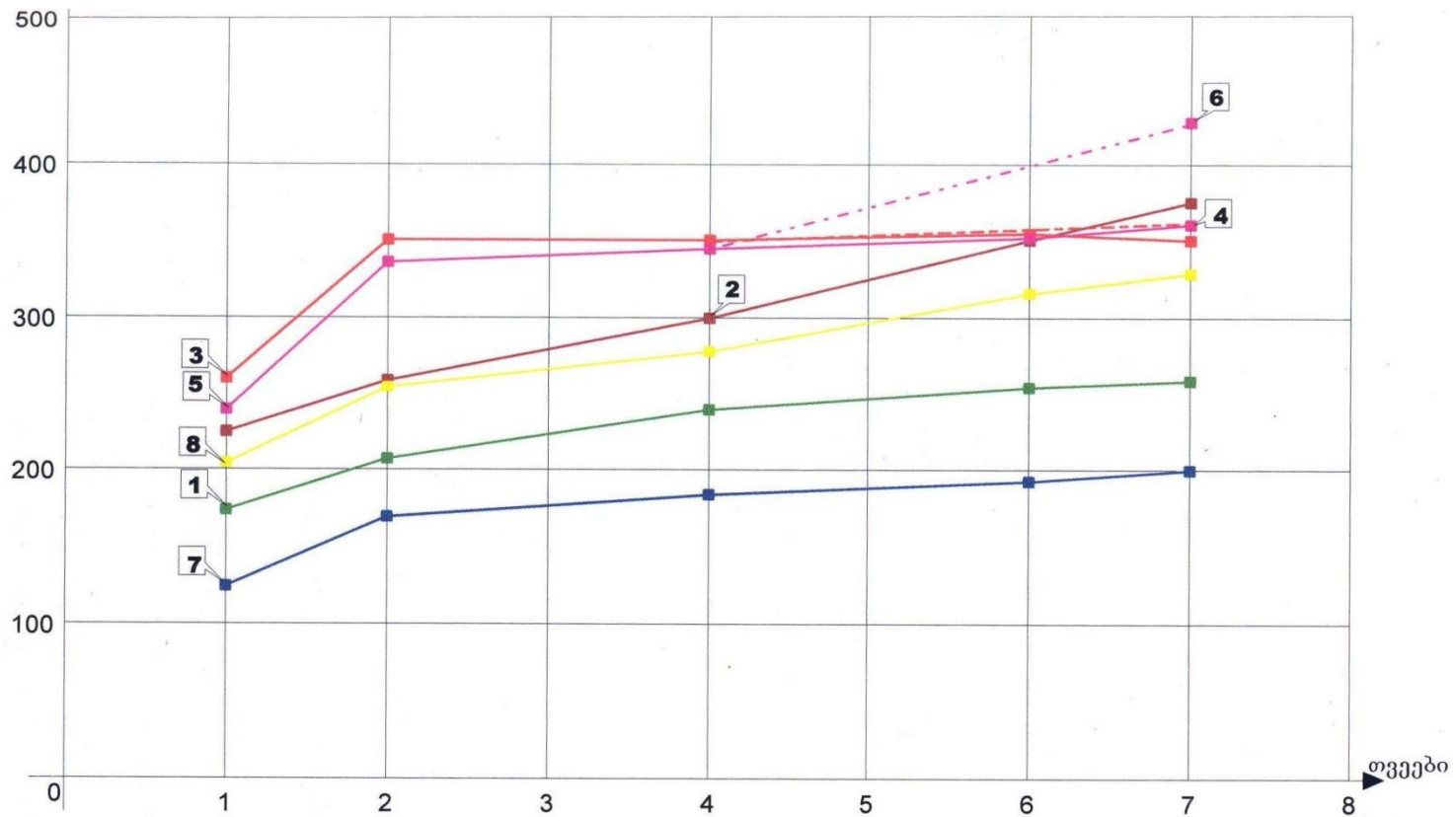
სიმტკიცის ზღვრის დასადგენად კუბები კუმშვაზე გამოიცადა ერთი, ორი, ოთხი, ექვსი და შვიდი თვის ასაკში. თითო სერიაში 3-3 კუბი. გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილში №1.5. ნახაზზე №1.4 აგებულია სხვადასხვა შედგენილობის და შენახვის პირობების მქონე ბეტონის, კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებელი მნიშვნელობის, დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

ცხრილი №1.5 ანალიზი შემდეგი სახის დასკვნების გაკეთების საშუალებას გვამლევს:

შენახვის პირობები პოლიმერლექობეტონის სიმტკიცეზე და დეფორმაციულობაზე მხოლოდ გამყარების სტადიაში (1-2 თვის ასაკში) ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას. პოლიმერლექობეტონის შენახვის უკეთესი პირობაა ბუნებრივად მშრალი გარემო, ხოლო უარყოფითად მოქმედებს წყალში შენახვა (რადგან წყალი ხელს უშლის პოლიმერის გამყარებას). კომბინირებული შენახვა (4 თვე წყალში და 3 თვე ბუნებრივ-მშრალ გარემოში) სიმტკიცის ზრდას იწვევს. პოლიმერლექობეტონის შემდგომის სიმტკიცე არსებით გავლენას არ ახდენს პოლიმერლექობეტონის საბოლოო სიმტკიცეზე. ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონისა და მსუბუქი პოლიმერლექობეტონის სიმტკიცეებს შორის სხვაობა უმნიშვნელოა.

შენახვის პირობების გავლენა ბეტონისა და პოლიმერლერბეტონის სიმტკიცეზე

№	ბეტონის სახე, შენახვის პირობები	ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი ასაკის მიხედვით																			
		1 თვის				2 თვის				4 თვის				6 თვის				7 თვის			
		R ₁	R ₂	R ₃	R _{საშ}	R ₁	R ₂	R ₃	R _{საშ}	R ₁	R ₂	R ₃	R _{საშ}	R ₁	R ₂	R ₃	R _{საშ}	R ₁	R ₂	R ₃	R _{საშ}
1	მძიმე ბეტონი ბუნებრივ-მშრალი	190	160	175	175	202	220	202	208	235	235	250	240	250	250	260	255	270	255	250	258
2	მძიმე პოლიმერლერბეტონი ბუნებრივ-მშრალი	225	215	235	225	268	243	268	258	285	302	315	300	355	325	365	350	365	370	390	375
3	მძიმე ბეტონი წყალში	265	250	265	260	341	352	357	350	345	350	355	350	358	354	358	355	340	350	360	350
4	მძიმე ბეტონი 4 თვე წყალში და 3 თვე ბუნებრივ-მშრალ გარემოში																	360	350	370	360
5	მძიმე პოლიმერლერბეტონი წყალში	245	245	230	240	328	329	344	336	337	346	352	345	365	347	359	352	350	360	370	360
6	მძიმე პოლიმერლერბეტონი 4 თვე წყალში და 3 თვე ბუნებრივ-მშრალ გარემოში																	430	423	430	428
7	მსუბუქი ბეტონი ბუნებრივ-მშრალ გარემოში	120	124	132	125	170	165	175	170	182	187	184	185	202	185	193	194	200	186	214	200
8	მსუბუქი პოლიმერლერბეტონი ბუნებრივ-მშრალ გარემოში	203	223	190	205	248	241	255		248	265	268		270	295	290		300	300	328	328



ნახაზი №1.6 კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებელი მნიშვნელობები სხვადასხვა შედგენილობის და შენახვის პირობების ბეტონისათვის:

1. მძიმე ბეტონი ბუნებრივ-მშრალ გარემოში; 2. მძიმე პოლიმერლექობეტონი ბუნებრივ-მშრალ გარემოში; 3. მძიმე ბეტონი წყალში; 4. მძიმე პოლიმერლექობეტონი წყალში; 5. მძიმე პოლიმერლექობეტონი წყალში; 6. მძიმე პოლიმერლექობეტონი 4 თვე წყალში და 3 თვე ბუნებრივ-მშრალ გარემოში; 7. მსუბუქი ბეტონი ბუნებრივ-მშრალ გარემოში; 8. მსუბუქი პოლიმერლექობეტონი ბუნებრივ-მშრალ გარემოში.

1.15 პოლისტიროლბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა

პოლისტიროლბეტონის მარკა ≥ 50 კგ/სმ²;

მოცულობითი წონა < 1600 კგ/მ³;

პოლისტიროლის გრანულები ზომით 1.5-3 მმ;

პოლისტიროლის მოცულობითი მასა 1.05 გრ/სმ³;

თბოგამტარობა $\lambda_{0.05} = 0.9$ $\lambda_{0.15} = 0.11$.

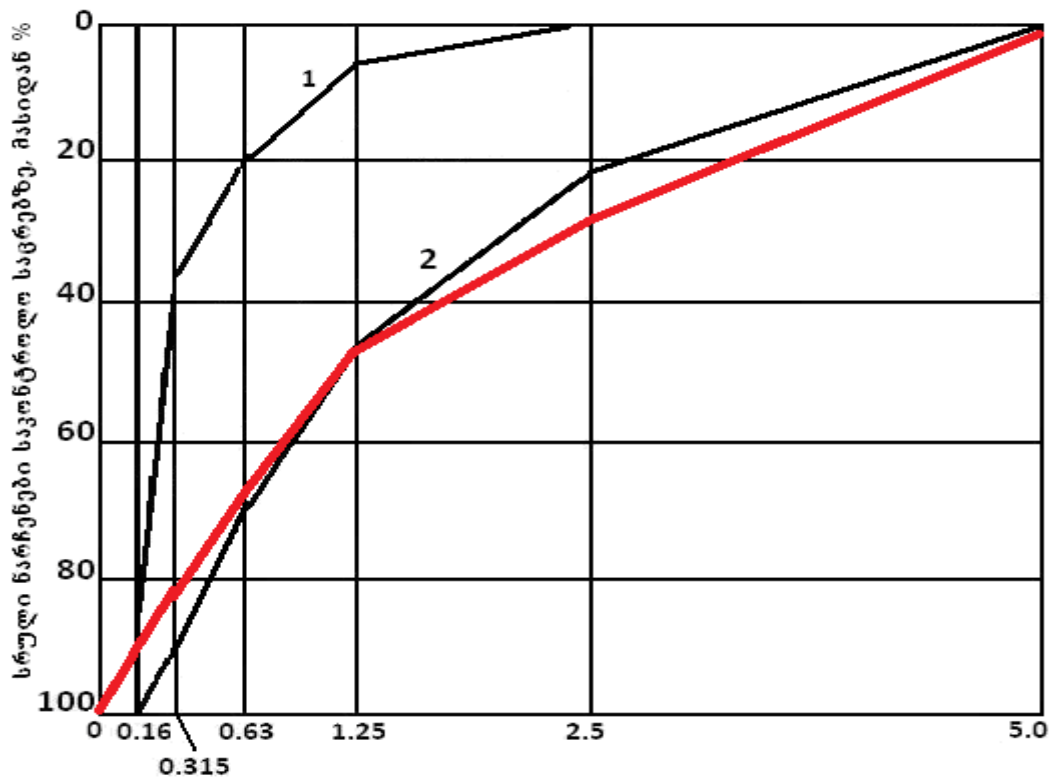
ბეტონის შემცველები:

ბუნებრივი მდინარის ქვიშა 0-5

მახასიათებლები	დასაშვები ნორმები	არსებული რაოდენობა
მტვრის შემცველობა-%	< 5	7.3
ჭეშმარიტი სიმკვრივე - გრ/სმ ³	~	2.4
ქვიშის ნაყარი მოცულობითი მასა- სიმკვრივე, კგ/მ ³	~	1513.1

გრანულომეტრიული ანალიზი

ქვიშაში ღორღის შემცველობა > 5 მმ = 3.2 %							
ტენიანობა T= 2.1 %							
ქვიშის ნიმუში m = 1520 გრ							
საგრის ზომა (მმ)	2.5	1.25	0.63	0.315	0.115	< 0.15	
კერძო (გრ)	430	305	286	243	145	111	
ნარჩენი (%)	28.3	20.1	18.8	16.0	9.5	7.3	
სრული ნარჩენი (%)	28.3	48.4	67.2	83.2	92.7	100	
ქვიშის სისხოს მოდული M_{ს.გ}=3.19							



ღორღი 5-10 მდინარის ხრეშიდან

მახასიათებლები	დასაშვები ნორმები	არსებული რაოდენობა
მტვრის შემცველობა-%	<1	0.43
ჭეშმარიტი სიმკვრივე - გრ/სმ ³	~	2.6
ღორღის ნაყარი მოცულობითი მასა - სიმკვრივე, კგ/მ ³	~	1366.45

გრანულომეტრიული ანალიზი:

ღორღის ნიმუში $m = 2010.3$ გრ

ტენიანობა $T = 0.6$ %

საგრის ზომები [მმ]	<1.0	1.0	1.4	2.8	5.6	8	11.2
გრამები	8.6	1.8	20.5	462.5	1251.6	261.7	3.6
კერძო ნარჩენი [% წონა.]	0.43	0.08	1.02	23.0	62.3	13.0	0.17

ცემენტი
ბეტონის მისაღებად გამოყენებული ცემენტი HEIDELBERGCEMENT

ცემენტის დუღაბის შედგენილობა

ნიმუში .№	ნიმუშის რაოდენობა	ცემენტის ხარჯი, გრ	ქვიშის ხარჯი, გრ	წყლის ხარჯი, მლ	წყ/ც	განთხვევის საშუალო დიამეტრი, მმ	ვიბრაცია, წთ	შენახვის პირობები	
								ჰიდრატული კურსის საკეტები აბაზანაში, სთ	წყლიან აბაზანაში, დღე
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	500	1500	200	0.4	112	3	24	2; 28

ცემენტის ძელაკების გამოცდა ღუნვაზე და კუმშვაზე

№	დასახელება	ღუნვა 2	ღუნვა 28		კუმშვა 2 დღე		კუმშვა 28 დღე			
		დღე	დღე							
	ნიმუშის ზომები, სმ	1	2		3		4			
1	სიმაღლე, h სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	სიგანე, α სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	განიკვეთის ფართობი, S სმ ²	---	---	---	16	16	16	16	16	16
3	მრღვევი დატვირთვა, PP კნ	2.9	5.1	4.6	33.83	28.90	70.23	63.51	69.09	70.75
4	სიმტკიცის ზღვარი, მპა	---	---	---	14.1	12.0	29.3	26.5	28.0	29.5
5	სიმტკიცის ზღვარი, კგ/სმ ²	33.93	59.67	53.82	143.67	122.28	298.56	270.03	285.32	300.60
6	სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებული მნიშვნელობა (ღუნვაზე ორი, ხოლო კუმშვაზე ოთხი უდიდესი შედეგიდან) კგ/სმ ²	33.93	56.74		132.97		288.62			

პოლისტიროლბეტონის შედგენილობა (1 მ³)

ცხრილი №1.6

ბეტონის ნარევის რეცეპტი	
ცემენტი (300 M) კგ	250 ≤
წყალი, ლიტრი	100
ქვიშა 0-5 მმ, კგ	307
ღორღი 5-10 მმ, კგ	680
პოლისტიროლი 40% მოცულობითი წონიდან, გრ	30-35
ცეოლიტი 10% ცემენტის მასიდან, კგ	25
მოცულობითი მასა, კგ/მ ³	1350-1400
წყალცემენტის ფარდობა	0.38-0.4
კონუსის ჯდენა	0-1 სმ

პოლისტიროლბეტონის შედგენილობა 1 მ³ ბეტონისთვის

შენიშვნა: რეცეპტი დაანგარიშებულია მშრალ ინერტულ მასალებზე

პოლისტიროლბეტონის ნიმუშების (10×10×10 სმ) გამოცდა სიმტკიცეზე

ცხრილი №1.7

ბეტონის საპროექტო კლასი: - შესაბამისი სიმტკიცე კუმშვაზე								
№	ფართობი სმ ²	მოცულობა სმ ³	წონა გრ	სიმკვრივე კგ/მ ³	ასაკი, დღე-ღამე	მრღვევი ძალა კნ	სიმტკიცე მპა	სიმტკიცე კგძ/სმ ²
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	1000	1629.9	1629.9	3	34.79	3.3	33.62
2	100	1000	1609.4	1609.4	7	51.09	4.9	49.93
3	100	1000	1611.2	1611.2	28	65.1	6.3	64.19

პოლისტიროლბეტონის გამოცდის დროს გამოირკვა მისი დემპირების უნარი, რაც გამოიხატა მათი 0.5 R_{ბრლ} დატვირთვისას ჯდენითი მნიშვნელოვანი დეფორმაციით და ამ დეფორმაციის ბოლომდე აღდგენით დატვირთვის

მოხსნის შემთხვევაში. პოლისტიროლბეტონის აღნიშნული თვისება სავარაუდოდ, შემდგომი კვლევების საფუძველზე, სიმტკიცის პირობის დაკმაყოფილების შემთხვევაში, შესაძლებლობას მოგვცემს გამოვიყენოთ იგი დინამიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე მომუშავე კონსტრუქციებში ერთ და ორ სართულიან შენობების საძირკვლებში.

თავი 2. ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია, დაგეგმვა და ჰიდროტექნიკური ბეტონისათვის მასალების შესწავლა

პირველ პარაგრაფში მოყვანილია ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია და დაგეგმვა.

რთული გეომეტრიული ფორმის კონსტრუქციული ელემენტების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი თანამედროვე საანგარიშო მეთოდების გამოყენებით ხშირ შემთხვევებში, გარკვეული სირთულეების გამო ვერ ხერხდება. ასეთი ამოცანების გადაწყვეტა შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებით. ასევე მხოლოდ ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებით არის შესაძლებელი სამშენებლო მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენა. ასეთი კომპლექსური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ექსპერიმენტული მეთოდებით შესრულებისას აუცილებელია სისტემური მიდგომა. პირველ რიგში დასაბუთებული უნდა იყოს ექსპერიმენტული გამოკვლევების აუცილებლობა და მეთოდიკა. შერჩეული უნდა იქნეს მოდელის დასამზადებელი მასალები, მოდელირების მასშტაბი და შესაბამისი აპარატურა. გამოყენებითი ხასიათის ამოცანებისათვის აუცილებელია ექსპერიმენტული სამუშაოს მიზნების შეთანხმება საკვლევ კონსტრუქციის თავისებურებებთან და ტექნოლოგიურ პროცესთან, რაც მოითხოვს კოორდინირებას კონსტრუქტორებთან და ტექნოლოგებთან. ექსპერიმენტული სამუშაოების მეთოდიკა უნდა ხასიათდებოდეს კარგი განმეორებადობით და საჭირო სიზუსტით [14].

ნებისმიერი ექსპერიმენტული გამოკვლევისას, ერთის მხრივ, საჭიროა დიდი რაოდენობის ცდების განხორციელება, მაღალი სიზუსტის მისაღწევად, მეორეს მხრივ, აუცილებელია მინიმალური დანახარჯებით და უმოკლეს დროში, ზუსტი შედეგების მისაღებად საკმარისი ცდების, ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად პრაქტიკაში, ამოცანის

სირთულის მიხედვით შეიძლება გამოყენებული იქნას ექსპერიმენტების დაგეგმარების როგორც სტატისტიკური და მათემატიკური მეთოდები, ასევე ე.წ. სრულფაქტორიანი ექსპერიმენტი და სიმპლექს დაგეგმარება. საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენის პროცესში, უმეტესად გამოიყენება გაზომვების შედეგების ნორმალური კანონით განაწილების ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად მიღებული მონაცემების გაზნევა განპირობებულია შერჩეული მეთოდის აუცილებელი ცდომილებით და კვლევის ობიექტის არაერთგვაროვნებით.

