

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნათია ტაბატაძე

კონსტრუქციული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა
ზედაპირულად აქტიურ გარემოში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი იდისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამშენებლო ფაკულტეტზე, სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: სრული პროფესორი მერაბ ლორთქიფანიძე

ასოც. პროფესორი თეა ნარეკლიშვილი

რეცენზენტები: სრული პროფესორი ო. ჩაქვეტაძე

სრული პროფესორი ზ. ქარუმიძე

დაცვა შედგება 2014 წლის 27 ივნისს, 14⁰⁰სთ-ზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის

სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში

მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას №68^ბ, პირველი კორპუსი, მე-3 სართული

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება

სტუ-ს ბიბლიოთეკასა და სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

სრ. პროფესორი დ. ტაბატაძე

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა: ბეტონი 21-ე საუკუნეშიც მოთხოვნად კონსტრუქციულ საშენ მასალად რჩება, ამიტომ საჭიროა მისი უარყოფითი თვისებების (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, ნანომოდულირებული 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, მცირედეფორმირებადი, აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგი ბეტონების მიღება. დანამატიანი ბეტონების გამოყენების შესაძლებლობა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდგომში:

1. ადგილობრივი შემკვრელი და შემვსები მასალებისა და ქიმიურ დანამატების გამოყენებით, ბეტონის ნარევის პროექტირების დროს, სრული ინფორმაციის დადგენა მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე ჰიდროტექნიკური ბეტონის მისაღებად;
2. აგრესიული გარემოს გავლენა ქიმიურ დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) მძიმე ბეტონის სიმტკიცეზე;
3. მდგრადი ქიმიურ დანამატიანი ბეტონის ხანმედეგობის შესწავლა (წყალშთანთქმა, წყალშეუღწევადობა, წყალმედეგობა);
4. ქიმიურ დანამატიანი ბეტონის დეფორმაციული თვისებების (დრეკადობის

მოდული, პუასონის კოეფიციენტი) შესწავლა ხანმოკლე და მრავალჯერადი დატვირთვების დროს.

ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენს ქიმიურ დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) მდგრადი ბეტონის მიღება, რაც საშუალებას მოგვცემს ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ეკონომიურად გამოყენების შესაძლებლობას ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში.

ნაშრომის აპრობაცია: ნაშრომის შედეგები მოხსენებულია საერთაშორისო-სამეცნიერო ტექნიკურ კონფერენციაზე „ჰიდროტექნიკურ ბეტონზე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებისადმი წაყენებული მოთხოვნების რეგულირება დანამატებით“ 2014 წელს, ხოლო მთლიანი ნაშრომის მიმოხილვითი და ძირითადი ნაწილები მოხსენებულია სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ სამ კოლოქვიუმზე.

პუბლიკაციები: ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა: ნაშრომის სრული მოცულობა შეადგენს 136 გვერდს, იგი მოიცავს შესავალს, ხუთ თავს, ძირითად დასკვნებსა და გამოყენებულ ლიტერატურას, რომელიც 70 დასახელებისგან შედგება.

ნაშრომის შინაარსი

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

პირველი თავი - წამყვანი ქვეყნების სამრეწველო განვითარების დონე ხასიათდება არამხოლოდ წარმოების მოცულობით 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 (წყლის როგორც ზედაპირულად აქტიური) გარემოს მიმართ, 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 გაძნელებულია აგრესიული აგენტების შეღწევადობა, კერძოდ წყლის ან მისი ნაერთებისა, მის კაპილარულ-ფოროვან სისტემაში. მეორეს მხრივ საინტერესოა, რომ წყალს შეუძლია გამოიწვიოს ბეტონის თვითგამკვრივება. დესტრუქციული და კონსტრუქტიული პროცესების ჯამური ეფექტი ჯერ კიდევ შესასწავლია, რადგან ის წარმოადგენს მრავალი ფაქტორის რთულ ფუნქციას. პრაქტიკულად ბეტონის შეღწევადობის შემცირება თვითგამკვრივების პროცესში ფილტრაციის კოეფიციენტის 1 სმ/წმ-ის დროს არის საკმარისი პირობა მისი ხანმედეგობის უზრუნველსაყოფად. იმ შემთხვევაში თუ ფილტრაციის კოეფიციენტი >1 სმ/წმ ჩნდება საშიშროება განვითარდეს ბზარები ან მიკრობზარები, რაც თავისთავად გამოიწვევს არმატურის კოროზიას და შესაბამისად ნაგებობის რღვევას.