**მდგრადი დანამატიანი (ქსაიპექსადმიქსც-1000) ბეტონის ნიმუშების
გამოცდა სიმტკიცეზე**

ცხრილი №2.1

№	ნიმუში ნომერი	ასაკი დღე-ღამე	ზომები $a \times b \times h$ სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	მასა, M გრ	სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	მრღვევი დატვირთვა, P კნ	სიმტკიცე, მპა	სიმტკიცე, კგმ/სმ ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	28	10×10×10	100	1000	2303	2.303	496.74	47.2	480.96
2	2	28	10×10×10	100	1000	2325	2.325	515.14	48.9	498.29
3	3	28	10×10×10	100	1000	2320	2.320	485.63	46.1	469.75
4	4	28	10×10×10	100	1000	2301	2.301	522.83	49.7	506.44
5	5	28	10×10×10	100	1000	2323	2.323	455.17	43.2	440.20

ექსპერიმენტულად მიღებული (ცხრილი №2.1)

სიდიდეების x_1, \dots, x_n საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{5} (480,96 + 498,29 + 469,75 + 506,44 + 440,20) = \frac{2395,64}{5} = 479,12$$

სადაც x_i – ურინიმუმის მექანიკური მახასიათებელია;

n - გამოცდილი ნიმუშების რაოდენობა.

ცალკეული გაზომვების შემთხვევითი ცდომილების შეფასებისათვის, როგორც წესი გამოიყენება საშუალო კვადრატული გადახრის, იგივე საშუალო კვადრატული ცდომილების მნიშვნელობა:

$$\sigma \approx s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{5-1} (480,96 - 479,12)^2 + (498,29 - 479,12)^2 + (469,75 - 479,12)^2 + (506,44 - 479,12)^2 + (440,20 - 479,12)^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} (3,38 + 367,48 + 87,79 + 746,38 + 1514,76)} = \sqrt{\frac{2719,79}{4}} = \sqrt{679,94} = 26,07$$

სადაც, საშუალო კვადრატული გადახრა σ წარმოადგენს ზღვარს, რომლისკენაც მიისწრაფვის სიდიდე s ცდების უსასრულო რაოდენობისათვის $n \rightarrow \infty$.

მექანიკური მახასიათებლის საშუალო მნიშვნელობის \bar{X} გადახრის ალბათობა a მისი ჭეშმარიტი მნიშვნელობიდან X სიდიდით ΔX შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$p(\bar{X} - \Delta X < X < \bar{X} + \Delta X) = a$$

სადაც a – არის სანდო ალბათობა.

ექსპერიმენტების შედეგად საშუალო მნიშვნელობაზე \bar{X} დაყრდნობით დადგენილი ფიზიკურ-მექანიკური უცნობი პარამეტრის X -ს სიზუსტე ხასიათდება სანდო ინტერვალით, ხოლო მისი საიმედოობა სანდო ალბათობით. საინჟინრო გამოთვლებისათვის საკმარისი სიზუსტის უზრუნველსაყოფად მისაღებია $a = 0.9 \div 0.95$.

სანდო ინტერვალის არეს დასადგენად სიდიდე ΔX გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta X = \frac{s}{\sqrt{n}} t = \frac{26,07}{\sqrt{5}} * 2,78 = \frac{26,07}{2,23} * 2,78 = 32,49$$

სადაც t ე.წ. სტიუდენტის კოეფიციენტია და იგი დამოკიდებულია ცდების რაოდენობაზე n და მიღებულ სანდო ალბათობაზე a (ცხრილი №2.1):

სტიუდენტის კოეფიციენტები (t)

ცხრილი №2.2

დაკვირვებების რაოდენობა	სანდო ინტერვალი				
	0.50	0.90	0.95	0.98	0.99
2	1.00	6.31	12.71	81.82	63.66
3	0.82	2.92	4.30	6.96	9.92
4	0.77	2.35	3.18	4.54	5.84
5	0.74	2.13	2.78	3.75	4.60
6	0.73	2.01	2.57	3.65	4.03
7	0.72	1.94	2.45	3.14	3.71
8	0.71	1.90	2.36	2.97	3.50
9	0.71	1.86	2.31	2.90	3.36
10	0.70	1.84	2.26	2.76	3.25
15	0.69	1.76	2.14	2.60	2.98
20	0.69	1.73	2.09	2.53	2.86
30	0.68	1.70	2.04	2.46	2.76
60	0.68	1.67	2.00	2.39	2.66
120	0.68	1.66	1.98	2.36	2.62
∞	0.67	1.65	1.96	2.33	2.58

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$p\left(\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}}t < x < \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}}t\right) = a$$

$$479.12 - 32.49 < x < 479.12 + 32.49 = a$$

ცდების შედარებით მცირე რაოდენობის შემთხვევაში ($n < 20$) საშუალო კვადრატული ცდომილება საკმარისი სიზუსტით შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$s = \frac{\omega_n}{d_n} = \frac{66.24}{2.326} = 28.47$$

სადაც, $\omega_n = x_n - x_1 = 506.44 - 440.20 = 66.24$ წარმოადგენს ექსპერიმენტულად გაზომილ x სიდიდეების მაქსიმალურ სხვაობას, ხოლო კოეფიციენტი d_n დამოკიდებულია გაზომვების რაოდენობაზე და მისი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში №2.3:

ექსპერიმენტული სამუშაოების გაზომვების რაოდენობა

ცხრილი №2.3

n	d_n	n	d_n	n	d_n
2	1.128	8	2.847	14	3.407
3	1.693	9	2.970	15	3.472
4	2.059	10	3.078	16	3.532
5	2.326	11	3.173	17	3.588
6	2.534	12	3.258	18	3.640
7	2.704	13	3.336	19	3.689

ასევე გამარტივებული წესით შეიძლება სანდო ინტერვალის საზღვრების დადგენა:

$$\Delta X = K_{\omega} \omega_n = 0.51 * 66.24 = 33.78$$

სადაც, კოეფიციენტი K_{ω} დამოკიდებულია სანდო ალბათობის დონეზე და მისი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში №2.4:

სანდო ალბათობის დონე

ცხრილი №2.4

ცდების რაოდენობა n	K_{ω}	
	$\alpha = 0.95$	$\alpha = 0.99$
3	1.30	3.00
4	0.72	1.32
5	0.51	0.84
6	0.40	0.63
7	0.33	0.51
8	0.29	0.43
9	0.25	0.37
10	0.23	0.33
11	0.21	0.3
12	0.19	0.28
15	0.16	0.22
20	0.13	0.17

ასევე ექსპრეს მეთოდით მიღებული სამუშაო სიდიდის X ჭეშმარიტი მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$X = \bar{X} \pm \Delta X = \bar{X} \pm \frac{S t_n}{\sqrt{n}}$$

$$X = \bar{X} \pm \Delta X = 479.12 \pm 33.78$$

$$X = \bar{X} \pm \frac{S t_n}{\sqrt{n}} = 479.12 \pm \frac{28,47 * 2,78}{\sqrt{5}} = 479.12 \pm \frac{79,14}{2,23} = 479.12 \pm 35,48$$

ამ ფორმულაში, სტიუდენტის კოეფიციენტი t_n მიიღება ცხრილიდან №2.2 შესაბამისი ალბათობის a და გაზომვების $(n - 1)$ რაოდენობისათვის.

როგორც ვხედავთ, ამ ფორმულით დადგენილი χ^2 შემარიტი მნიშვნელობა a ალბათობით შეიძლება განსხვავდებოდეს ექსპერიმენტალურად მიღებული საშუალო მნიშვნელობიდან \bar{X} სიდიდით ΔX .

მიღებული ფორმულები გარდაქმნის შემდეგ შეიძლება დავიყვანოთ უფრო მოხერხებულ ფორმამდე. გამოცდების ისეთი მინიმალური რაოდენობის დასადგენად, რომელიც a ალბათობით უზრუნველყოფს საშუალო არითმეტიკულის გამოთვლის საფუძველზე, საძებნი პარამეტრის დადგენას დასაშვები ΔX გადახრით [14].

ამისთვის საჭიროა ექსპერიმენტების შედეგების გაზნვის შესაფასებლად, ჩატარებული იქნეს წინასწარი ექსპერიმენტები გამოცდების ნაკლები რაოდენობით m .

მივიღებთ:

$$n = \left(\frac{Stm}{\Delta X} \right)^2 = \left(\frac{\omega_m t_m}{d_m \Delta X} \right)^2 = m \left(\frac{\omega_m K_\omega}{\Delta X} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{28.47 * 3.18}{33.78} \right)^2 = \left(\frac{90,53}{33,78} \right)^2 = (2,68)^2 = 7.18$$

$$n = \left(\frac{66.24 * 3.18}{2,059 * 33.78} \right)^2 = \left(\frac{210,64}{69,55} \right)^2 = (3,02)^2 = 9.12$$

$$n = 4 \left(\frac{66.24 * 0.72}{33.78} \right)^2 = 4 \left(\frac{47,69}{33,78} \right)^2 = 4(1,41)^2 = 4 * 1,98 = 7.92$$

მიღებული ფორმულით შეგვიძლია ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების პარამეტრების დასადგენად აუცილებელი ცდების რაოდენობის n განსაზღვრა და მისი მნიშვნელობა დამოკიდებული იქნება საჭირო ალბათობაზე a და წინასწარ ექსპერიმენტების რაოდენობაზე m .

მეორე პარაგრაფში მოცემულია მდგრად ჰიდროტექნიკურ ბეტონში სხვადასხვა დანამატების გამოყენებით: კალმატრონის, პენეტრონის და ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის ექსპერიმენტები და საუკეთესო ვარიანტის შერჩევა.

ჩვენს შემთხვევაში დანამატებად გამოიყენებოდა ქსაიპექს ადმიქს-ც 1000, კალმატრონ დ და პენეტრონ ადმიქსი. აქვე მოგვყავს ცაკლეული დანამატების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები:

კანადური კომპანია **Xypex Chemical Corporation** აწარმოებს მაღალი ხარისხის კრისტალიზაციის ტექნოლოგიურ ჰიდროსაიზოლაციო მასალას Xypex-ს. იგი პოპულარულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს 170-ზე მეტ ქვეყანაში კაშხლებისა და მათი გვირაბების წყლისა და სხვა სითხეების რეზერვუარების, სანავიგაციო და სარწყავი არხების, საავტომობილო, სარკინიგზო და მეტროპოლიტენის გვირაბების (როგორც მიწისზედა ასევე მიწისქვეშა), აუზების, საავტომობილო ესტაკადების, ხიდების, შენობების სამირკველების და სხვა სახის ბეტონის შენობა-ნაგებობების მშენებლობისა და რეაბილიტაციისათვის [22].

Xypex-ით შესრულებულია ჰიდროსაიზოლაციო სამუშაოები ისეთ ცნობილ შენობა-ნაგებობებში როგორცაა პანამის არხი, MARBLE HILL ატომური ელექტრო სადგური (ა.შ.შ) WOLSUNG ატომური ელექტრო სადგური (კორეა), NASA-ს (ა.შ.შ-ს კოსმოსის სააგენტო) ასტრონავტების საწვრთნელი აუზები, სიდნეის ოპერის თეატრი, Microsoft-ის ოფისი, აზიის განვითარების ბანკი, ვაშინგტონის, პარიზის, სან პაოლოს, ბუენოს აირესის, ინსტამბულის, ანკარას, ვარშავას, შანხაის, მეხიკოს მეტროპოლიტენის გვირაბები და სადგურები. შვეიცარია, ბულგარეთი, ირანი, ვიეტნამი და სხვა ქვეყნებში კაშხლები და გვირაბები.

ქსაიპექსის ტექნოლოგია: ქსაიპექსი არის ერთ-ერთი ეფექტური ქიმიკატი ბეტონის ჰიდროიზოლაციის და დაცვისთვის. ქსაიპექსის მთავარი და ყველაზე აღსანიშნავი მოქმედების თვისებაა მისი უნიკალური შესაძლებლობა წარმოქმნას არაგადამუშავებადი კრისტალის ფორმაცია, ბეტონის ფორებსა და კაპილარების სიღრმეში. ბეტონში წარმოიქმნება კრისტალური სტრუქტურა, რომელიც ლუქავს ბეტონს ყველანაირი წყლისა და სითხის შეღწევისაგან.

იმისათვის, რომ ბეტონი გახდეს კრისტალურად წყალგაუმტარი, ქსაიპექსი როგორც აქტიური ქიმიკატი უნდა გახდეს ბეტონის მასის

განუყოფელი ნაწილი. ბეტონი ფორიანი (კაპილარული სისტემის) მასალაა და ქსაიპექსი ბეტონის სტრუქტურაში ტენიანობის და წყლის მიგრაციის მეშვეობით ავსებს მის ფორებსა და სიცარიელებს. ეს პროცესი ქმნის რეაქციას ქსაიპექსსა და ბეტონში მყოფ სინოტივეს შორის. საბოლოო შედეგად ვიღებთ ბეტონში წარმოქმნილ არა გადამუშავებად ან დნობად კრისტალებს, ისინი ავსებენ ფორებსა და კაპილარებს რის შედეგადაც ბეტონი ხდება სითხე გაუმტარი. თუ წყალი მაინც შეაღწევს ბეტონის სტრუქტურაში, ქსაიპექსის კრისტალები განაახლებენ კრისტალების ზრდას და ამოავსებენ დარჩენილ ფორებს.

შერჩეული ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 უნიკალური ქიმიური საშუალებაა ბეტონის დამუშავებისათვის, მისი წყალგაუმტარობის, დაცვის და ხარისხის გაუმჯობესებისათვის. ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 წარმოადგენს მშრალ ფხვნილს, რომელსაც ამატებენ ბეტონის ხსნარში პროპორციით: ცემენტის მასის 1.5 %, შედეგადაც პორტლანდცემენტის, ძალზე წმინდა დამუშავებული სილიციუმის ქვიშის და სხვადასხვა აქტიური ქიმიკატებისაგან. ეს აქტიური ქიმიკატები რეაქციაში შედიან ახალ ბეტონში არსებულ წყალთან და ცემენტის ჰიდრატაციის თანმხლებ პროდუქტებთან, რითაც იწვევენ კატალიზატორულ რეაქციას, შედეგად ვღებულობთ უხსნად კრისტალური მასას ბეტონის ყველა ფორებსა და კაპილარებში.

დოზა: ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 ცემენტის მასის 1.5%.

სამშენებლო დამანატი **Kalmatron**-ი ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მრავალ სამშენებლო ინდუსტრიაში. მას გააჩნია ბიოციდური თვისებები და გამოიყენება კვების მრეწველობაში, სასმელი წყლის საცავებში, საცურაო აუზებში, ასევე ფუმე-საძირკვლებში, მიწისქვეშა ავტოფარეხებში, წყალსაცავებში, აუზებში, სარდაფებში, სველი წერტილებში, ბრტყელი გადახურვებში, აივნებში, გვირაბებში, კაშხლებში და ა.შ [23].

“**Kalmatron**“-ის ტექნოლოგია: Kalmatron-ის მინარევი მიქსერში ერევა დანამატის სახით და 10-12 წუთის განმავლობაში ირევა, რის შემდეგ

ბეტონი/ბათქაში მზად არის გამოსაყენებლად. იგი ბეტონში პლასტიფიკატორის ფუნქციასაც ასრულებს.

მას გააჩნია ბიოციდური თვისებები და გამოიყენება კვების მრეწველობაში, სასმელი წყლის საცავებში, საცურაო აუზებში.

გამოყენების სფერო:

რეზერვუარები, აუზებში, შახტები, ხიდები, აკვარიუმები, ფუძე-სამირკვლებში, მიწისქვეშა ავტოფარეხებში, წყალსაცავებში, სარდაფებში, სველ წერტილებში, ბრტყელ გადახურვებზე, აივნებზე, გვირაბებში, კაშხლებში მეტროპოლიტენი, წყალსაქაჩი და გამწმენდი ნაგებობები, ქიმიური ქარხნები, ატომური რადიატორები და სხვა.

დოზა: კალმატრონ დ 10 კგ 1მ³-ზე.

პენეტრონის ისტორია საქართველოში ფაქტიურად 2007 წლის აგვისტოში დაიწყო, როდესაც შემოტანილ იქნა პენეტრონის ჯგუფის მასალების პირველი პარტია. უფრო ადრე კი ივლისში შეიქმნა შპს „ჰიდროსაიზოლაციო ტექნოლოგიები“, რომელიც გახდა კომპანიათა ჯგუფ „პენეტრონ-როსიას“ ოფიციალური წარმომადგენელი საქართველოში. „პენეტრონ-როსია“ თავის მხრივ ამერიკულ კომპანია "ICS/Penetron International Ltd"-გან ფლობს პენეტრონის ჯგუფის მასალების წარმოების და გავრცელების ექსკლუზიურ უფლებას მთელს ევრაზიულ სივრცეში. იგი გამოიყენება ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში [24].

პენეტრონ ადმიქსის ტექნოლოგია: პენეტრონ ადმიქსი არის დანამატი ახალ ბეტონში და იგი ემატება მას გამოყენების წინ. იგი მიქსერში ერევა დანამატის სახით ხრეშსა და ქვიშის ნარევეს 2-3 წუთის განმავლობაში, შემდეგ ემატება ცემენტი, კვლავ ირევა და ემატება წყალი.

იგი შედგება პორტლანდცემენტისაგან, გარკვეული გრანულომეტრიის კვარცის ქვიშისა და აქტიური ქიმიური კომპონენტებისაგან. ეს ქიმიური დანამატები რეაგირებენ წყალთან ახალ ბეტონში და ცემენტის ჰიდრატაციის შედეგად მიღებულ ნივთიერებებთან. ამ დროს მიმდინარე რეაქციების

შედეგად წარმოაიქმნება უხსნადი კრისტალები ბეტონის ფორებში, კაპილარებში და მიკრობზარებში. შედეგად ბეტონი ხდება წყალგაუმტარი, აგრეთვე საიმედოდ დაცული სხვადასხვა ქიმიურად აგრესიული გარემოსადმი. ბეტონი დაცულია აგრეთვე მკვეთრი ეკოლოგიური პირობების ცვლილებისას.

გამოყენების სფერო:

რეზერვუარები, აუზებში, შეხტები, ხიდები, აკვარიუმები, ფუძე-სამირკვლებში, მიწისქვეშა ავტოფარეხებში, წყალსაცავებში, სარდაფებში, სველ წერტილებში, ბრტყელ გადახურვებზე, აივნებზე, გვირაბებში, კაშხლებში მეტროპოლიტენი, წყალსაქაჩი და გამწმენდი ნაგებობები, ქიმიური ქარხნები, ატომური რადიატორები და სხვა.

დოზა: პენეტრონ აქმიქსი ცემენტის მასის 0.8%.