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. მკვლევართა უმრავლესობა ემხრობა ა. გრიფიტის თეორიას, რომელიც გულისხმობს მყარი ტანის სტრუქტურაში მიკრობზარებისა და დეფექტების როლზე, რომლებიც ბეტონში წარმოადგენენ ძაბვების კონცენტრატორებს.

ცნობილია, რომ მასალის სიმტკიცე დამოკიდებულია მისი სტრუქტურის ერთგვაროვნებაზე და შინაგანი ძაბვების თანაბარგანაწილებაზე. შინაგანი ძაბვებში არ იგულისხმება ძაბვები გამოწვეული გარე დატვირთვებისაგან. 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 გამოჩნდა, ეს თვისება ბეტონში ძაბვების განაწილების კანონზომიერების განსხვავების 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.

ბეტონმცოდნეობაში ათეული წლებია მიმდინარეობს პოლემიკა ბეტონში მიკრობზარების წარმოშობისა და განვითარების შესახებ. ამ საკითხის გაშუქებას მიუძღვნეს ფუნდამენტური ნაშრომები მეცნიერებმა: რებინდერმა, ისხაიმ, ვესტვუდმა, შეიკინმა, ალექსანდროვსკიმ, ზ. წილოსანმა, ა. ნადირაძემ, ვ. ბალავაძემ და სხვა. ზ. წილოსანი თვლიდა, რომ არაშექცევადი მიკრობზარები ჩნდებიან ბეტონში გარე ძაბვის მოდების მომენტიდან, ხოლო ვ. ბალავაძე კი განიხილავდა მიკრობზარებს ბეტონში შექცევად და შეუქცევადად. ამ აზრს იზიარებდა პროფ. ო. ბერგი. ისინი თვლიდნენ, რომ პუასონის კოეფიციენტის მუდმივობის დარღვევის მომენტიდან ჩნდებიან არაშექცევადი ბზარები.

დისერტაციის თემატიკა არ ითვალისწინებს ამ საკითხების დეტალურ განხილვას, მაგრამ ზემო აღნიშნულიდან გამომდინარე იკვეთება დანამატიანი ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის, დრეკადობის მოდულის, ზღვრული დეფორმაციის, ცოცვადობის ექსპერიმენტული შესწავლის აუცილებლობა.

ჰიდროტექნიკური ბეტონისადმი წაყენებულია შემდეგი მოთხოვნები: მაღალი სიმტკიცე, მაქსიმალური წყალშეუღწევადობა, მრღვევი ფაქტორისადმი (გაყინვა-გაღობა, წყლის ქიმიური მოქმედება, გამოფიტვა და გაცვთა) მედეგობა. შესასწავლია ბეტონის დეფორმაციული თვისებები, ცოცვადობა, ჯდენა, წყალშთანთქმა, ტემპერატურის ზემოქმედება. ამ მოთხოვნათა დაკმაყოფილება შეიძლება მიღწეული იქნეს ბეტონის შედგენილობის სათანადო შერჩევით, მისი დამზადების ტექნოლოგიის 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.

აქვე საჭიროდ მივიჩნევ განმეხილავ ნატურული დაკვირვების შედეგად ენგურის თაღოვანი კაშხლის ზედაპირზე ბზარწარმოქმნის პროცესების განვითარების დინამიკა, რომელიც აღინიშნა ბეტონისა და ცემენტაციის სამუშაოების დამთავრებიდან (1989 წლიდან 2008 წლის ჩათვლით). გამოყენებული ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებია: სიმტკიცე კუმშვაზე R_{350} 35 მპა; სიმტკიცე გაჭიმვაზე $R_{\text{გ}}$ 2.5 მპა; პრიზმული სიმტკიცე - 25 მპა; პუასონის კოეფიციენტი 1/6; დეფორმაციის მოდული $E_{0.25}$ - $40 \cdot 10^3$ მპა; წყალუჟონადობა “12” და “8”. თაღის თარაზული და შვეული ზონების დაზარების სტატისტიკური მახასიათებლების ანალიზი გვიჩვენებს კაშხლის ღია ზედაპირზე ბზარწარმოქმნის განუყრელ ზრდას, განსაკუთრებით მის თაღოვან ნაწილში. აქ ბზარების რაოდენობამ მიაღწია 2829-ს და 1999 წლის მონაცემებს გადააჭარბა 3.37-ჯერ. ბზარწარმოქმნის ძირითადი მიზეზი გახლდათ მზის რადიაცია, კლიმატის ცვალებადობა, ხოლო ბზარებისა და ნაკერების გახსნა თაღოვან კაშხალში არის შედეგი გარემოს ტემპერატურის ცვლილებისა, რაც გამოწვეულია ჰაერის, ან წყლის მოქმედებით.

მოცემულმა მაგალითებმა გვიჩვენეს ჰიდროტექნიკური ბეტონის ხანმედეგობის გაზრდის აუცილებლობა, რისი განხორციელებაც შესაძლებელია მასში სხვადასხვა დანამატებისა და ბეტონის დამზადების ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით, რომელიც გულისხმობს შემვსებების წინასწარ გაჟღერებას პოლიმერით და შემდგომში მის არევას ცენემტთან და ქვიშასთან. ასეთ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად უმჯობესდება შემვსების კონტაქტი ცემენტის ქვასთან, რადგან ხდება ლიკვიდაცია შემავსებლის გარშემო არსებული წყლისა, რასაც მივყავართ ბეტონის სიმკვრივისა და სიმტკიცის მნიშვნელოვანმატებასთან.

ექსპერიმენტული კვლევის დროს გამოვიყენეთ და შევისწავლეთ შემდეგი დანამატები: კალმატრონ დ, 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 ზედაპირის გაჩენისგან, ასევე ზრდიან ბეტონის ზედაპირის ცვეთამდეგობას. 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. ყოველივე ამის განხორციელება შეიძლება ჩაითვალოს სამეცნიერო-ტექნოლოგიური პროგრესისკენ გადადგმულ ნაბიჯად. ამგვარად, სამუშაოს მიზანია მაღალი ხარისხის ჰიდროტექნიკური ბეტონის მიღება, მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებისადმი წაყენებული მოთხოვნების რეგულირება სხვადასხვა დანამატების საშუალებით.

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: კალმატრონ დ, ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 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 დეფორმაციული თვისებების ხანმოკლე და მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვების დროს დრეკადობის მოდულისა და პუასონის კოეფიციენტის შესწავლა.

მეორე თავში მოყვანილია მოკლე ლიტერატურული მიმოხილვა დისერტაციაში 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 გამომშრალი ბეტონი 105^o C-ზე არ განიცდის ცოცვადობის დეფორმაციას. ასეთივე შედეგი მიიღო პროფესორმა ანზორ ნადირაძემ გამომშრალი ბეტონის პრიზმების ცენტრალურ გაჭიმვაზე გამოცდისას და ზურაბ წილოსანმა, რომელმაც გამოცადა ბეტონი გრეხაზე მშრალ, წყალგაჟღენთილ და არაპოლარული ნივთიერებით-ნავთით გაჟღენთილ მდგომარეობაში, ასევე ზედაპირულად აგრესიულ გარემოში 0.5 % CaCl₂. აღმოჩნდა, რომ მშრალ და ნავთით გაჟღენთილ ბეტონში ცოცვადობა არ აღინიშნებოდა, ხოლო წყალში და განსაკუთრებით 0.5 % CaCl₂-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% CaCl₂-ში და პოლიმერლექობეტონი ღუნვაზე ხანმოკლე და მუდმივი დატვირთვების დროს. ცდების ჩატარება გრეხაზე და ღუნვაზე განაპირობა იმ ფაქტმა, რომ ცოცვადობის დროს არსებით გავლენას არ ახდენენ ჯდენითი დეფორმაციები. ამ ცდებით ასევე დასტურდება ზედაპირულად აქტიურ გარემოში სიმტკიცის შემცირება და ცოცვადობის ინტენსიური ზრდა.

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 ექსპერიმენტალური მეთოდების გამოყენებით არის შესაძლებელი სამშენებლო მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენა. ასეთი კომპლექსური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ექსპერიმენტალური მეთოდებით შესრულებისას აუცილებელია სისტემური მიდგომა. პირველ რიგში დასაბუთებული უნდა იყოს ექსპერიმენტალური გამოკვლევების აუცილებლობა და მეთოდიკა. შერჩეული უნდა იქნეს მოდელის დასამზადებელი მასალები, მოდელირების მასშტაბი და შესაბამისი აპარატურა. გამოყენებითი ხასიათის ამოცანებისათვის აუცილებელია ექსპერიმენტალური

სამუშაოს მიზნების შეთანხმება საკვლევი კონსტრუქციის თავისებურებებთან და ტექნოლოგიურ პროცესთან, რაც მოითხოვს კოორდინირებას კონსტრუქტორებთან და ტექნოლოგებთან. ექსპერიმენტალური სამუშაოების მეთოდოლოგია უნდა ხასიათდებოდეს კარგი განმეორებადობით და საჭირო სიზუსტით.