დადგინდა ბეტონის შედგენილობა ყველა ექსპერიმენტული

სამუშაოებისათვის:

პროდუქციის დასახელება: ქვიშა სამშენებლო (0-5)

გამოცდის ჩატარების ადგილი: სსიპ „საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი“-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორია

პროდუქციის მწარმოებელი: შპს „სახელმწიფო სამშენებლო კომპანია“ ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება,

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

1. მარცლოვანი შედგენილობა სისხოს მოდული და ჯგუფი

ნარჩენი საცერზე	საცრის ხვრეტის ზომები, მმ		<5	ჯამი
	10	5		
კერძო, გრ	-	72.5	3190.4	3262.9
კერძო, %	-	2.2	97.8	100

ნარჩენი საცერზე	საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						ჯამი	სისხოს მოდული	ჯგუფი
	2.5	1.25	0.63	0.315	0.15	<0.15			
კერძო, გრ	826.7	547.7	586.6	711.8	378.2	139.4	3190.4	3.09	განკლავებული ქვიშათა ჯგუფს
კერძო, %	25.9	17.2	18.4	22.3	11.8	4.4	--		
სრული ნარჩენი %	25.9	43.1	61.5	83.8	95.6	100	--		

2. მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა

ნიმუშის №	სინჯის მასა, გრ		მინარევების შემცველობა, %	
	განლექვამდე, m	განლექვის შემდეგ, m ₁	სინჯის	საშუალო
1	1000	923.5	7.65	6.92
2	1000	938.0	6.20	

3. ჭეშმარიტი სიმკვრივე

სინჯი	მასა, გრ	სიმკვრივე,
-------	----------	------------

ის №					ρ გრ/სმ³	
	პიკნომეტრი ქვიშით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m ₁	პიკნომეტრი დისტილირებულ წყალი, m ₂	პიკნომეტრი დისტილირებულ წყალი და ქვიშით, m ₃	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	135.6	152.2	2.23	2.24
2	66.5	36.5	135.1	151.8	2.25	

4. ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა)

სინჯის №	ჭურჭლის მოცულობა, V სმ³	მასა, გრ		სიმკვრივე, g გრ/სმ³	
		ჭურჭლის, m	ჭურჭელი მასალი თ, m ₁	სინჯის	საშუალო
1	1000	360.2	1931.8	1571.6	1572.3
2	1000	360.2	1933.2	1573.0	

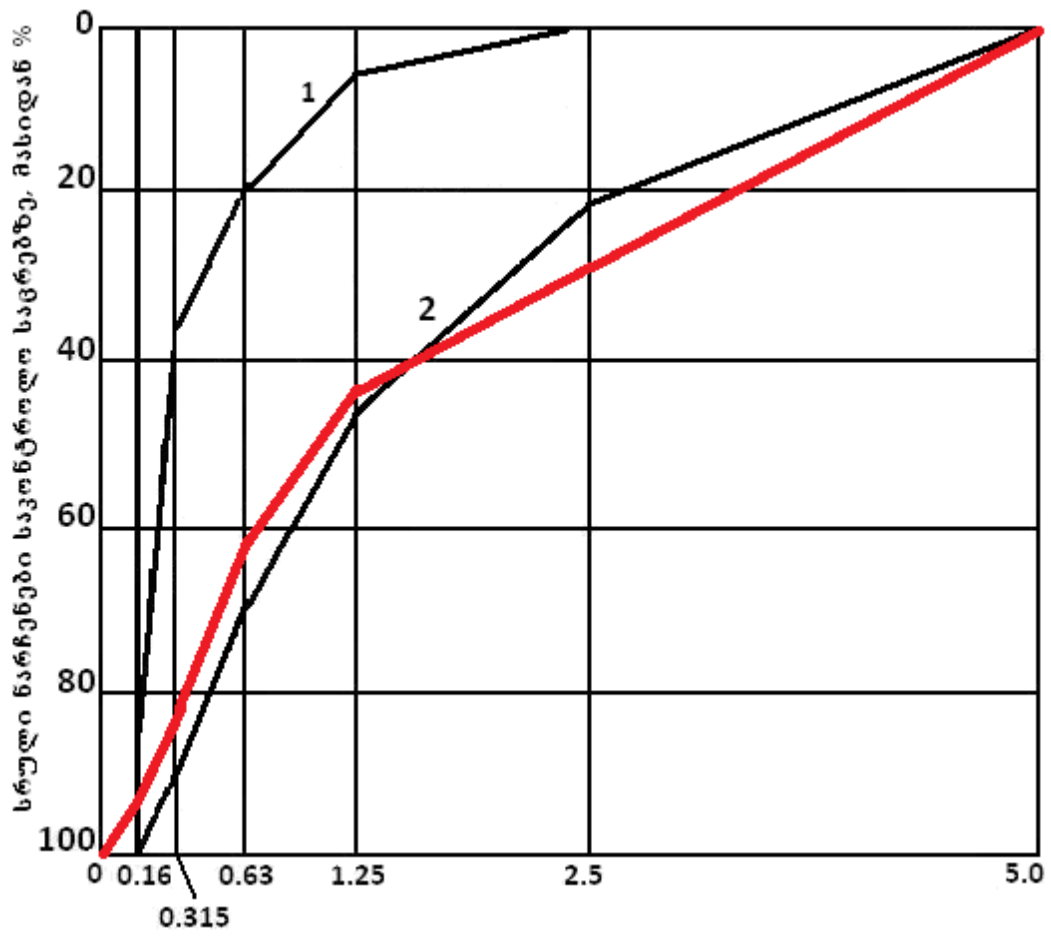
5. ცარიელობა

$$V_{\theta} = \left(1 - \frac{1572.3}{2.24 * 1000}\right) * 100\% = 29.80 \%$$

6. ტენიანობა

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	

გრანულომეტრიის გრაფიკი



პროდუქციის დასახელება: ღორღი და ხრეში სამშენებლო (ღორღის ფრაქცია 5–10)

პროდუქციის მწარმოებელი: შპს „სახელმწიფო სამშენებლო კომპანია“
 გამოცდის ჩატარების ადგილი: სსიპ „საქართველოს ტექნიკური
 უნივერსიტეტი“-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და
 საექსპერტო ლაბორატორია

ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება,

რის მიხედვითაც ტარდება გამოცდა: გოსტ 8269.0-97 „ღორღი და ხრეში მთის
 მკვრივი ქანებისაგან სამშენებლო სამუშაოებისათვის“;

1. მარცლოვანი შედგენილობა (გრანულომეტრია)

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	-

2. მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა

№	ღორღის ფრაქციის სისხო, მმ	სინჯის მასა განლექვამდე, m გრ	სინჯის მასა განლექვის შემდეგ, m ₁ გრ	მინარევის შემცველობა, %	საშუალო, %
1	5-10	1000	991.3	0.87	0.91
2	5-10	1000	990.5	0.95	

3. ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა)

სინჯის №	ჭურჭლის მოცულობა, V სმ ³	მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ _H კგ/მ ³	
		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	

4. ჭეშმარიტი სიმკვრივე

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	
	პიკნომეტრი ღორღით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m ₁	პიკნომეტრი დისტილირებული წყალი, m ₂	პიკნომეტრი დისტილირებული წყალი და ღორღით, 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	

5. საშუალო სიმკვრივის განსაზღვრა

№	მშრალი სინჯის წონა, m გრ	წყლით გაჟღენთილი სინჯის მასა, გრ		სიმკვრივე, $\rho_{kგრ/სმ^3}$	
		ჰაერზე აწონით, m_1	წყალში აწონით, m_2	სინჯის	საშუალო
1	109.0	109.7	67.0	2.55	2.55
2	105.7	106.3	65.0	2.55	

6. ცარიელობა

$$V_{\theta} = \left(1 - \frac{1501.6}{2.55 \cdot 1000}\right) * 100\% = 41.11\%$$

7. ფორიანობა

$$V_{\vartheta} = \left(1 - \frac{2.55}{2.6}\right) 100\% = 1.92\%$$

8. ტენიანობა

სინჯის №	სინჯის მასა, გრ		ტენიანობა, W %	
	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	

პროდუქციის დასახელება: ღორღი და ხრეში სამშენებლო (ღორღის ფრაქცია 10–20)

პროდუქციის მწარმოებელი: შპს „სახელმწიფო სამშენებლო კომპანია“
 გამოცდის ჩატარების ადგილი: სსიპ „საქართველოს ტექნიკური
 უნივერსიტეტი“-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და
 საექსპერტო ლაბორატორია

ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება,
 რის მიხედვითაც ტარდება გამოცდა: გოსტ 8269.0-97 „ღორღი და ხრეში მთის
 მკვრივი ქანებისაგან სამშენებლო სამუშაოებისათვის“;

1. მარცლოვანი შედგენილობა (გრანულომეტრია)

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	-

2. მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა

№	ღორღის ფრაქციის სისხო, მმ	სინჯის მასა განლექვამდე, m გრ	სინჯის მასა განლექვის შემდეგ, m ₁ გრ	მინარევის შემცველობა, %	საშუალო, %
1	10-20	1000	995.2	0.48	0.5
2	10-20	1000	994.8	0.52	

3. ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა)

სინჯის №	ჭურჭლის მოცულობა, V სმ ³	მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ _H კგ/მ ³	
		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	

4. ჭეშმარიტი სიმკვრივე

5 საშუალო სიმკვრივის განსაზღვრა

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	
	პიკნომეტრი ღორღით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m ₁	პიკნომეტრი დისტილირებული წყალი, m ₂	პიკნომეტრი დისტილირებული წყალი და ღორღით, 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	

№	მშრალი სინჯის წონა, m გრ	წყლით გაჟღენთილი სინჯის მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ_k გრ/სმ ³	
		ჰაერზე აწონით, m_1	წყალში აწონით, m_2	სინჯის	საშუალო
1	143.4	143.8	88.7	2.6	2.6
2	141.1	141.3	88.3	2.6	

6. ცარიელობა

$$V_g = \left(1 - \frac{1436.6}{2.6 \cdot 1000}\right) * 100\% = 44.74$$

7. ფორიანობა

$$V_g = \left(1 - \frac{2.6}{2.6}\right) 100\% = 0\%$$

8. ტენიანობა

სინჯის №	სინჯის მასა, გრ		ტენიანობა, W %	
	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	

პროდუქციის მწარმოებელი: შპს „ჯორჯიან ბილდინგ გრუპ“

გამოცდის ჩატარების ადგილი: სსიპ „საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი“-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორია

ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება,

რის მიხედვითაც ტარდება გამოცდა: გოსტ 310.2-76 „ცემენტი. დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა“. გამოცდის მეთოდები“; გოსტ 310.3-76 „ცემენტი. ნორმალური ცომის, შეკვრის ვადების და თანაბარზომიერების განსაზღვრა“; გოსტ 310.4-81 „ცემენტი. სიმტკიცის განსაზღვრა ღუნვაზე და კუმშვაზე“.

1. ცემენტის დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა (ნარჩენი საცერზე)

ნიმუში №	სინჯის მასა, გრ		ცემენტის დაფქვის სიწმინდე %	
	საწყისი, m გრ	საბოლოო №0.08 საცერში გასული, m ₁ გრ	სინჯის	საშუალო
1	50	48.40	3.2	3.35
2	50	48.25	3.5	

2 ცემენტის ნორმალური ცომის სისქის განსაზღვრა

ნიმუში №	სინჯის მასა, m გრ	წყლის რაოდენობა, V მლ	ლითონის ცილინდრის ცომში ჩაძირვის სიღრმე, h მმ	წყლის პროცენტული რაოდენობა ცემენტის მასიდან, %
1	250	70	6	28.00
2	250	69.7	5	27.88

3 ცემენტის შეკვრის ვადების განსაზღვრა (დასაწყისი და დასასრული)

ნიმუში №	ცემენტის წყალთან არევის დრო სთ, წთ	ანათვლის ადების დრო სთ, წთ	ცემენტის ცომში ნემსის ჩაძირვის სიღრმე H მმ	შეკვრის ვადების	
				დასაწყისი სთ, წთ	დასასრული სთ, წთ
1	10:00	10:15	40	46	18:30
		10:46	38		
		18:30	1		

4. ცემენტის სიმკვრივის განსაზღვრა

ნიმუში №	სინჯის მასა, m გრ	სითხის მოცულობა, V სმ ³	სიმკვრივე, გრ/სმ ³
1	61.07	20	3.05
2	61.08	20	3.05

5. ცემენტის დულაბისაგან დამზადებული ნიმუშების გამოცდა ღუნვაზე და კუმშვაზე საწყისი მონაცემები:

ნიმუში №	ნიმუშის დამზადების თარიღი	ნიმუშის რაოდენობა	ცემენტის ხარჯი, გრ	ქვიშის ხარჯი, გრ	წყლის ხარჯი, მლ	წყ/ც	განთხევის საშუალო დიამეტრი, მმ	ვიბრაცია, წთ	შენახვის პირობები	
									ჰიდროლოკურ საკეტებთან აბაზანაში, სთ	წყლიან აბაზანაში, დღე
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.07.2013	3	500	1500	200	0.4	109	3	24	3; 28

გამოცდის შედეგები:

№	დასახელება	ღუნვა 3 დღე		ღუნვა 28 დღე		კუმშვა 3 დღე		კუმშვა 28 დღე			
		1	2	1	2	1	2	1	2	3	4
1	ნიმუშის ზომები, სმ			2							
	სიმაღლე, h სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	სიგანე, α სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	განივკვეთის ფართობი, S სმ ²	---	---	---	---	16	16	16	16	16	16
3	მრღვევი დატვირთვა, PP კნ	4.4	6.2	6.4	25.51	23.90	53.30	54.34	55.84	55.36	
4	სიმტკიცის ზღვარი, მპა	---	---	---	16.0	14.9	33.3	33.9	34.9	34.6	
5	სიმტკიცის ზღვარი, კგ/სმ ²	51.48	72.54	74.88	163.04	151.83	339.32	345.44	355.63	352.57	
6	სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებული მნიშვნელობა (ღუნვაზე ორი, ხოლო კუმშვაზე ოთხი უდიდესი შედეგიდან) კგ/სმ ²	51.48	73.71	74.88	157.43	151.83	348.24	345.44	355.63	352.57	

დადგინდა ჰიდროტექნიკური ბეტონის კომპონენტები და მისი შედგენილობა

ცხრილი №2.5

ჰიდროტექნიკური ბეტონის შედგენილობა 1 მ ³ ბეტონისთვის									
ცემენტი, კგ	წყალი, მლ	ქვიშა 0-5, კგ	ლორღი 5-10 კგ	ლორღი 10-20, კგ	მოცულობითი მასა, კგ/მ ³	წყალცემენტის ფარდობა	ქსაიპექს ადმიქს ც-1000, %	პენეტრონ ადმიქსი %	კალმატრონი %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
320	138	950	290	650	2348	0.43	---	---	---
320	138	950	290	650	2348	0.43	1.5	---	---
320	138	950	290	650	2348	0.43	---	0.8	---
320	138	950	290	650	2348	0.43	---	---	2.3

(*) შენიშვნა: რეცეპტი დაანგარიშებულია მშრალ ინერტულ მასალებზე

ჰიდროტექნიკური ბეტონის (1 მ³) შედგენილობის კალკულაცია

ცხრილი №2.6

№	ცემენტი	ქვიშა (0-5)	ლორღი (5-10)	ლორღი (10-20)	ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 1%	კალმატრონი დ 10 კგ	პენეტრონ ადმიქსი 0.8 %
რაოდენობა 1 მ ³ (კგ)	320	950	290	650	4.8	10	2.56
მომსახურების ტარიფი	50 კგ-10ლ	1 მ ³ -17 ლ	1 მ ³ -7 ლ	1 მ ³ -7 ლ	1 კგ-10 ლ	10 კგ-50 ლ	1 კგ-20 ლ
ფასი ლარში	65.00	10.27	1.35	3.20	48.00	50.00	51.20

1 მ³ საბაზო ბეტონის ღირებულებაა: 80.00 ლ;

1 მ³ დანამატიანი (ქსაილექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის ღირებულებაა: 128.00 ლ;

1 მ³ დანამატიანი (კალმატრონი დ) ბეტონის ღირებულებაა: 130.00 ლ;

1 მ³ დანამატიანი (პენეტრონი ადმიქსი) ბეტონის ღირებულებაა: 131.20 ლ.

სტუ-ს სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში დამზადდა დანამატებიანი და საბაზო ბეტონის კუბები ზომით 10×10×10 სმ. დანამატებად გამოიყენებოდა: კალმატრონი დ, პენეტრონი ადმიქსი და ქსაიპექს ადმიქს ც-1000. ნიმუშების დაყალიბებიდან მეორე დღეს მოხდა მათი

განყალიბება და მოთავსება რეჟიმის კამერაში (STHSX-1), სადაც ტენიანობა შეადგენდა 95%, ხოლო ტემპერატურა $(20 \pm 2)^{\circ} C$, რის შემდეგაც ნიმუშები გამოიცადა ცენტრალურ კუმშვაზე ჰიდრავლიკურ წნეხზე (STYE 2000 C) 28-ე დღეს და დადგინდა სიმტკიცის მახასიათებლები როგორც საბაზო, ასევე დანამატებიან ბეტონებზე ცხრილი №2.7:

ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი ცენტრალური კუმშვის დროს

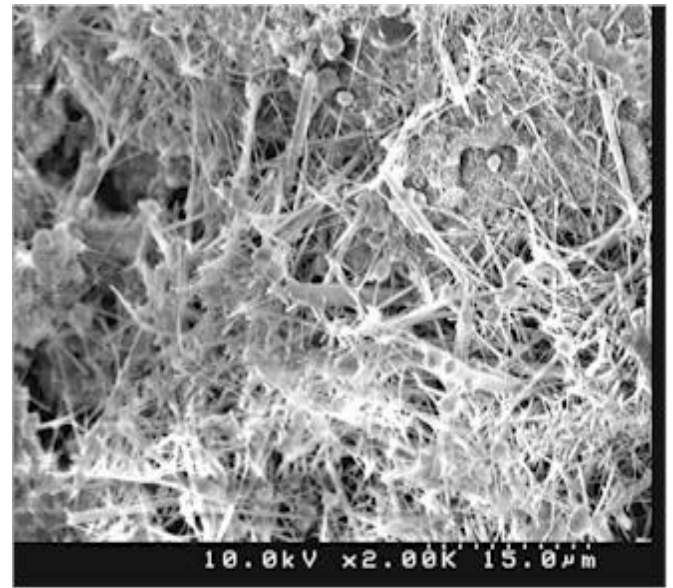
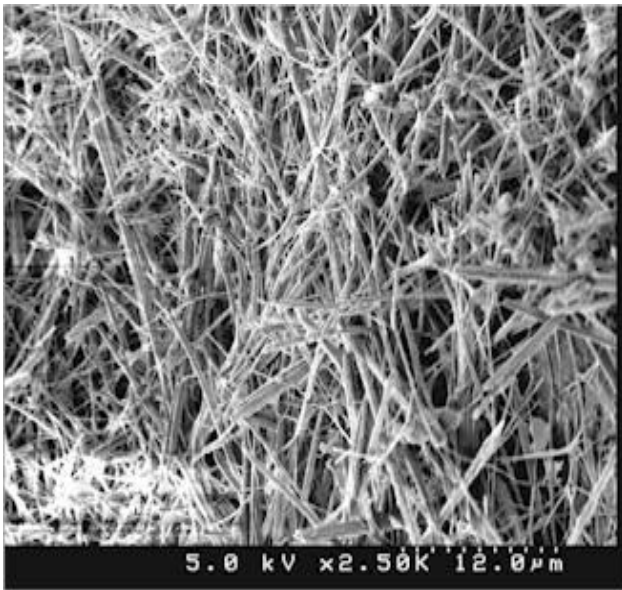
ცხრილი №2.7