ნებისმიერი ექსპერიმენტალური 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 სიმძლევს დაგეგმარება. საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენის პროცესში, უმეტესად გამოიყენება გაზომვების შედეგების ნორმალური კანონით განაწილების ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად მიღებული მონაცემების გაბნევა განპირობებულია შერჩეული მეთოდის აუცილებელი ცდომილებით და კვლევის ობიექტის არაერთგვაროვნებით.

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

	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, კგ/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 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:

$$\begin{aligned} \sigma \approx s &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{5-1} (480,96 - 479,12)^2 + (498,29 - 479,12)^2 + (469,75 - 479,12)^2 + (506,44 - 479,12)^2 + (440,20 - 479,12)^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{4} (3,38 + 367,48 + 87,79 + 746,38 + 1514,76)} = \sqrt{\frac{2719,79}{4}} = \sqrt{679,94} = 26,07 \end{aligned}$$

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 X შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

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

სადაც a – ეწოდებასანდოალბათობა.

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 $a = 0,9 + 0,95$.

სანდო ინტერვალის არეს დასადგენად სიდიდე \bar{x} გამოითვლება ფორმულით:

$$\bar{x} = \frac{s}{n}t = \frac{26,07}{5} * 2,78 = \frac{26,07}{2,23} * 2,78 = 32.49$$

სადაც t ეწ სტიუდენტის კოეფიციენტია და იგი დამოკიდებულია ცდების რაოდენობაზე n და მიღებულ სანდო ალბათობაზე a (ცხრილი №1):

სტიუდენტის კოეფიციენტები (t)

ცხრილი №1

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:

$$p \bar{x} - \frac{s}{n}t < x < \bar{x} + \frac{s}{n}t = a$$

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

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:

ექსპერიმენტული სამუშაოების გაზომვების რაოდენობა

ცხრილი №2

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:

$$X = \omega \omega_n = 0.51 * 66.24 = 33.78$$

სადაც, კოეფიციენტი ω დამოკიდებულია სანდო ალბათობის დონეზე და მისი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში №3:

სანდო ალბათობის დონე

ცხრილი №3

ცდების რაოდენობა n	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 საძებნი სიდიდის X ჭეშმარიტი მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

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

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

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

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

როგორც ვხედავთ, ამ ფორმულით დადგენილი X ჭეშმარიტი მნიშვნელობა a ალბათობით შეიძლება განსხვავდებოდეს ექსპერიმენტალურად მიღებული საშუალო მნიშვნელობიდან \bar{X} სიდიდით X .

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 X გადახრით.

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

მივიღებთ:

$$n = \frac{Stm}{X}^2 = \frac{\omega_m t_m}{d_m X}^2 = m \frac{\omega_m \omega}{X}^2$$

$$n = \left(\frac{28,47 * 3,18}{33,78}\right)^2 = \left(\frac{90,53}{33,78}\right)^2 = (2,68)^2 = 7,18$$

$$n = \left(\frac{66,24 * 3,18}{2,059 * 33,78}\right)^2 = \left(\frac{210,64}{69,55}\right)^2 = (3,02)^2 = 9,12$$

$$n = 4 \left(\frac{66,24 * 0,72}{33,78}\right)^2 = 4 \left(\frac{47,69}{33,78}\right)^2 = 4(1,41)^2 = 4 * 1,98 = 7,92$$

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: კალმატრონ დ, პენეტრონ ადმიქსი და ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 ექსპერიმენტული სამუშაოები და მათში საუკეთესო ვარიანტის შერჩევა.

დადგინდა ბეტონის შედგენილობა ყველა ექსპერიმენტული სამუშაოებისათვის:

ბეტონის შედგენილობის დეტალური სამუშაო გეგმა

ბეტონის ნარევის მისაღებად ვიყენებით შემდეგ მასალებს	მახასიათებლების განსაზღვრა
ქვიშა (0-5)	მარცლოვანი შედგენილობა სისხოს მოდული და ჯგუფი, მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა, ჭეშმარიტი სიმკვრივე, ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა), ცარიელობა, ტენიანობა.
ღორღი (5-10) ღორღი(10-20)	მარცლოვანი შედგენილობა გრანულომეტრია, მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა, ჭეშმარიტი სიმკვრივე, ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა), საშუალო სიმკვრივის განსაზღვრა, ცარიელობა, ფორიანობა, ტენიანობა.
ცემენტი	დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა (ნარჩენი საცერზე), ცემენტის ნორმალური ცომის სისქის განსაზღვრა, ცემენტის შეკვრის ვადების განსაზღვრა (დასაწყისი და დასასრული), ცემენტის სიმკვრივის განსაზღვრა, ცემენტის დულაბისაგან დამზადებული ნიმუშების გამოცდა ღუნვაზე და კუმშვაზე საწყისი მონაცემები.
დანამატი	ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 1 %
	პენეტრონ ადმიქსი 0.8 %
	კალმატრონი 10 კგ/მ ³

**ამგვარად ჩვენს მიერ დადგენილი იქნა ბეტონის კომპონენტები და მისი
შედგენილობა**

ჰიდროტექნიკური ბეტონის შედგენილობა 1 მ ³ ბეტონისთვის									
ცემენტი, კგ	წყალი, მლ	ქვიშა 0-5,	ლორღი 5-10	ლორღი 10-20,	მოცულობითი მასა, კგ/მ ³	წყალცემენტის ფარდობა	ქსაიპექს ადმიქს ც-1000, %	პენეტრონ ადმიქსი %	კალმატრონი კგ/მ ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
320	138	950	290	555	2253	0.43	---	---	---
320	138	950	290	555	2253	0.43	1	---	---
320	138	950	290	555	2253	0.43	---	0.8	---
320	138	950	290	555	2253	0.43	---	---	10

(*) შენიშვნა: რეცეპტი დაანგარიშებულია მშრალ ინერტულ მასალებზე

სტუ-ს სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში დამზადდა დანამატებიანი და საბაზო ბეტონის კუბები ზომით 10×10×10 სმ. დანამატებად გამოიყენებოდა: კალმატრონ დ, პენეტრონ 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±2)⁰ 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 №4).

დანამატის დასახელება	ნიმუშის ნომერი	ასაკიდე-ღამე	ნიმუშის ზომები $a \times b \times h$ სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	მასა, M გ	სიმკვრივე, ρ გ/სმ ³	საშუალო სიმკვრივე ρ გ/სმ ³	მრღვევი დატვირთვა, P კნ	სიმტკიცი, მზა	საშუალო სიმტკიცი, კგ/სმ ²	საშუალო სიმტკიცი 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	
ქსაიპექს 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	
პენეტრონ 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	

სამუშაოს პირობებიდან გამომდინარე, ჰიდროტექნიკური ბეტონის დანამატად შერჩეული იქნა 1 % ქსაიპექს ადმიქს ც-1000, რომლისგან დამზადებული ბეტონის მახასიათებლები - ადვილჩაწყობადობა, ნარევის პლასტიკურობა და სიმტკიცი სხვა დანამატებთან შედარებით უფრო მისაღები აღმოჩნდა. ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 წარმოშობის სერთიფიკატი მოცემულია ქვემოთ:

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 საძირკვლების და სხვა სახის ბეტონის შენობა-ნაგებობების მშენებლობისა და რეაბილიტაციისათვის.

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

იმისათვის, რომ ბეტონი გახდეს კრისტალურად წყალგაუმტარი, ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 როგორც აქტიური ქიმიკატი უნდა გახდეს ბეტონის მასის განუყოფელი ნაწილი. ბეტონი ფორიანი (კაპილარული სისტემის) მასალაა და აღნიშნული დანამატი ბეტონის სტრუქტურაში ტენიანობისა და წყლის მიგრაციის საშუალებით ავსებს მის ფორებსა და სიცარიელებს. ეს პროცესი ქმნის რეაქციას ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 და ბეტონში მყოფ ტენიანობას შორის. ბოლოს შედეგად ვიღებთ ბეტონში წარმოქმნილ არა გადამუშავებად ან დნობად კრისტალებს, ისინი ავსებენ ფორებსა და კაპილარებს, რის შედეგადაც ბეტონი ხდება წყალგაუმტარი. თუ წყალი მაინც შეაღწევს ბეტონის სტრუქტურაში, დანამატის კრისტალები განაახლებენ კრისტალების ზრდას და ამოავსებენ დარჩენილ ფორებს.

მესამე თავში მოცემულია ექსპერიმენტები დანამატის (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცეზე ზედაპირულად აქტიურ გარემოში.

პირველი პარაგრაფი - ცნობილია, რომ ბეტონი წარმოადგენს კონგლომერატს. მასში მრავლადაა ფორები, ბზარები, მიკრობზარები, რომლებიც ქმნიან შიდა ძაბვებს ბეტონის ნარევის გამყარების პროცესში, ამიტომ ბეტონი მუდმივად შინაგანად დამაბულ 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.