დანამატის დასახელება	ნიმუშის ნომერი	ასაკი/დღე-ღამე	ნიმუშის ზომები $a \times b \times h$ სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	მასა, M გ	სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	საშუალო სიმკვრივე ρ გრ/სმ ³	მრღვევი დატვირთვა, P _{გნ}	სიმტკიფე, მზა	საშუალო სიმტკიფე, კგ/სმ ²	საშუალო სიმტკიფე მზა/კგ/სმ ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
საბაზო	1	28	10×10×10	100	1000	2330	2.330	2.343	359.73	34.2	348.49	37.1/378.38
	2	28	10×10×10	100	1000	2349	2.349		373.43	35.5	361.74	
	3	28	10×10×10	100	1000	2351	2.351		438.84	41.7	424.92	
ქსაიბექს ადმიქს ც-1000 1 %	1	28	10×10×10	100	1000	2391	2.391	2.377	493.15	46.8	476.89	47.56/484.70
	2	28	10×10×10	100	1000	2360	2.360		491.21	46.7	475.87	
	3	28	10×10×10	100	1000	2381	2.381		517.82	49.2	501.34	
პენტრონ ადმიქსი 0.8 %	1	28	10×10×10	100	1000	2396	2.396	2.385	485.16	46.2	470.77	46.46/473.49
	2	28	10×10×10	100	1000	2402	2.402		480.97	45.8	466.70	
	3	28	10×10×10	100	1000	2358	2.358		497.77	47.4	483.00	
კალმატრონი 10 კგ/მ ³	1	28	10×10×10	100	1000	2347	2.347	2.353	480.21	45.7	465.68	46.9/477.90
	2	28	10×10×10	100	1000	2398	2.398		505.05	48.1	490.13	
	3	28	10×10×10	100	1000	2314	2.314		493.11	46.9	477.91	

გამოკვლევა სამხრეთ უელსის უნივერსიტეტში

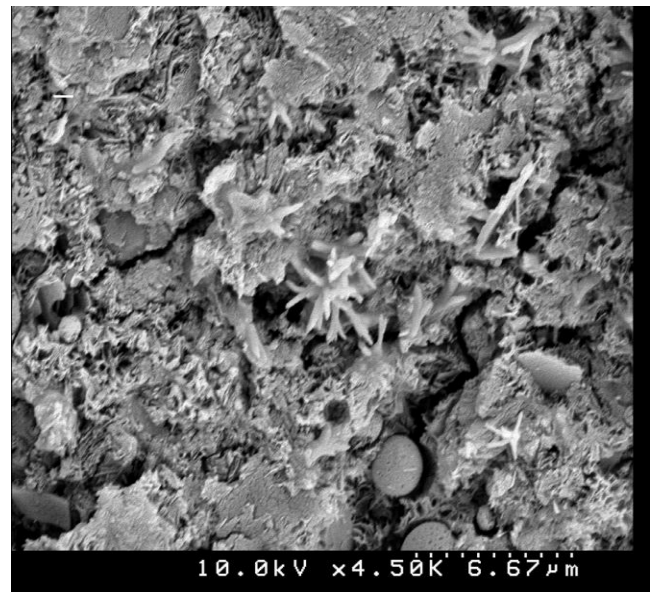
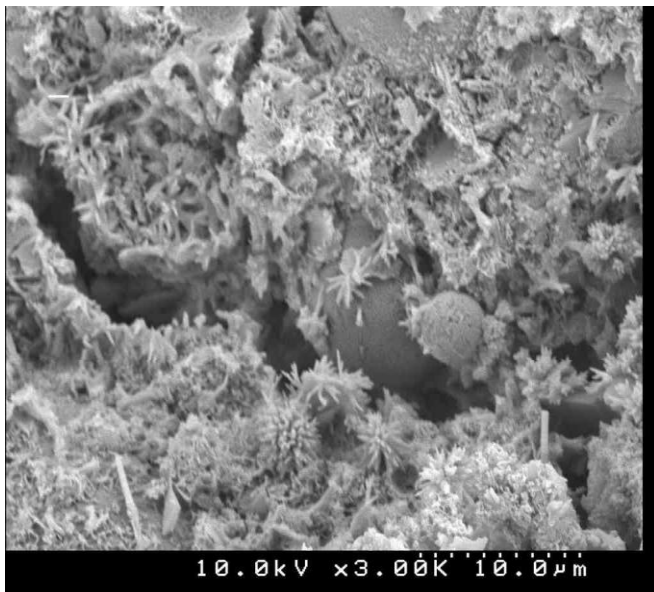
„ინოვაცია მშენებლობაში“

ქსაიბექს ადმიქს ც-1000-ით დამზადებული ბეტონის ნიმუშების კრისტალური სტრუქტურა



სურათი №2.1
 პენეტრონ ადმიქსით დამზადებული ბეტონის ბეტონის ნიმუშების
 კრისტალური სტრუქტურა

სურათი №2.2



სურათი №2.3

სურათი №2.4

დასკვნა

ჰიდროტექნიკური ბეტონისათვის შემოთავაზებული დანამატების: ქსაიპექს ადმიქს ც-1000; კალმატრონ დ და პენეტრონ ადმიქსის ფიზიკურ-

მექანიკური და ეკონომიური მახასიათებლების შესწავლის შედეგად სამუშაოს პირობებიდან გამომდინარე დანამატად შერჩეული იქნა 1.5 % ქსაიპექს ადმიქს ც-1000, რომლის შეღწევადობის მექანიზმი ბეტონის მიკრობზარებსა და ბზარებში კრისტალური მესერის სახით და მისგან დამზადებული ბეტონის მახასიათებლები - ადვილჩაწყობადობა, ნარევის პლასტიკურობა და სიმტკიცე სხვა დანამატებთან შედარებით უფრო მისაღები აღმოჩნდა [13; 15].

თავი 3. შეღწევადი მოქმედების ჰიდროსაიზოლაციო დანამატანი ბეტონის კვლევა სიმტკიცეზე ზედაპირულად აქტიურ გარემოში

პირველი პარაგრაფი მოცემულია ექსპერიმენტები დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ჰიდროტექნიკური ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დასადგენად.

ცნობილია, რომ ბეტონი წარმოადგენს კონგლომერატს. მასში მრავლადაა ფორები, ბზარები, მიკრობზარები, რომლებიც ქმნიან შიდა ძაბვებს ბეტონის ნარევის გამყარების პროცესში, ამიტომ ბეტონი მუდმივად შინაგანად დაძაბულ მდგომარეობაშია. მნიშვნელოვანია, რომ ბეტონში ყოველთვის არსებობს სხვადასხვა ფორმით წყალი ქიმიური, კაპილარული, ადსორფციული და თავისუფალი. გამყარებულ ბეტონში წყალი ერთის მხრივ დადებით როლს ასრულებს, რადგან დროთა განმავლობაში იგი შედის ქიმიურ რეაქციაში არ შესულ დარჩენილ ცემენტთან და ამის შედეგად ბეტონის სიმტკიცე დროში იზრდება. ხოლო მეორეს მხრივ ადსორბირებული და თავისუფალი წყალი გარე ძალების მოქმედების დროს იწვევს მიკრობზარებსა და ფორებში, რეზინდერის ეფექტის თანახმად წყლის გამხლეჩ მოქმედებას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ბეტონის სიმტკიცეს.

1962 წელს ამერიკელმა მეცნიერმა ი. გლუკლიხმა და ო. ისხაიმ ჩაატარეს უაღრესად საინტერესო ცდები ბეტონის ცოცვადობის ბუნების გასარკვევად. ამ ცვლილების უმთავრესი შედეგი გახლდათ მშრალ ბეტონში ცოცვადი დეფორმაციის არ არსებობა. ბუნებრივ მდგომარეობაში მყოფი, ან ტენიანი ბეტონის ცოცვადობის განსაზღვრისას მეცნიერები აწყდებოდნენ დიდ წინააღმდეგობას, იმის გამო, რომ პრაქტიკულად შეუძლებელია მთლიანი დეფორმაციიდან ჯდენითი დეფორმაციის გამოყოფა.

ზემოთ თქმულის გათვალისწინებით ი. გლუკლიხმა და ო. ისხაიმ გამოცადეს ბეტონი გრეხაზე, რადგან ამ დროს ჯდენითი და სხვა მოცულობითი დეფორმაციები, კერძოდ ტემპერატურული, არ ახდენენ

გავლენას ბეტონის ნიმუშების კუთხურ დეფორმაციაზე. ექსპერიმენტის დაწყების წინ ნიმუშებს ათავსებდნენ გამოსაშრობ კამერაში, სადაც ტემპერატურას უმატებდნენ თანდათანობით 105°C. მათ დააფიქსირეს მშრალ ბეტონში ცოცვადობის არ არსებობა, ხოლო წყალით გაჟღენთილში ინტენსიური ცოცვადი დეფორმაცია.

დიდი ინტერესი გამოიწვია აგრეთვე ტ.მ.დ. პროფ. ზ. წილოსანის მიერ [16] ჩატარებულმა ცდებმა ღუნვაზე პატარა ზომის კოჭების ბეტონის ცოცვადობის ბუნების დასადგენად. განსაკუთრებით საყურადღებო ამ ექსპერიმენტებში იყო ის, რომ ჩალუნვების განსაზღვრისას, რომელიც მიმდინარეობდა დროში, გამოირიცხა ჯდენითი დეფორმაციები, რადგან იგი თანაბრად ნაწილდებოდა პატარა კოჭების კვეთში. რადგან ჩვენთვის საინტერესოა მშრალი ბეტონის მოქმედება მუდმივი დატვირთვისას დროში და წყლის გამხლეჩი მოქმედების გავლენა დამაბულ ბეტონში, ამიტომ ჩავთვალეთ საჭიროდ ზ. წილოსანის ექსპერიმენტის აღწერა. ექსპერიმენტები ჩატარდა გამომშრალ ნიმუშზე სხვადასხვა ტენიან (0.01; 21.25; 48.5; 70; 100%) პირობებში და სხვადასხვა პოლარობის მქონე სითხეებში.

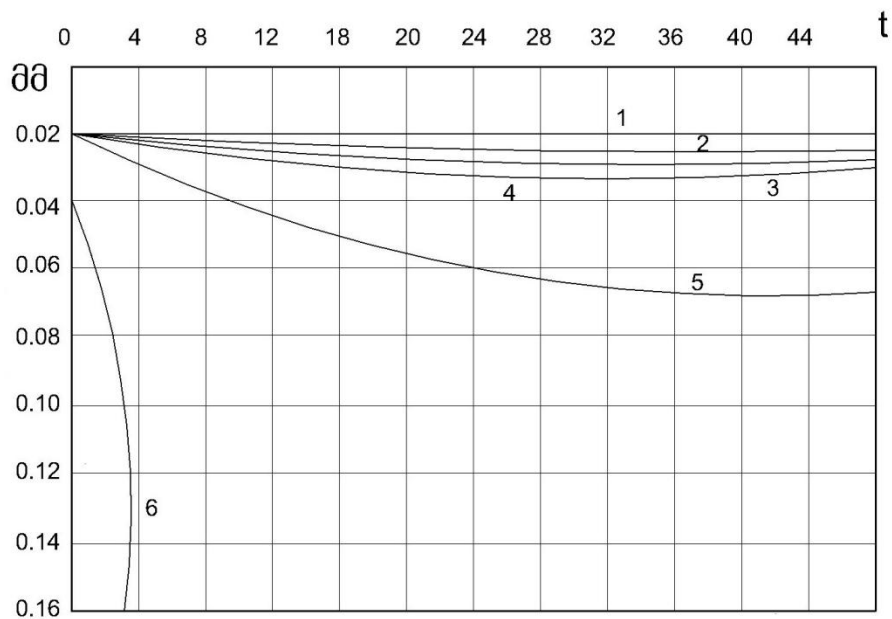
აღნიშნულ ექსპერიმენტებში თითოეული ნიმუში გამოცდის პერიოდში იმყოფებოდა სპეციალურ კამერაში, სადაც შესაძლებელი იყო მიწოდება ნებიემიერი ტენიანობის ჰაერის დაწყებული სრულიად მშრალიდან 100% ტენიანობამდე და აგრეთვე წყალში.

კოჭების ჩალუნვები იზომებოდა მალის შუაში საათის ტიპის ინდიკატორით 1 მკმ დანაყოფის ფასით. ნიმუშების გამოშრობა ხდებოდა ტემპერატურის თანდათანობით მატებით 110°C-მდე, მუდმივი წონის მიღწევამდე გამოსაშრობ კამერაში. 0.5 R_{აგლ} დატვირთვა მიეცემოდა ნიმუშს მალის შუაში. ცდა მიმდინარეობდა 50 დღე. მიღებული შედეგების გრაფიკი მოცემულია ნახაზზე №3.1.

ცდებმა თვალნათლივ გვიჩვენა, რომ გამომშრალი ბეტონები მშრალ კამერაში არ განიცდიან ცოცვად დეფორმაციას, ხოლო ტენიანობის ზრდით

მატულობდა ცოცვადობის ინტენსივობა და წყალში მყოფი ნიმუშები მე-6 დღეს დაირღვნენ.

ცდები ნიმუშების სხვადასხვა პოლარობის მქონე სითხეებში იყო ჩატარებული 2 ვარიანტად. პირველ შემთხვევაში დადგინდა ცოცვადი დეფორმაციები და სიმტკიცეები წყალში და სუფთა ნავთში მყოფ ბეტონის კოჭებზე. მრღვევმა ძალამ პირველ შემთხვევაში შეადგინა 410 ნ, ხოლო ნავთში 560 ნ, რაც რეზინდერის ეფექტში გამოვლინდა. ხანგრძლივი დატვირთვისას მოდებული ძალა შეადგენდა $0.3R_{მრღ}$. 27-ე დღეს გაიზარდა 0.5-მდე, 34-ე დღიდან კი $0.7R_{მრღ}$. ამ დატვირთვაზე წყალში მყოფი ნიმუშის რღვევა დაფიქსირდა მე-9 დღეს იმ დროს, როდესაც არაპოლარულ სითხეში - ნავთში მყოფი ნიმუშები არ განიცდიდნენ ცოცვადობას და არც სიმტკიცის კლება შეინიშნა [17].

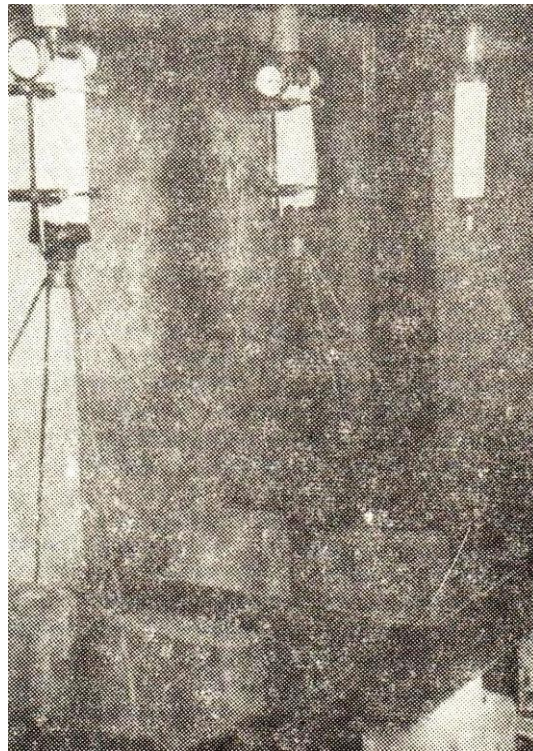


ნახაზი №3.1 წინასწარ გამომშრალი ბეტონის ნიმუშების ცოცვადობა ღუნვისას შემდეგი ფარდობითი ტენიანობის გარემოში: 1-0.00; 2-21.25; 3-48.5; 4-70.4; 5-100%, 6-წყალში

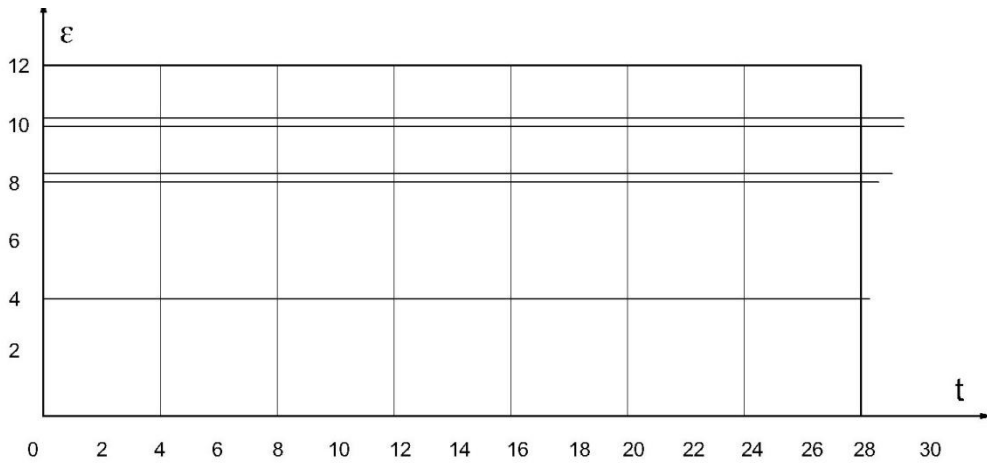
მეორე ექსპერიმენტში ჩატარდა კვლევები წყლის, ნავთსა და 0.5 % CaCl ხსნარის - (რომელიც წყალთან შედარების უფრო მაღალი პოლარობისაა) გარემოში მოთავსებული ბეტონის ძელაკების ცოცვადობაზე. გამოირკვა, რომ ძელაკების ცოცვადობა აღემატება 0.5 % CaCl-ში მის ცოცვადობას წყალში, ხოლო ნავთში კი საერთოდ არ აღინიშნებოდა.

ზემოთ აღწერილმა ცდებმა გვიჩვენა, თუ რა როლს ასრულებენ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე.