ლაბორატორიაში ჩატარდა ექსპერიმენტალური სამუშაოები, სადაც დამზადდა ბეტონის ნარევისგან 36 კუბიკი ზომით $10 \times 10 \times 10$ 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- $(20 \pm 2)^{\circ}$ 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.

ბეტონის ცენტრალურ კუმშვაზე ჩატარებულმა ცდებმა დაგვანახა, 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 №5 და გრაფიკი №1). 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. 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.

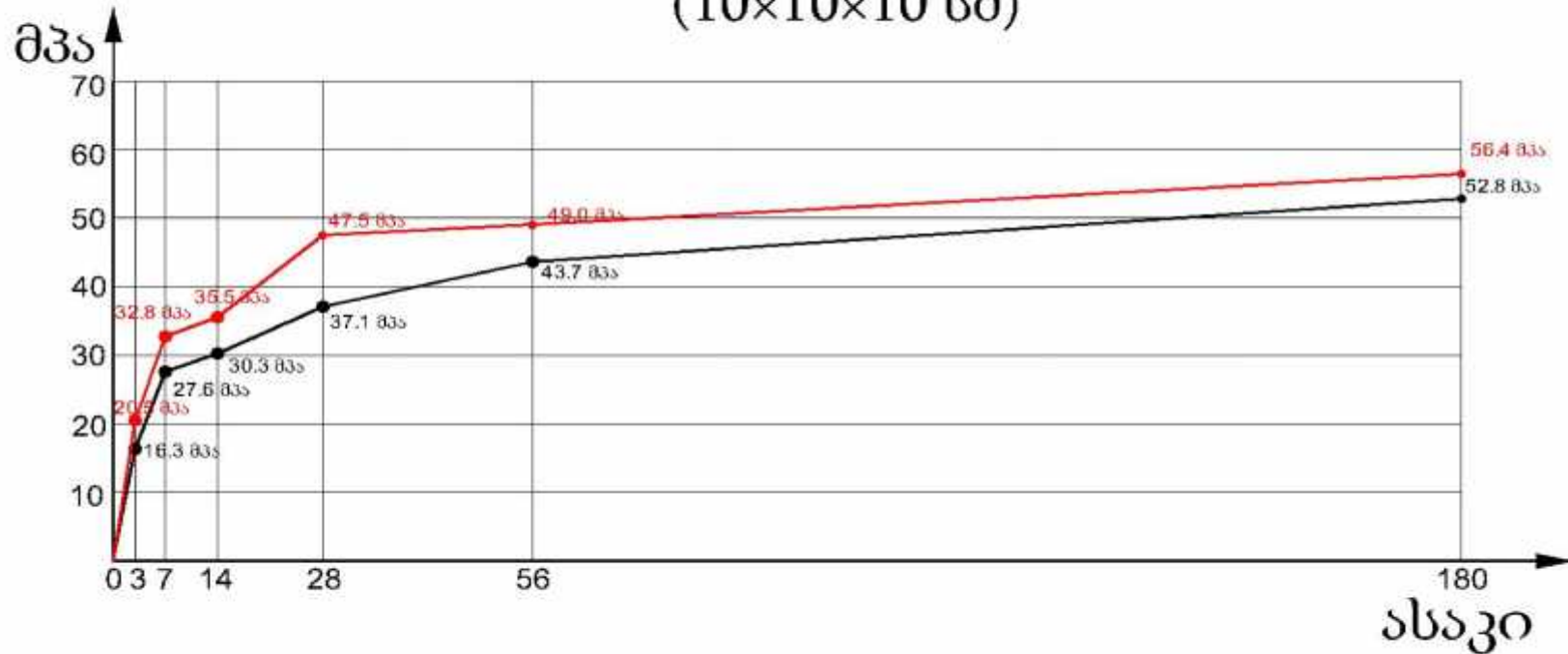
ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმზისას (10×10×10 სმ)

ცხრილი №5

დანამატის დასახელება	ასაკიდლე-ღამე	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 სიმტკიცე, მპა	საშუალო სიმტკიცე, კეპ/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
ქსაიპექს ადმიქს ც-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

გრაფიკი №1

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



— საბაზო
— დანამატი - ქსაიპექს ადმიქს ც-1000

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

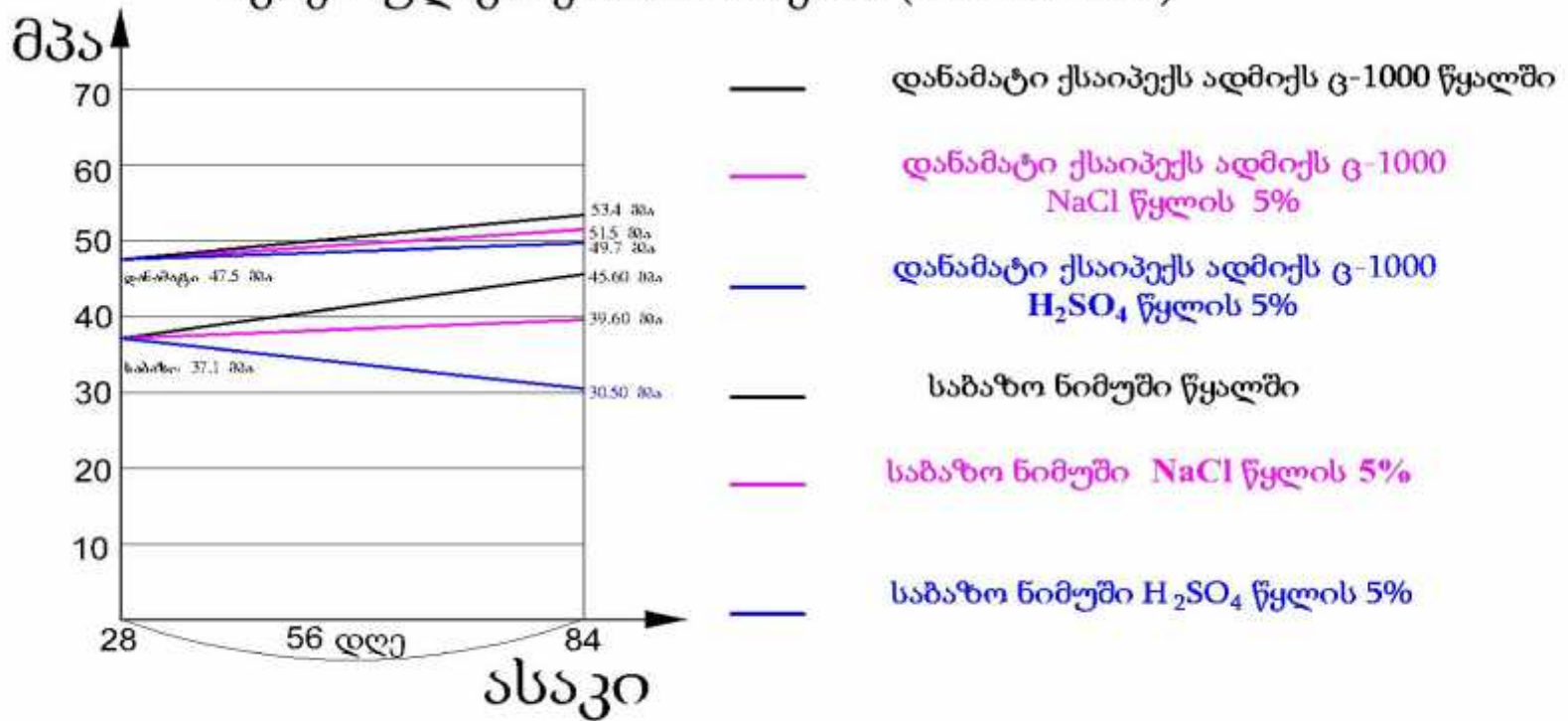
აგრესიულ გარემო პირობებში (H₂SO₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%)

ცხრილი №6

დაძაბვის დასახელება	ნიმუშის ნომერი	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების მოთავსებამდე ასაკი დღე-ღამე	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების დაყოფნება 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, მპა	სიმტკიცე კუმ/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
ქსაიპექს 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

გრაფიკი №2

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



საბაზო ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმზვისას (4×4×16 სმ)

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

ცხრილი №7

დასახელება	სიმტკიცე ღუნვის დროს						სიმტკიცე კუმზვის 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			
სიგანე, α სმ				4	4	4	4	4	4			
2 განივკვეთის ფართობი, S სმ ²				---	---	---	16	16	16			
3 მრღვევი დატვირთვა, P კნ				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 გასაშუალებული მინიმუმ ელფენობა (ღუნვაზე ორი, ხოლო კუმზვაზე ოთხი უდიდესი მდეგვიდან) კგ/სმ ²				111.15	90.09	81.9	559.94	539.15	415.23			

დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე კუმზვისას (4x4x16 სმ)