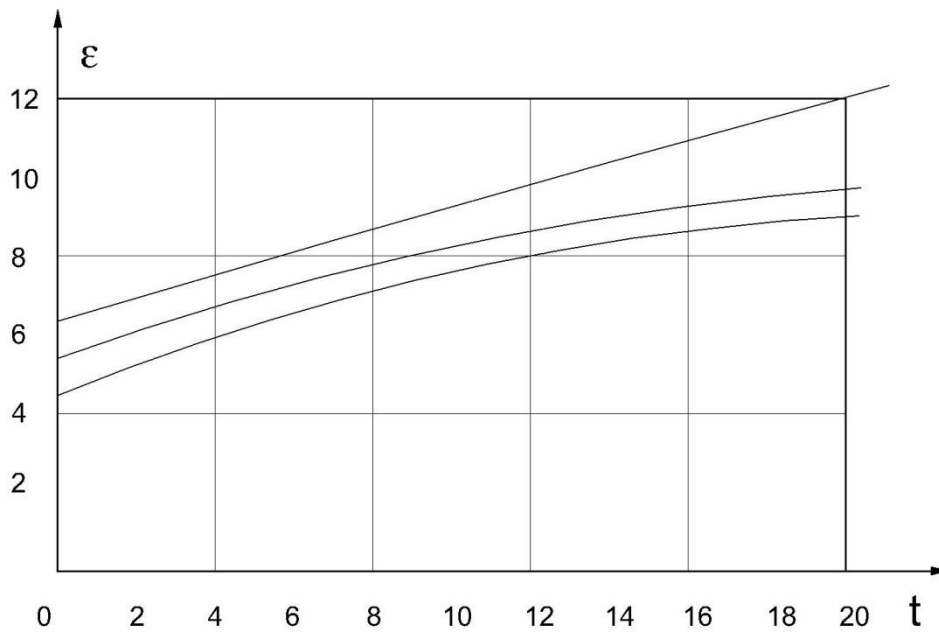
ამ მიმართულებით საინჟინრო კვლევები აქვთ ქართველ მეცნიერებს პროფ. ვ. ბალავაძეს [17], პროფ. ა. ნადირაძეს [18]. მათ გამოიკვლიეს მშრალი და ტენიანი ბეტონის სიმტკიცის და დეფორმაციულობის მახასიათებლები ცენტრალური გაჭიმვის დროს. მძიმე ბეტონის ნიმუშები ზომით 5×5×25 სმ, 28-ე დღის ასაკში გამოიცადნენ ცოცვადობაზე და გაჭიმვაზე სპეციალურ სტენდზე, თბილისის ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, ისე როგორც ეს ნაჩვენებია სურათი №3.1:



სურათი №3.1 სტენდის საერთო ხედი ბეტონის ნიმუშების გამოცდისას ცენტრალური გაჭიმვის დროს



ნახაზი №3.2 მშრალი ბეტონის ცოცვადობის მრუდები



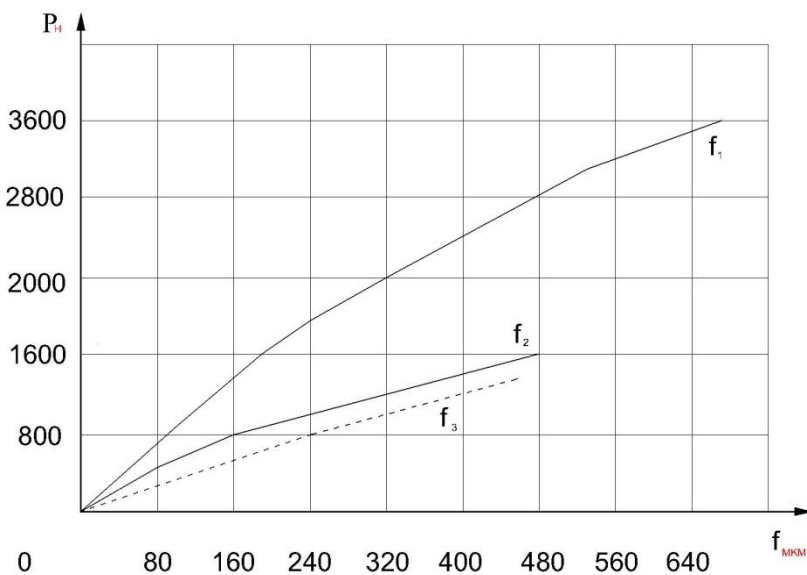
ნახაზი №3.3 წყალგაყენილი ბეტონის ცოცვადობის მრუდები

დეფორმაციები იზომებოდა საათის ტიპის ინდიკატორებით (1 მკმ) პრიზმების ორივე მხარეს ბაზით 15 სმ. დატვირთვამ შეადგინა $0.5R_{არღ.}$ შედეგები მოყვანილია ნახაზზე №3.2 და ნახაზზე №3.3. ისევე როგორც დ. ისხაისა და ზ. წილოსანის ექსპერიმენტებში, აქაც გამომშრალ (105°C) ბეტონზე არ დაფიქსირდა ცოცვადობა, ხოლო წყალში ბეტონი განიცდიდა ინტენსიურ დეფორმაციებს დროში. აღსანიშნავია ის, რომ მშრალ ბეტონში ძაბვა-

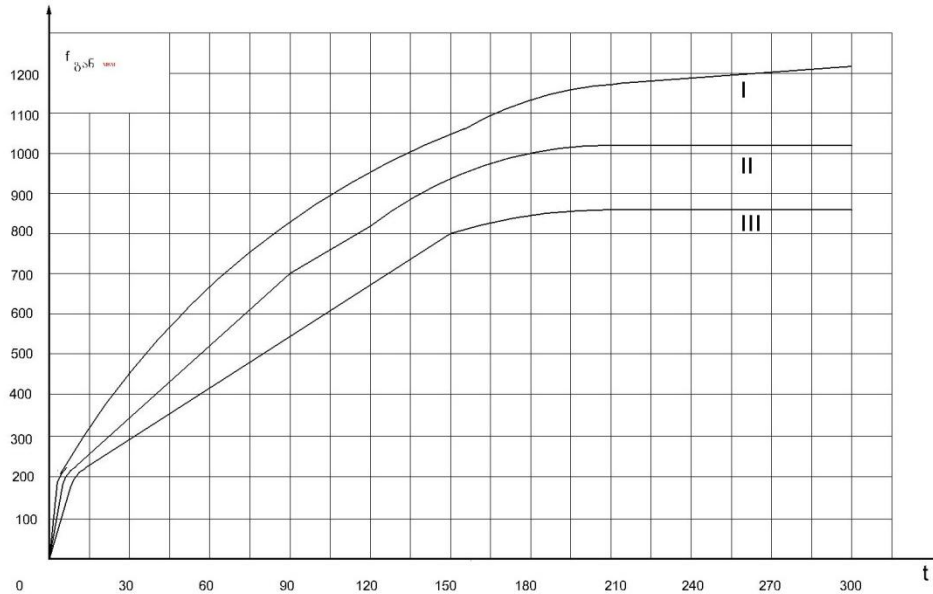
დეფორმაციებს შორის არსებობს პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება [17; 10].

ბეტონზე ჩატარებული ცდების ანალოგიურად ვ. ბალავაძემ და მ. ლორთქიფანიძემ გამოცადეს სხვადასხვა მყარი მასალები ზედაპირულად აქტიურ გარემოში. დაადგინეს, რომ აღნიშნულ გარემოში ეს დეფორმაციები მთლიანად შექცევადია, ანუ ზედაპირულად აქტიური გარემოს მოცილების შემდეგ მასალები წრფივი დეფორმაციის ფარგლებში მუშაობენ დრეკადად.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების გავლენის შესწავლისას მასალებზე, აუცილებელი გახდა ბეტონის ნიმუშების გამოცდა ღუნვაზე ბუნებრივ, წყლით გაჟღენთილ, გაჟღენთილ პოლარულ ბეტონისადმი ზედაპირულად აქტიური ხსნარით 0.5% CaCl და პოლიმერული ლეჩობეტონით. ბეტონის შემადგენლობაში მსხვილ შემვსებად გამოიყენებოდა წალკის ტუფი. ფორიანი შემვსებები იყო სპეციალურად შერჩეული, სადაც უფრო ნათლად გამოჩნდებოდა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების გავლენა ბეტონის სიმტკიცესა და დეფორმაციაზე (ნახაზი №3.4 და ნახაზი №3.5).



ნახაზი №3.4 ტუფობეტონი სხვადასხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით გაჟღენთილი შემვსებების ჩალუნვის მრუდეები (1-პოლიმერით; 2-წყლით, 3-0.5% CaCl)



ნახაზი №3.5 ტუფობეტონი სხვადასხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით გაჟღენთილი შემესების ცოცვადობის მრუდეები (1-პოლიმერით; 2-წყლით, 3-0.5% CaCl)

სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში ჩვენს მიერ ჩატარდა ექსპერიმენტალური სამუშაოები, სადაც დამზადდა ბეტონის ნარევისგან 36 კუბი ზომით 10×10×10 სმ, მათგან ნახევარი იყო დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000), ხოლო დარჩენილი საბაზო. ნიმუშების დაყალიბებიდან მეორე დღეს მოხდა მათი განყალიბება და მოთავსება რეჟიმის კამერაში (STHSX-1), სადაც ტენიანობა შეადგენდა 95%-ს, ხოლო ტემპერატურა $(20 \pm 2)^{\circ} \text{C}$. შემდეგ ეტაპობრივად გამოიცადა ნიმუშები მე-3; მე-7; მე-14; 28-ე, 56-ე და 180-ე დღეს ცენტრალურ კუმშვაზე ჰიდრავლიკურ წნეხზე (STYE 2000 C), რის შედეგადაც დადგინდა სიმტკიცე როგორც საბაზო, ასევე დანამატიან ბეტონზე.

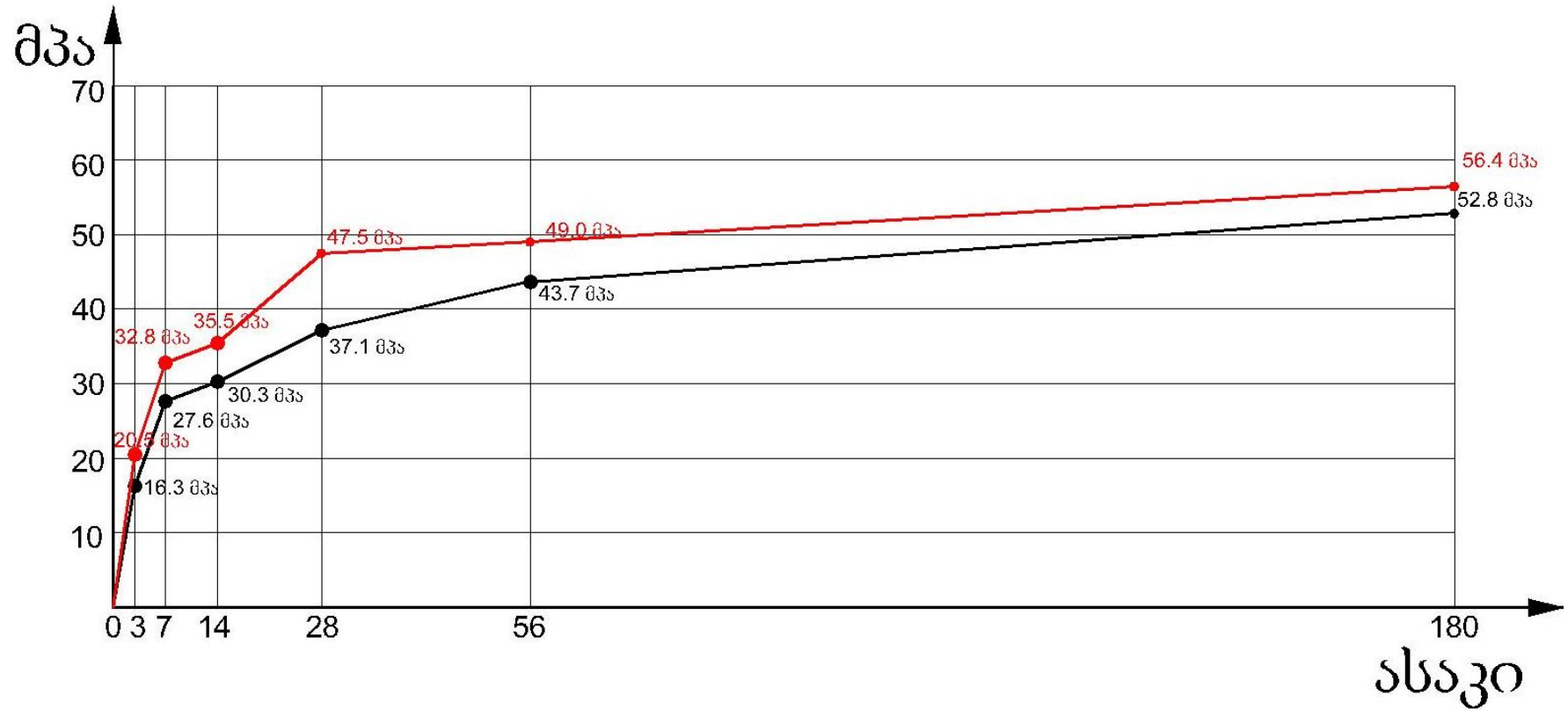
ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმზვისას (10×10×10 სმ)

ცხრილი №3.1

დანამატის დასახელება	ასაკიდლე-დამე	ნიმუშის ზომები a×b×h, სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	მასა, M გ	სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	მრღვევი დატვირთვა, P კნ	საშუალო სიმტკიცი, მპა	საშუალო სიმტკიცი, კგ/სმ ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
საბაზო	3	10×10×10	100	1000	2354	2.354	171.92	16.3	166.09
	7	10×10×10	100	1000	2299	2.299	290.86	27.6	281.24
	14	10×10×10	100	1000	2309	2.309	319.29	30.3	308.75
	28	10×10×10	100	1000	2343	2.343	389.55	37.1	378.04
	56	10×10×10	100	1000	2373	2.373	514.50	49.0	499.31
	180	10×10×10	100	1000	2347	2.347	554.42	52.8	538.03
ქსაიბეკს ადმიქს C-1000	3	10×10×10	100	1000	2378	2.378	215.25	20.5	208.89
	7	10×10×10	100	1000	2304	2.304	344.91	32.8	334.23
	14	10×10×10	100	1000	2348	2.348	372.75	35.5	361.74
	28	10×10×10	100	1000	2391	2.377	498.75	47.5	484.02
	56	10×10×10	100	1000	2344	2.344	490.47	46.6	474.85
	180	10×10×10	100	1000	2317	2.317	592.23	56.4	574.71

ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმზვისას (10×10×10 სმ)

ნაზაზი №3.6



—

საბაზო

—

დანამატი - ქსაიპექს ადმიქს ც-1000

ბეტონის ცენტრალურ კუმშვაზე ჩატარებულმა ცდებმა გვიჩვენა, რომ დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცე 3; 7; 14 და 28 დღეზე მნიშვნელოვნად მეტია საბაზო ბეტონის სიმტკიცესთან შედარებით. თუმცა დანამატიან ბეტონში სიმტკიცის ზრდას აქვს მიღევადი ხასიათი (180 დღე) იმ დროს, როდესაც საბაზო ბეტონის სიმტკიცე იზრდება და უახლოვდება დანამატიან ბეტონს (ცხრილი №3.1 და ნახაზი №3.6). სავარაუდოდ, დანამატიან ბეტონის პირველ დღეებში სწრაფი სიმტკიცის მატების მიზეზი ბეტონის სტრუქტურის ერთგვაროვნებაა, რაც გამოწვეულია ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის მიერ ფორებისა და მიკრობზარების კრისტალიზაციით ამოვსების შედეგად, ხოლო მისი სიმტკიცის ზრდის შენელების მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 თავის თავზე იღებს რა წყალს ბეტონის ნარევიდან და არ ხდება ცემენტისა და წყლის შემდგომი ქიმიური რეაქცია. თუმცა გარეგანი ძაბვების ზემოქმედების დროს დანამატი მუდმივად დამატებით შედის წყალთან ქიმიურ რეაქციაში და შესაბამისად სიმტკიცე იზრდება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ხოლო საბაზო ბეტონში წყლის არსებობა აცოცხლებს ბეტონს მრავალი წლის განმავლობაში, რაც განასხვავებს მას მყარი მასალებისაგან. აქვე შეიძლება მოვიყვანოთ პროფესორ ანზორ ნადირაძის ხატოვანი გამონათქვამი, რომელმაც ბეტონი დაახასიათა განსხვავებით სხვა მასალებისაგან როგორც ცოცხალი ორგანიზმი, რომელიც იზადება და ცოცხლობს წლების განმავლობაში და ბოლოს იქცევა ქვად.

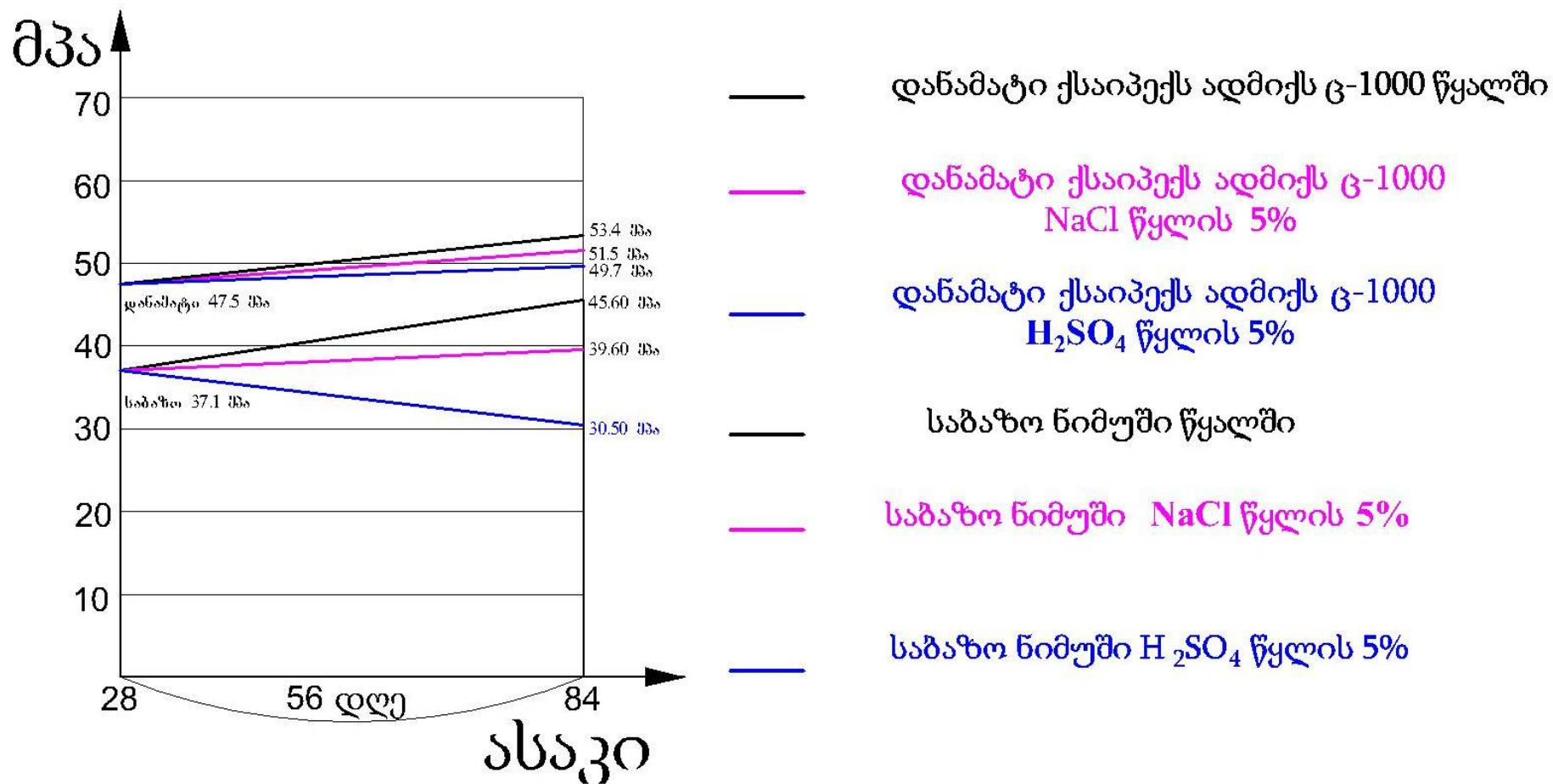
ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმზისას (10×10×10 სმ)
აგრესიულ გარემო პირობებში (H₂SO₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%)

ცხრილი №3.2

დაწამატის დასახელება	ნიმუშის ნომერი	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების მოთავსებამდე ასაკი დღე-ღამე	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების დაყოფნა ასაკი დღე-ღამე	გამოცდილი ნიმუშის ასაკი	ნიმუშის ზომები a×b×h, სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	აგრესიული გარემო, წყლის 5%	მასა, M გ	სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	მრღვევი დატვირთვა, P კნ	სიმტკიცე, მზა	სიმტკიცე, კგ/სმ ²
საბაზო	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	28	56	84	10×10×10	100	1000	---	2332	2.332	478.8	45.6	464.66
	2	28	56	84	10×10×10	100	1000	NaCl	2384	2.384	417.07	39.6	403.52
	3	28	56	84	10×10×10	100	1000	H ₂ SO ₄	2322	2.322	320.59	30.5	310.79
ქსაიბექს ადმიქს ც-1000	1	28	56	84	10×10×10	100	1000	---	2372	2.372	561.63	53.4	544.14
	2	28	56	84	10×10×10	100	1000	NaCl	2373	2.373	542.36	51.5	524.78
	3	28	56	84	10×10×10	100	1000	H ₂ SO ₄	2347	2.347	523.05	49.7	506.44

ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას აგრესიულ გარემო პირობებში (10×10×10 სმ)

ნახაზი № 3.7



საბაზო ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას (4×4×16 სმ)
აგრესიულ გარემოში (H₂SO₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%)

ცხრილი №3.3

№	დასახელება	სიმტკიცე ღუნვის დროს						სიმტკიცე კუმშვის დროს					
		აგრესიულ გარემოში ნიმუშების მოთავსებამდე ასაკი დღე-ღამე	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების დაყოვნება ასაკი დღე-ღამე	გამოცდილი ნიმუშის ასაკი	წყალი	NaCl წყლის 5%	H ₂ SO ₄ წყლის 5%	წყალი	NaCl წყლის 5%	H ₂ SO ₄ წყლის 5%			
1	ნიმუშის ზომები, სმ	1	2	3	4	5	6						
	სიმაღლე, h სმ	28	56	84	4	4	4	4	4	4	4		
	სიგანე, α სმ				4	4	4	4	4	4	4		
განივკვეთის ფართობი, S სმ ²	---				---	---	16	16	16				
3	მრღვევი დატვირთვა, PP კნ	28	56	84	9.5	7.7	7	89.46	86.45	83.26	86.15	62.85	67.49
4	სიმტკიცის ზღვარი, მპა				---	---	---	55.9	54.0	52.0	53.8	39.3	42.2
5	სიმტკიცის ზღვარი, კგ/სმ ²				111.15	90.09	81.9	569.62	550.26	529.88	548.22	400.46	430.01
6	სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებულ ლიმნიშენელობა (დუნვაზეორი, ხოლო კუმშვაზე ოთხიუდიდესი მ ედეგიდან) კგ/სმ ²				111.15	90.09	81.9	559.94	539.15	415.23			

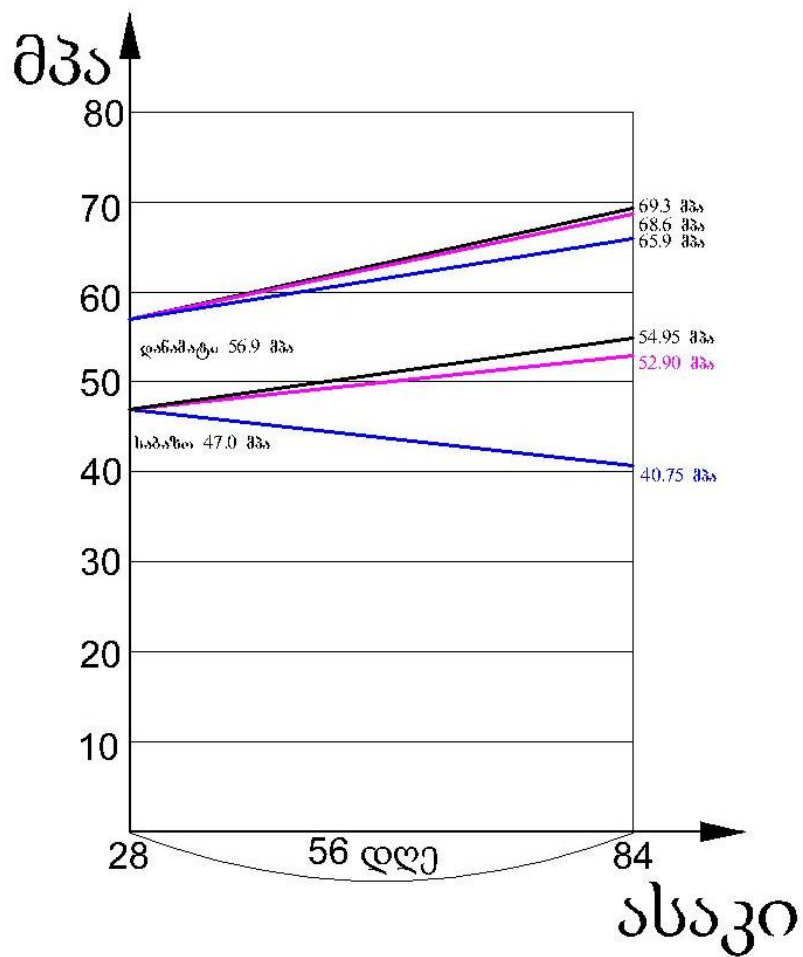
დანამატთან (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას (4×4×16 სმ)

აგრესიულ გარემოში (H₂SO₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%)

ცხრილი №3.4

№	დასახელება	სიმტკიცე ღუნვის დროს						სიმტკიცე კუმშვის დროს					
		აგრესიულ გარემოში ნიმუშების მოთავსებამდე ასაკი დღე-ღამე	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების დაყოვნება ასაკი დღე-ღამე	გამოცდილი ნიმუშის ასაკი	წყალი	NaCl წყლის 5%	H ₂ SO ₄ წყლის 5%	წყალი	NaCl წყლის 5%	H ₂ SO ₄ წყლის 5%			
	ნიმუშის ზომები, სმ	1	2	3	4	5	6						
1	სიმაღლე, h სმ	28	56	84	4	4	4	4	4	4	4		
	სიგანე, α სმ				4	4	4	4	4	4			
2	განივკვეთის ფართობი, S სმ ²				---	---	---	16	16	16			
3	მრღვევი დატვირთვა, PP კნ				6.6	7.9	7.4	114.27	107.46	112.27	107.24	107.20	103.66
4	სიმტკიცის ზღვარი, მპა				---	---	---	71.4	67.2	70.2	67.0	67.0	64.8
5	სიმტკიცის ზღვარი, კგ/სმ ²				77.22	92.43	86.58	727.56	684.76	715.33	682.73	682.73	660.31
6	სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებული ნიშნელობა (ღუნვაზე ორი, ხოლო კუმშვაზე ოთხი უდიდესი შედეგიდან) კგ/სმ ²				77.22	92.58	86.58	706.16	699.03	671.52			

ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას აგრესიულ გარემო პირობებში (4×4×16 სმ)



- დანამატი ქსაიპეეს ადმიქს ც-1000 წყალში
- დანამატი ქსაიპეეს ადმიქს ც-1000 NaCl წყლის 5%
- დანამატი ქსაიპეეს ადმიქს ც-1000 H₂SO₄ წყლის 5%
- საბაზო ნიმუში წყალში
- საბაზო ნიმუში NaCl წყლის 5%
- საბაზო ნიმუში H₂SO₄ წყლის 5%

ბეტონის ნიმუშების დაყალიბებიდან (10×10×10 სმ; 4×4×16 სმ) მეორე დღეს მოხდა მათი განყალიბება და მოთავსება რეჟიმის კამერაში (STHSX-1), სადაც ტენიანობა შეადგენდა 95%-ს, ხოლო ტემპერატურა (20±2)°C. 28-ე დღეს მოხდა როგორც საბაზო, ასევე დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის ნიმუშების მოთავსება აგრესიულ გარემოში (H₂SO₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%) 56 დღის განმავლობაში [25]. ამის შემდეგ ნიმუშები (10×10×10 სმ) გამოიცადა კუმშვაზე ჰიდრავლიკურ წნეხზე (STYE 2000 C), ხოლო ნიმუშები (4×4×16 სმ) - ჯერ ღუნვაზე (KZI-5000) და შემდეგ კუმშვაზე. ცდებმა თვალნათლივ დაგვანახა საბაზო და დანამატიან ბეტონებს შორის სიმტკიცეების მნიშვნელოვანი სხვაობა (ცხრილი №3.2 და ნახაზი №3.7; ცხრილი №3.3 და ცხრილი №3.4 - ნახაზი №3.8).

დასკვნა

ბეტონის ცენტრალურ კუმშვაზე ჩატარებულმა ცდებმა დაგვანახა, რომ დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცე ადრეულ ასაკში მნიშვნელოვნად მეტია საბაზო ბეტონის სიმტკიცესთან შედარებით და აქვს მიღწევადი ხასიათი. დანამატიან ბეტონის პირველ დღეებში სწრაფი სიმტკიცის მატების მიზეზი ბეტონის სტრუქტურის ერთგვაროვნებაა, რაც გამოწვეულია ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის მიერ ფორებისა და მიკრობზარების კრისტალიზაციით.

აგრესიულ გარემოში გამოცდილმა ნიმუშებმა გვაჩვენა, რომ განსაკუთრებით H₂SO₄-ით გაჟღენთილ საბაზო ნიმუშებში სიმტკიცის კლებამ შეადგინა 27-30%, იმ დროს როდესაც დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცე იგივე გარემოში ფაქტიურად არ შეცვლილა, დაახლოებით შეადგინა 2-3%, რაც ექსპერიმენტების განმზნევის ნორმას არ აღემატება.

თავი 4. დანამატიანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის ხანმედეგობის შესწავლა

პირველ პარაგრაფში მოცემულია ექსპერიმენტალური კვლევები ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის წყალშეუღწევადობის პარამეტრების დასადგენად.

სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში დამზადდა ბეტონის ნიმუშები წაკვეთილი კონუსის ფორმის, სპეციალური ცილინდრული ფორმის ყალიბებში: ყალიბის ზედა შიდა დიამეტრი შეადგენს 174.00 მმ-ს, ქვედა შიდა დიამეტრი-185.00 მმ, ხოლო სიმაღლე 185.00 მმ-ს.

დაყალიბებიდან მეორე დღეს მოხდა როგორც საბაზო, ასევე დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის ცილინდრული ნიმუშების განყალიბება და მოთავსება სტანდარტულ გამამკვრივებელ კამერაში HBY-40B, სადაც ინახებოდა 28 დღის განმავლობაში. ნიმუშები გამკვრივების შემდეგ დაყოვნებული იქნა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე, რის შემდეგაც მოხდა ნიმუშების გასუფთავება, პარაფინით დამუშავება და მათი წყალშეუღწევადობის გამოსაცდელ სპეციალურ სტენდზე STZHSJ-4 დამაგრება.

ერთდროულად სტენდზე მოთავსებული იქნა ბეტონის 6 საბაზო და 6 დანამატიანი ცილინდრული ნიმუში. ნიმუშების ქვედა ზედაპირზე სპეციალური აპარატის საშუალებით განხორციელდა წყლის მიწოდება, საწყისი დაწნევით 0.1 მპა. დაწნევის მომატება ხდებოდა ავტომატურად 0.1 მპა ყოველ 8 საათის შემდეგ (სურათი №4.1). საბაზოსა და დანამატიან ბეტონის წყალშეუღწევადობაზე მივიღეთ შემდეგი მაჩვენებელი:

საბაზო ბეტონში წყალშეუღწევადობის მაჩვენებელი $W=6$ მპა;

დანამატიან ბეტონში წყალშეუღწევადობის მაჩვენებელი $W=12$ მპა.



სურათი №4.1 ჰიდროტექნიკური ბეტონის ცილინდრული ნიმუშები
წყალშეუღწევადობის სტენდზე

წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:
 $W=10H-1$, სადაც H შეესაბამება დაწნევას (ატმ), რომელზეც ფიქსირდება წყლის გაჟონვა ნიმუშის ზედაპირზე.

ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 დანამატიან ბეტონში წყალშეუღწევადობა $W=12$ მკა-ს, რაც ძალიან მაღალი მაჩვენებელია ჰიდროტექნიკური ბეტონისათვის.

ექსპერიმენტული კვლევები ჩატარდა აგრეთვე ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონების მასით წყალშთანთქმაზე.

ლაბორატორიაში ბეტონის ნიმუშების დაყალიბებიდან (ზომით $10 \times 10 \times 10$ სმ) როგორც საბაზო, ასევე დანამატიანის (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) მეორე დღეს მოხდა მათი განყალიბება და მოთავსება რეჟიმის კამერაში (STHSX-1), სადაც ტენიანობა შეადგენდა 95%-ს, ხოლო ტემპერატურა $(20 \pm 2)^{\circ} \text{C}$. 28-ე დღეს დადგინდა 3-3 ნიმუშის (საბაზო და დანამატიანი) გეომეტრიული ზომა და წონა, ხოლო დანარჩენი 3-3 ნიმუში (საბაზო და დანამატიანი) 24 საათის განმავლობაში მოთავსებული იყო წყლის აუზში, სადაც წყლის ტემპერატურა შეადგენდა $(20 \pm 2)^{\circ} \text{C}$ -ს. ნიმუშების ზედაპირი დაფარული იყო წყალში 50 მმ-ით. შემდგომ მოხდა ნიმუშების ამოღება წყლიდან და გამშრალება სველი გაწურული ტილოთი. დადგინდა წყალგაჯერებული ნიმუშების გეომეტრიული ზომა და მასა. ამის შემდეგ განისაზღვრა ნიმუშების საშუალო მასითი წყალშთანთქმა პროცენტებში (ცხრილი №4.1):

ჰიდროტექნიკური ბეტონის მასითი წყალშთანთქმა

ცხრილი №4.1

№	ნიმუში	ნიმუშის ზომები $a \times b \times h$ სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	ნიმუშის წონა მშრალ მდგომარეობაში, გრ	ნიმუშის წონა წყლით გაჯერებულ მდგომარეობაში, გრ	წყალშთანთქმა %	საშუალო მოცულობითი წყალშთანთქმა %
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	საბაზო	10×10×10	100	1000	2335.1	2368.4	1.42	1.41
2		10×10×10	100	1000	2378.4	2411.8	1.40	
3		10×10×10	100	1000	2391.7	2426.1	1.43	
1		4×4×16	64	256	614.8	627.3	2.03	2.06
2		4×4×16	64	256	614.6	627.5	2.09	
3		4×4×16	64	256	615.2	627.9	2.06	
1	ქსაიბეკს ადმიქს ც-1000	10×10×10	100	1000	2372.6	2386.7	0.59	0.59
2		10×10×10	100	1000	2374.3	2389.0	0.62	
3		10×10×10	100	1000	2411.2	2424.7	0.56	
1		4×4×16	64	256	614.2	618.5	0.70	0.66
2		4×4×16	64	256	613.7	617.5	0.62	
3		4×4×16	64	256	613.3	617.4	0.66	

დანამატის ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის დადებითი მოქმედება ბეტონზე განსაკუთრებით კიდევ ერთხელ ნათლად გამოჩნდა მასით წყალშთანთქმაზე გამოცის შედეგებში. ფორების შევსების ხარისხის სხვაობამ საბაზოსთან შედარებით შეადგინა კუბებში 58% და ძელაკებში 68%.

ამავე პარაგრაფში მოცემულია ექსპერიმენტული კვლევები ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის წყალმედგობაზე.

დამზადდა დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) და საბაზო ბეტონის კუბები ზომით 10×10×10 სმ. ნიმუშების დაყალიბებიდან მეორე დღეს მოხდა მათი განყალიბება და მოთავსება რეჟიმის კამერაში (STHSX-1), სადაც ტენიანობა შეადგენდა 95%-ს, ხოლო ტემპერატურა $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$. შემდეგ ეტაპობრივად ხდებოდა წყლის დონის ცვლილება როგორც საბაზო, ასევე დანამატიან (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის ნიმუშებზე. 28-ე დღეს ნიმუშები გამოიცადა ცენტრალურ კუმშვაზე ჰიდრაულიკურ წნეხზე (STYE 2000 C), რის შედეგადაც დადგინდა მათი სიმტკიცის მახასიათებელი (ცხრილი №4.2):

ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე წყალმედეგობაზე

ცხრილი №4.2

დანამატის დასახელება	ნიმუშის ნომერი	ასაკი/დღე-ღამე	ნიმუშის ზომები $a \times b \times h$ სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	მასა, M გ	სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	საშუალო სიმკვრივე ρ გრ/სმ ³	მრღვევიდატვირთვა, P _{კნ}	სიმტკიცე, მზა	საშუალო სიმტკიცე, კგ/სმ ²	საშუალო სიმტკიცე მზა/კგ/სმ ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
საბაზო	1	28	10×10×10	100	1000	2415	2.415	2.369	347.55	33.1	337.28	35.8/364.79
	2	28	10×10×10	100	1000	2378	2.378		406.35	38.7	394.35	
	3	28	10×10×10	100	1000	2316	2.316		373.82	35.6	362.76	
ქსაიბექს ადმიქს C-1000	1	28	10×10×10	100	1000	2378	2.378	2.425	501.90	47.8	487.08	47.56/484.70
	2	28	10×10×10	100	1000	2411	2.411		495.61	47.2	480.96	
	3	28	10×10×10	100	1000	2488	2.488		500.85	47.7	486.06	

ზემოთ აღწერილი ექსპერიმენტის მიხედვით დანამატიანი ბეტონზე ცვალებადად მომქმედმა გარემომ არ გამოიწვია მისი სიმტკიცის კლება.

თავი 5. დანამტიანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის დეფორმაციული მახასიათებლების შესწავლა

განხილულია ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამტიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის გრძივი, განივი დეფორმაციების, ასევე მრავალჯერადად სტატიკური დატვირთვებით გამოწვეული დეფორმაციების დრეკადობის მოდულისა და პუასონის კოეფიციენტის ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები.

5.1 დანამტიანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტული კვლევები ხანმოკლე დატვირთვის დროს

ცნობილია, რომ მასალის განივი ფარდობითი დეფორმაციის ფარდობა მის გრძივ ფარდობით დეფორმაციასთან პუასონის კოეფიციენტი ეწოდება და იგი წარმოადგენს მასალის დრეკადობის მახასიათებელს. მრავალრიცხოვანი ცდები თვალნათლივ გვიჩვენებს, რომ შეკუმშული ბეტონის პუასონის კოეფიციენტი ძაბვის განსაზღვრულ მდგომარეობამდე მუდმივი სიდიდეა, ხოლო შემდეგ ის იზრდება. თუმცა მისი ზრდა ზოგ შემთხვევაში ვითარდება სწრაფად და უეცრად წყდება, ზოგ შემთხვევაში კი ნელა, თანდათანობით, რაც დამოკიდებულია მასალის გეოლოგიურ თვისებებზე და გაჭიმვის დეფორმაციის შეზღუდვის ხარისხზე.

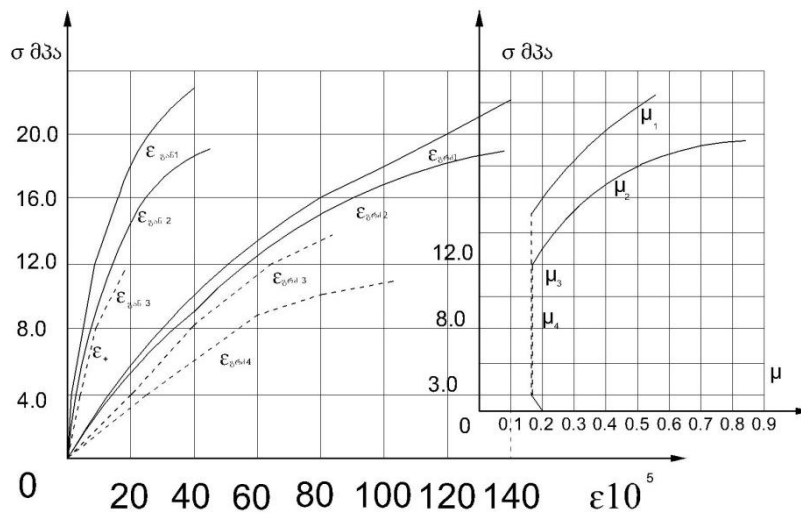
ცნობილი სპეციალისტები, კერძოდ ე. ფრეისინე, რ. დერმიტი, რ. ჯონსი, გ. რუში და სხვა თვლიან, რომ შეკუმშულ ბეტონში მისი მოცულობის ზრდის მიზეზი არის მასში შეუქცევადი ბზარების გაჩენა, შესაბამისად იმ მომენტიდან, როდესაც პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0.5$, შექცევადი მიკრობზარები გადადიან შეუქცევად მდგომარეობაში.

ტ.მ.დ. ვ. ბალავადის და მ. ლორთქიფანიძის [12; 17] ექსპერიმენტალურ-თეორიული კვლევების საფუძველზე შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ გაჭიმვის დეფორმაციის შეზღუდვის პირობებში (მათ შემთხვევაში იგი იქმნებოდა

პრესსა და ნიმუშს შორის არსებული ხახუნის ძალებით), შეკუმშულ ბეტონზე შეუქცევადი ბზარები ჩნდებოდნენ $\mu=0.5$ -მდე დიდი ხნით ადრე, პუასონის კოეფიციენტის მუდმივობის დარღვევის მომენტში. აღსანიშნავია, რომ პროფ. ო. ბერგი [19] თანამშრომლებთან ერთად მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ბზარწარმოქმნის სიმტკიცის ქვედა ზღვარი მიიღწევა პუასონის კოეფიციენტის (ბეტონი განივი გაფართოების) მუდმივობის ცვლილების დროს. ამგვარად, შეკუმშულ ბეტონში შეუქცევადი მიკრობზარები ჩნდებიან მისი ნამდვილი სიმტკიცის ზღვრის მიღწევისას, რომელიც წარმოადგენს ბეტონის მთლიანობის დარღვევის ზღვარს და რომ თავისუფალ შეკუმშულ ბეტონში (ხახუნის ძალებით შეუზღუდავში) მისი სიმტკიცის ზღვარი თანხვედბა მის მთლიანობის ზღვარს, ე.ი. სიმტკიცის ზღვარი რღვევისას იმავე დროს თანხვედბა სიმტკიცის ზღვარს მასში შეუქცევადი მიკრობზარების წარმოქმნისას. ამ დეტალების დასამტკიცებლად ავტორების მიერ იყო ჩატარებული ცდები ბეტონის პრიზმებზე ბუნებრივ, წყალგაჟღენთილ, ხახუნის ძალებით შეზღუდულ და ხახუნის გარეშე (თავისუფალ) მდგომარეობაში. მიღებული შედეგები მოყვანილია ნახაზზე №5.1. მიღებული შედეგების ანალიზი გვაძლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ შეუქცევადი მიკრობზარები შეზღუდულად შეკუმშულ ბეტონში ჩნდებიან $\mu=0.5$ ე.ი. მოცულობის ზრდასთან შედარებით გაცილებით ადრე, როდესაც პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0.5$ მათი განივი ფარდობითი დეფორმაცია მნიშვნელოვნად აღემატება ბეტონის შესაბამის საშუალო ზღვრულ დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციას. შეუქცევადი მიკრობზარების გაჩენამდე, შეკუმშულ ბეტონში პუასონის კოეფიციენტი დამაბული მდგომარეობის ყველა საფეხურზე მუდმივია, მისი სიდიდე ბეტონის ბუნებრივ და წყალგაჟღენთილ მდგომარეობაში თითქმის თანატოლია, ხოლო შეუქცევად ბზარების გაჩენისთანავე, პუასონის კოეფიციენტის სიდიდე მატულობს.

აღსანიშნავია, რომ შეუქცევადი მიკრობზარების გაჩენის მომენტში განივი ფარდობითი დეფორმაცია შეზღუდულ ბეტონში აღემატება გაჭიმვის

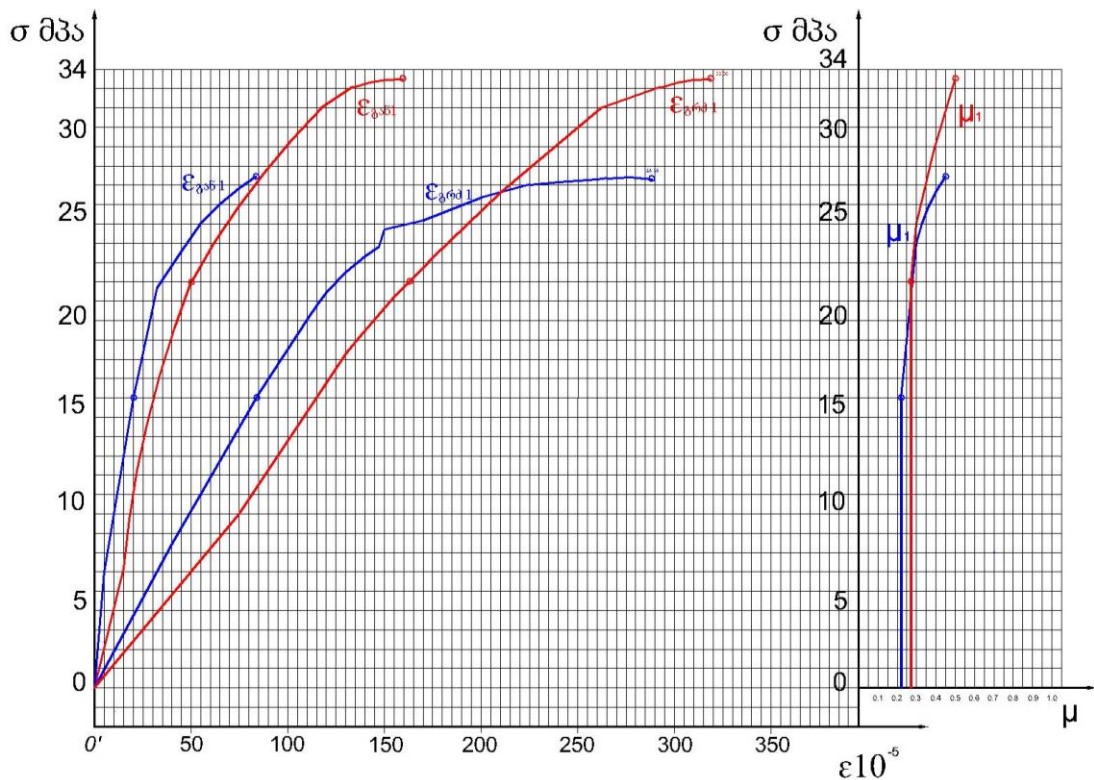
სამუშალო ზღვრულ დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციას, ხოლო თავისუფალ (ხახუნის გარეშე) ბეტონში კი რღვევისას ისინი ერთმანეთს უტოლდებიან.



ნახაზი №5.1 მძიმე ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის μ მრუდები მისი ცენტრალური კუმშვის დროს ($\epsilon_{გაბ1}$; $\epsilon_{გაბ1}$; μ_1) - შეზღუდული ბეტონი ბუნებრივ მდგომარეობაში; ($\epsilon_{გაბ2}$; $\epsilon_{გაბ2}$; μ_2) - შეზღუდული წყალგაყენითი ბეტონი; ($\epsilon_{გაბ3}$; $\epsilon_{გაბ3}$; μ_3)- თავისუფალი ბეტონი ბუნებრივ მდგომარეობაში; ($\epsilon_{გაბ4}$; $\epsilon_{გაბ4}$; μ_4)- თავისუფალი წყალგაყენითი ბეტონი.

სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში ჩატარდა ექსპერიმენტალური კვლევები ჰიდროტექნიკური ბეტონის დეფორმაციაზე ცენტრალური კუმშვის დროს. დამზადდა ზემოთ აღწერილი ტექნოლოგიით 3 საბაზო და 3 დანამატიანი ბეტონის პრიზმები ზომებით 10×10×30 სმ. მათი გამოცდა მოხდა დამზადებიდან 28-ე დღეს წნეხზე WA-1000. განივი დეფორმაციები იზომებოდა 50 მმ-იანი გადამწოდით, რომლებსაც ვაწებებდით БФ 2 წებოთი პრიზმის ორ მოპირდაპირე გვერდზე. ანათვლები იღებოდა АИД-ით, ხოლო გრძივ დეფორმაციებს ვზომავდით საათის ტიპის ინდიკატორით, დანაყოფის ფასით 0.001 მმ, ბაზით 10 სმ. დეფორმაციის გაზომვისას განსხვავებული ხელსაწყოების გამოყენება განპირობებული იყო იმით, რომ გრძივი დეფორმაციის აღრიცხვა აუცილებელი გახდა 10 სმ-იანი ბაზით, რათა სრულყოფილად მიგველო გრძივი დეფორმაციის მნიშვნელობები.

თავდაპირველად ბეტონის პრიზმებს მოვდეთ ძალა სიჩქარით $V=0.1\pm 0.2$ კნ/წმ. ანათვლების აღება ხდებოდა საფეხურებით ყოველ 5 მპა სიდიდით ნიმუშების საბოლოო რღვევამდე. ამგვარად ჩვენ ვაფიქსირებდით როგორც განივ, ასევე გრძივ დეფორმაციებს და ვღებულობდით შესაბამისად პუასონის კოეფიციენტს და დრეკადობის მოდულს. მიღებული შედეგების საფუძველზე ავაგეთ გრაფიკები (ნახაზი №5.2):



ნახაზი №5.2 ჰიდროტექნიკური ბეტონის გრძივი $\epsilon_{გრძ1}$; $\epsilon_{გრძ2}$; განივი $\epsilon_{გან1}$; $\epsilon_{გან2}$

დეფორმაციების და პუასონის კოეფიციენტის μ_1 ; μ_2 საშუალო მნიშვნელობებია, სადაც:

$\epsilon_{გან1}$; $\epsilon_{გრძ1}$; μ_1 - საბაზო ბეტონის განივი, გრძივი დეფორმაციები და პუასონის კოეფიციენტია;

$\epsilon_{გან2}$; $\epsilon_{გრძ2}$; μ_2 - დანამატიანი ბეტონის განივი, გრძივი დეფორმაციები და პუასონის კოეფიციენტია.

დასკვნა

ჰიდროტექნიკურ ბეტონზე მომქმედი ხანმოკლე დატვირთვის დროს $0.1R_{არღ}$ -მდე არ აღინიშნებოდა დეფორმაციები, ამიტომ ეს წერტილი მივიღეთ პირობით ნულად.

საბაზო ბეტონის დეფორმაციები დატვირთვის ყოველ საფეხურზე ნაკლებია დანამატიანი ბეტონის დეფორმაციებზე, ხოლო დანამატიანი ბეტონის ზღვრული დეფორმაციები 10%-ით და სიმტკიცე 15%-ით მეტი აღმოჩნდა საბაზოსთან შედარებით, რაც გვამლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ მისი გამოყენება რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ეფექტური იქნება.

დანამატიანი ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს $\mu = 0.27$ და იგი მუდმივი რჩება $0.75 R_{არღ}$ -მდე, რის შემდეგ განივი გაფართოების სიდიდე თანდათანობით იზრდება $\mu = 0.5$ -მდე და ხდება მყიფე ხასიათის რღვევა, იმ დროს, როდესაც პუასონის კოეფიციენტის სიდიდე საბაზო ბეტონში არის ნაკლები დანამატიანზე $\mu = 0.22$, ხოლო მუდმივობა შენარჩუნებულია $0.6 R_{არღ}$ -მდე და შემდეგ განივი გაფართოების კოეფიციენტი იზრდება $\mu = 0.40$ -მდე, რის შემდეგაც მასალა ირღვევა. აღსანიშნავია, რომ მუდმივობის დარღვევის მომენტში შესაბამისი განივი დეფორმაციები ანუ გაჭიმვის დეფორმაციები ოდნავ აღემატება ცენტრალური გაჭიმვის დეფორმაციებს.

დრეკადობის საწყისი მოდული საბაზო ბეტონისათვის აღმოჩნდა $E = 0.26 \cdot 10^{-6}$, ხოლო დანამატიანი ბეტონის კი $E = 0.17 \cdot 10^{-6}$. თუ დავაკვრდებით დეფორმაციის მრუდებს, დავინახავთ, რომ საბაზო ბეტონის σ, ε დრეკადობის მოდული $0.6R$ -ის, ხოლო დანამატიანის $0.75R$ -ის შემდეგ კლებულობს, რაც მათში შეუქცევადი მიკრობზარების გაჩენის მაჩვენებელია.

5.2 ჰიდროტექნიკური დანამატიანი ბეტონის ფიზიკურ- მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტული კვლევები მრავალჯერადი დატვითვის დროს

მყარი სხეულების ცოცვადობის ბუნების შესახებ ადსორბციული თეორიის პოზიციიდან გამომდინარე წარმოდგენილია ბეტონის ზღვრული მახასიათებლების უნივერსალური გრაფიკი. გამოცდილი იქნა სხვადასხვა ასაკისა და ტენიანობის ბეტონის ნიმუშები და გამოვლენილი იქნა ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ზოგადი კანონზომიერებანი; სიმტკიცის ჭეშმარიტი ზღვარი, ზღვრული დეფორმაცია, გამძლეობისა და ხანგრძლივი წინალობის ზღვარი [12; 17; 19; 20].

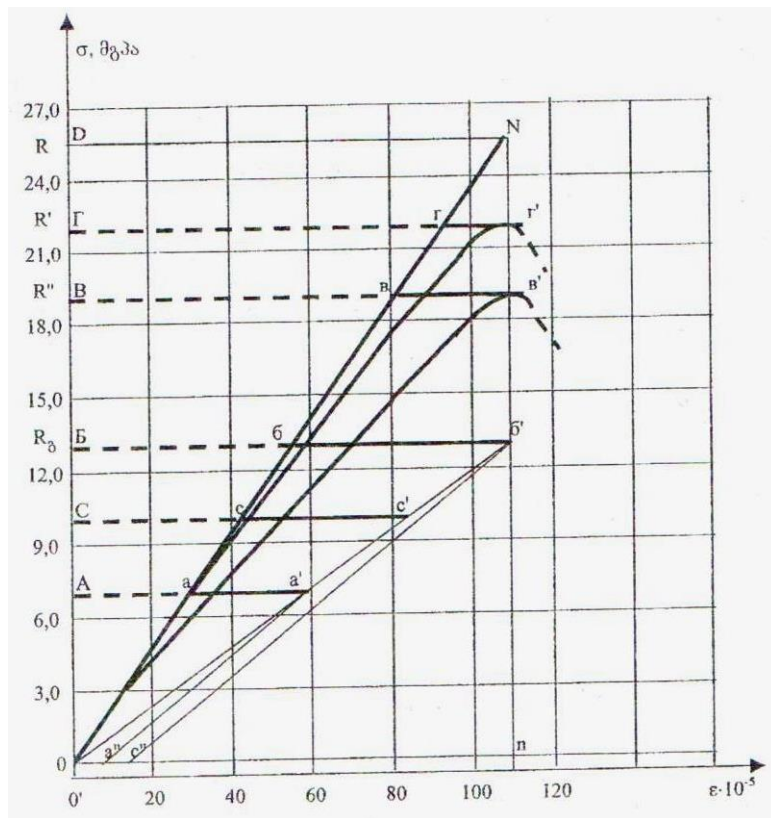
ბეტონის პრიზმების 10x10x40 სმ გამოცდა ღერძულ კუმშვაზე მიმდინარეობდა წნეხზე H-50. პრიზმის წახნაგებსა და წნეხის ფილებს შორის ხახუნის მოსახსნელად (შესამცირებლად) პრიზმის წახნაგები იფარებოდა პარაფინით.

გრძივი დეფორმაციები იზომებოდა წინალობის გადამწოდებით (ბაზა 50 მმ), რომლებიც პრიზმის საპირისპირო წახნაგების შუა ნაწილში იყო განლაგებული. გადამწოდების მონაცემების რეგისტრირება ხდებოდა АИД-ის ტიპის ორი ხელსაწყოს მეშვეობით დანაყოფის ფასით 1×10^{-5} (თითოეულ გადამწოდზე ცალცალკე დეფორმაციის ფიქსაციისათვის).

განსაზღვრულ დატვირთვამდე (განსახილველ შემთხვევაში 300ნ) ბეტონი არ დეფორმირდებოდა. ეს მონაცემი მიღებული იქნა საწყისად მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში σ, ϵ . შემდგომში ნიმუშს ვადებდით მყისიერ მაქსიმალურ მრღვევ ძალას 15.0 მპა/წმ სიჩქარით. ნიმუშის რღვევის მომენტში ერთდროულად ფიქსირდებოდა მრღვევი დატვირთვა, ხოლო ორი АИД-ის მეშვეობით - ზღვრული დეფორმაცია.

ამრიგად, მანომეტრის მონაცემებით დავადგინეთ მყისიერი მაქსიმალური მრღვევი ძალა და ერთდროულად ზღვრული დეფორმაცია, როგორც АИД-ის ორი მონაცემის საშუალო არითმეტიკული. ორდინატთა ღერძზე გაიზომა OD - სიმტკიცის ნამდვილი ზღვარი $R=25.0$ მპა, ხოლო D

წერტილიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით DN ბეტონის ზღვრული დრეკადი დეფორმაცია $\varepsilon=104 \times 10^{-5}$. N წერტილიდან გავლებულია ვერტიკალი Nn აბსცისთა ღერძის გადაკვეთამდე. N წერტილი შევადრთეთ კოორდინატთა სათავესთან 0. ამრიგად, მხოლოდ ერთი ბეტონის ნიმუშისათვის გამოცდის მონაცემების მიხედვით განისაზღვრა სიმტკიცის ნამდვილი ზღვარი, მისი შესაბამისი ზღვრული დრეკადი დეფორმაცია $\varepsilon_{ზღ}$ და ON წრფე, რომელიც განსაზღვრავდა დამოკიდებულებას ბეტონის დეფორმაციასა და დამაბულობას შორის, ნახაზი №5.1 (რომლის დახრის კუთხის ტანგენსი აბსცისთა ღერძის მიმართ წარმოადგენს დრეკადობის მოდულს).



ნახაზი №5.3 შეკუმშული ბეტონის უნივერსალური გრაფიკი

ჰიდროტექნიკური ბეტონის დეფორმაციაზე ცენტრალური მრავალჯერადი სტატიკური კუმშვის დროს დამზადდა იგივე ზემოთ აღწერილი ტექნოლოგიით 3 საბაზო და 3 დანამატიანი ბეტონის პრიზმები ზომებით $10 \times 10 \times 30$ სმ. მათი გამოცდა მოხდა დამზადებიდან 28-ე დღეს წნეხზე

WA-1000. გრძივ დეფორმაციებს ვზომავდით საათის ტიპის ინდიკატორით, დანაყოფის ფასით 0.001 მმ, ბაზით 10 სმ.

თავდაპირველად ბეტონის პრიზმებს მოვდეთ ძალა სიჩქარით $V=0.1\pm 0.2$ კნ/წმ რღვევამდე. ვაფიქსირებდით ბეტონის სიმტკიცესა და ზღვრულ დეფორმაციას. საბაზო ბეტონის სიმტკიცემ შეადგინა $R=28.2$ მპა, ზღვრული დეფორმაცია $\epsilon_{ზღვ}=288\cdot 10^{-5}$ დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცემ შეადგინა $R=33.7$ მპა, ზღვრული დეფორმაცია $\epsilon_{ზღვ}=319\cdot 10^{-5}$ შემდეგ ნიმუშები გამოიცადა მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვებით საფეხურებით:

$\sigma_1=11.2$ მპა ხანმოკლე დატვირთვამ მოგვცა დეფორმაცია $\bar{A} a \quad \epsilon=50\cdot 10^{-5}$ და 10 ციკლმა გამოიწვია $a a'$ ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon=5\cdot 10^{-5}$ საბაზოში, ხოლო დანამატიაში ხანმოკლე დატვირთვამ მოგვცა დეფორმაცია $\bar{A} A \quad \epsilon=75\cdot 10^{-5}$ და 10 ციკლმა $A A'$ ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon=7\cdot 10^{-5}$;

შემდეგ საფეხურზე $\sigma_2=17$ მპა ხანმოკლე დატვირთვამ მოგვცა დეფორმაცია $\bar{B} b \quad \epsilon=95\cdot 10^{-5}$ და 10 ციკლმა გამოიწვია $b b'$ ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon=17\cdot 10^{-5}$ საბაზოში, ხოლო დანამატიაში ხანმოკლე დატვირთვამ მოგვცა დეფორმაცია $\bar{B} B \quad \epsilon=120\cdot 10^{-5}$ და 10 ციკლმა გამოიწვია $B B'$ ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon=10\cdot 10^{-5}$;

შემდეგ საფეხურზე $\sigma_3=23$ მპა ხანმოკლე დატვირთვამ მოგვცა დეფორმაცია $\bar{C} c \quad \epsilon=195\cdot 10^{-5}$, შემცირდა მრუდის კუთხე ანუ დრეკადობის მოდული და 10 ციკლმა გამოიწვია $c c'$ ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon=40\cdot 10^{-5}$ საბაზოში, ხოლო დანამატიაში ხანმოკლე დატვირთვამ მოგვცა დეფორმაცია $\bar{C} C \quad \epsilon=187\cdot 10^{-5}$ და 10 ციკლმა გამოიწვია $C C'$ ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon=15\cdot 10^{-5}$;

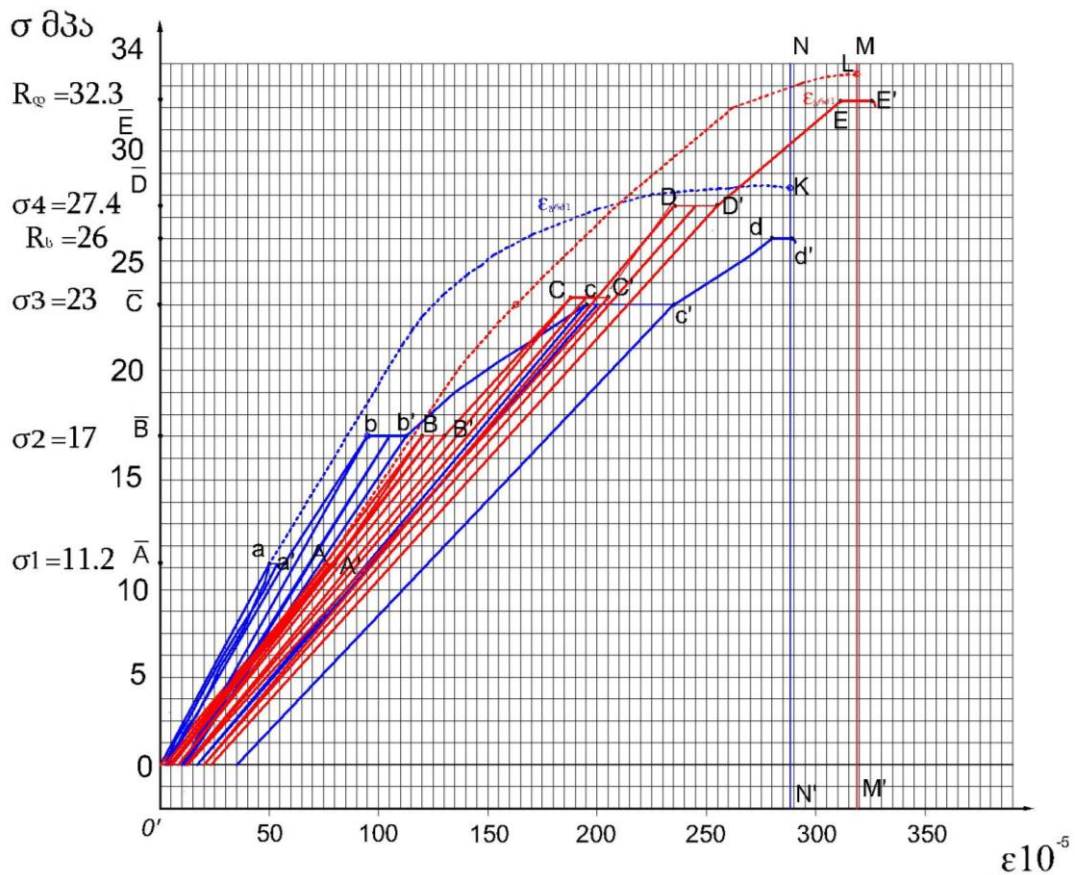
საბაზო ბეტონზე $\sigma=26$ მპა გარე ძაბვისას დეფორმაციის სიდიდემ შეადგინა $\bar{D} d \quad \epsilon=280\cdot 10^{-5}$ და გაგრძელდა არამილევადი დეფორმაცია რომელმაც მიგვიყვანა რღვევამდე $d d'$ ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon=9\cdot 10^{-5}$.

აღსანიშნავია, რომ დანამატიაში ბეტონი განაგრძობდა მუშაობას σ, ϵ პროპორციული დამოკიდებულებით საფეხურზე $\sigma_4=27.4$ მპა ხანმოკლე დატვირთვამ მოგვცა დეფორმაცია $\bar{D} D \quad \epsilon=235\cdot 10^{-5}$ და 10 ციკლმა გამოიწვია $D D'$ ცოცვადობის დეფორმაცია $\epsilon=20\cdot 10^{-5}$. დანამატიაში ბეტონზე $\sigma=32.7$ მპა გარე

ძაბვისას დეფორმაციის სიდიდემ შეადგინა $\bar{\epsilon} \epsilon = 310 \cdot 10^{-5}$ და გაგრძელდა არამილევადი დეფორმაცია რომელმაც მიგვიყვანა რღვევამდე EE' ცოცვადი დეფორმაცია $\epsilon = 13 \cdot 10^{-5}$.

საბაზო (OK) და დანამატიანი (ON) ბეტონების მრუდებია ხანმოკლე დატვირთვის დროს.

შედეგები მოცემულია გრაფიკების სახით ნახაზზე №5.4 რომლის ანალიზი გვამძლევს შემდეგი დასკვნების გაკეთებას:



ნახაზი №5.4 საბაზო და დანამატიანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე-დეფორმაციების დამოკიდებულების გრაფიკები

დასკვნა

ჰიდროტექნიკური ბეტონის გამოცდების ანალიზმა მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვების დროს გვიჩვენა, რომ საბაზო ბეტონის დეფორმაციები დატვირთვის ყოველ საწყის საფეხურზე ნაკლებია დანამატიანი ბეტონის დეფორმაციებზე. ხოლო ცოცვადი დეფორმაციები დაახლოებით ტოლია.

მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვების დროს მიღებული ზღვრული დეფორმაცია ტოლია ხანმოკლე დატვირთვის დროს ზღვრული დეფორმაციისა როგორც საბაზო, ასევე დანამატიან ბეტონებში. ხოლო სიმტკიცის ზღვარი მრავალჯერადი დატვირთვის დროს საბაზო ბეტონისთვის შემცირდა 12-15%-ით, ხოლო დანამატიანისთვის 2-3%-ით.

ძირითადი დასკვნები

1. ჰიდროტექნიკური ბეტონისათვის შემოთავაზებული დანამატების: ქსაიპექს ადმიქს ც-1000; კალმატრონ-დ და პენეტრონ ადმიქსის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლის შედეგად, სამუშაოს პირობებიდან გამომდინარე დანამატად შერჩეული იქნა 1.5 % ქსაიპექს ადმიქს ც-1000, რომლის შეღწევადობის მექანიზმი ბეტონის მიკრობზარებსა და ბზარებში კრისტალური მესერის სახით და მისგან დამზადებული ბეტონის მახასიათებლები - ადვილჩაწყობადობა, ნარევის პლასტიკურობა, ბეტონის დეფორმაციულობა და სიმტკიცე სხვა დანამატებთან შედარებით უფრო მისაღები აღმოჩნდა.
2. ბეტონის ცენტრალურ კუმშვაზე ჩატარებულმა ცდებმა დაგვანახა, რომ დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცე მეტია საბაზო ბეტონის სიმტკიცეზე;
 - აგრესიულ გარემოში გამოცდილმა ნიმუშებმა გვაჩვენა, რომ განსაკუთრებით H_2SO_4 -ით გაჟღენთილ საბაზო ნიმუშებში სიმტკიცის კლებამ შეადგინა 27-30%, იმ დროს როდესაც დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცე იგივე გარემოში ფაქტიურად არ შეცვლილა. დანამატიან ბეტონის სიმტკიცის შენარჩუნების მიზეზი ბეტონის სტრუქტურის ერთგვაროვნებაა, რაც გამოწვეულია ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის კრისტალიზაციით მის ფორებსა და მიკრობზარებში.
3. ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 დანამატიან ბეტონის ძირითადი ღირსებაა მისი მაღალი ხანმედეგობა:
 - წყალშეუღწევადობა - $W=12$ მპა;
 - მასით წყალშთანთქმა - საბაზო ბეტონის კუბებში შეადგინა 1.41 %, ძელაკებში- 2.06%; დანამატიანი ბეტონის კუბებში შეადგინა 0.59 %, ძელაკებში - 0.66%;
 - წყალმედეგობა - დანამატიან ბეტონზე ციკლურად მოქმედმა გარემომ არ გამოიწვია მისი სიმტკიცის კლება.
4. ჰიდროტექნიკურ ბეტონზე მოქმედი ხანმოკლე დატვირთვის დროს:
 - $0.1R_{მღ}$ -მდე არ აღინიშნებოდა დეფორმაციები, ამიტომ ეს წერტილი მივიღეთ პირობით ნულად;

- საბაზო ბეტონის დეფორმაციები დატვირთვის ყოველ საფეხურზე ნაკლებია დანამატიანი ბეტონის დეფორმაციებზე, ხოლო დანამატიანი ბეტონის ზღვრული დეფორმაციები 10%-ით და სიმტკიცე 15%-ით მეტი აღმოჩნდა საბაზოსთან შედარებით, რაც გვამლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ მისი გამოყენება რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ეფექტური იქნება;
 - დანამატიანი ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს $\mu = 0.27$ და იგი მუდმივი რჩება $0.75 R_{არღ}$ -მდე, რის შემდეგ განივი გაფართოების სიდიდე თანდათანობით იზრდება რღვევამდე $\mu = 0.5$. პუასონის კოეფიციენტის სიდიდე საბაზო ბეტონში $\mu = 0.22$ და მისი მუდმივობა შენარჩუნებულია $0.6 R_{არღ}$ -მდე, შემდეგ განივი გაფართოების კოეფიციენტი იზრდება $\mu = 0.40$ -მდე, რის შემდეგაც მასალა ირღვევა. აღსანიშნავია, რომ მუდმივობის დარღვევის მომენტში შესაბამისი განივი დეფორმაციები ოდნავ აღემატება ცენტრალური გაჭიმვის დეფორმაციებს.
 - დრეკადობის საწყისი მოდული საბაზო ბეტონისათვის აღმოჩნდა $E = 0.26 \cdot 10^{-6}$, ხოლო დანამატიანი ბეტონის კი $E = 0.17 \cdot 10^{-6}$. საბაზო ბეტონის σ, ε დრეკადობის მოდული $0.6R$ -ის, ხოლო დანამატიანის $0.75R$ -ის შემდეგ კლებულობს, რაც მათში შეუქცევადი მიკრობზარების გაჩენის მაჩვენებელია.
- 5 ჰიდროტექნიკური ბეტონის გამოცდების ანალიზმა მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვების დროს გვიჩვენა, რომ საბაზო ბეტონისა და დანამატიანი ბეტონის დეფორმაციები დატვირთვის ყოველ საფეხურზე დაახლოებით ტოლია;
- მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვების დროს მიღებული ზღვრული დეფორმაცია ტოლია ხანმოკლე დატვირთვის დროს ზღვრული დეფორმაციისა როგორც საბაზო, ასევე დანამატიან ბეტონებში. ხოლო სიმტკიცის ზღვარი მრავალჯერადი დატვირთვის დროს საბაზო ბეტონისთვის შემცირდა 12-15%-ით, ხოლო დანამატიანისთვის 2-3%-ით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ნ. მოწონელიძე „ჰიდროტექნიკური ნაგებობები“ 1977 წელი.
2. ი. მიქაშვილი, ო. ჩრდილელი ბზარები ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ღია ზედაპირზე. საქართველოს ენერგეტიკა – პრობლემები და პერსპექტივები/მოხსენებათა კრებული. თბილისი. 2000 წელი.
3. ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის ღია ზედაპირებზე ბზარების გამოკვლევა და საექსპლუატაციო პირობების გაუმჯობესების ტექნიკური პროექტის შემუშავება (ხელშეკრულება #43/08 ინტელექტუალურ მომსახურებაზე). თბილისი. 2008 წელი.
4. 1996 წელს ენგურის თაღოვან კაშხალზე და სადერივაციო გვირაბზე ნატურული გრძელვადიანი რეჟიმული დაკვირვებები (ხელშეკრულება #1/96-45). წიგნი I, II და III. თბილისი. 1996 წელი.
5. რიონჰესის, გუმათჰესი I და II ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ბეტონების გამოკვლევა და დაზიანებული ნაწილების აღდგენის ოპტიმალური მეთოდებისა და რეკომენდაციების შემუშავება. ს/კვ. ანგარიში. თემა 12/95. თბილისი. 1996 წელი.
6. ვარციხე I და II ჰესების ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ბეტონების გამოკვლევა და დაზიანებული ნაწილების აღდგენის ოპტიმალური მეთოდების და რეკომენდაციების შემუშავება. ს/კვ. ანგარიში. თემა 23/97. თბილისი. 1997 წელი.
7. თეა ნარეკლიშვილი „ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში გამოყენებული ბეტონის კონსტრუქციების პარამეტრების გამოკვლევა არამრღვევი კონტროლის მეთოდებით“ 2006 წელი.
8. ი. ღარიბაშვილი „საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული ისტორიული ძეგლების დაცვა ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედებისაგან ჰიდროფობიზაციის მეთოდით“ 2006 წელი.
9. ნ. დონდოლაძე „მდგრადი ბეტონი ადგილობრივ შემსებებზე, შავიზღვისპირეთის გარემოს გათვალისწინებით“ 2012 წელი.

10. М.М. Лордкипанидзе Замедленная обратимая деформация бетона и твердых тел в поверхностно-активных средах-новая форма эффекта ребиндера, 2009.
11. ზ. მეგრელიშვილი, თ. ქიქავა, დ. ჩხაიძე „საინჟინრო ეკოლოგია და გარემოს დაცვა“. ბათუმი 2001 წელი.
12. В.К.Балавадзе новое о прочности и деформативности бетона и железобетона 1986.
13. Ицкович С. М., Чумаков Л. Д., Баженов Ю.М., Технология заполнителей бетона. М., Высшая школа, 1991.
14. ვ. დვალისვილი, ზ. გუბელიძე, ნ. ტაბატაძე „ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია და დაგეგმვა“ 2014 წელი.
15. Журавлёв В. Ф., Штейерт Н. П. Сцепление цементного камня с различными материалами. Цемент,№5, С17-19.
16. Цилосანი З.Н. Усадка и ползучесть бетона. – Тбилиси, Мецნიერება, 1979.
17. Балавадзе В.К, Лордкиპანიძე М.М. О природе постоянства коэффициента Пуассона бетона. - Сообщения АН Грузинской ССР, т. 75, №1, 1974.
18. ა. ნადირაძე „საშენი მასალები და ნაკეთობები“ 2013 წელი.
19. Берг О.Я., Писанко Г.Н., Хромец Ю.Н. Исследование физического процесса разрушения бетона под действием статической и многократно повторяющейся нагрузки. - В сб.; трудов ЦНИИСа, вып. 60.-М, Трансжелдориздат, 1966.
20. А.М. Невилль. Свойства бетона, 1972.
21. Алексеев С. Н. Коррозия железобетона и защита арматуры в бетоне. М.:Строиздат. 1962.
22. www.xypex.com
23. www.kalmatrongeorgia.ge
24. www.penetron.ge

25. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона. , Издательство АСВ, 2003.
26. Нареклишвили Т. Паресишвили А. Лежава. Н. Табатадзе
УСТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ С
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ ДАТЧИКАМИ. ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭКОНОМИКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2012.
- 27 О трещинообразовании и закономерностях закрытия межсекционных швов
и радиальных трещин в арочных плотинах
- 28 Ингурская гидроэлектростанция. Технический проект. Т.6. Кн.1. 1976.
- 29 Чоговадзе Г.И., Мгебришвили И.М., Ломов И.Е. Ингурская
гидроэлектростанция. М.:Энергоатомиздат. 1987.