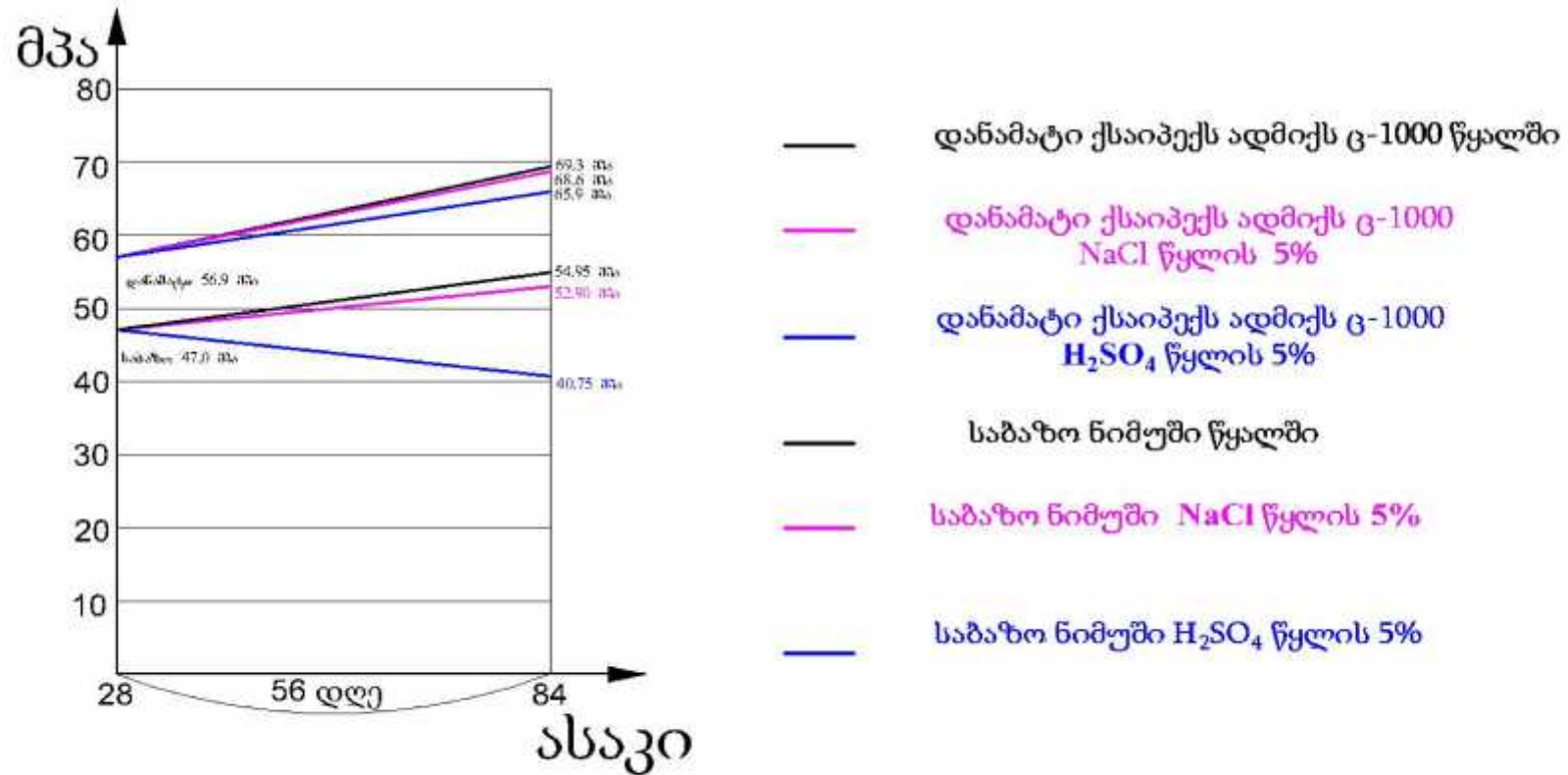
აგრესიულ გარემოში (H₂SO₄ წყლის 5%, NaCl წყლის 5%)

ცხრილი №8

დასახელება	სიმტკიცე ღუნვის დროს						სიმტკიცე კუმზვის დროს					
	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების მოთავსებამდე ასაკი დღე-ღამე	აგრესიულ გარემოში ნიმუშების დაყოფნება 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%			
ნიმუშისზომები, 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	4		
2 განივკვეთისფართობი, Sსმ ²				---	---	---	16	16	16			
3 მრღვევიდატვირთვა, P კნ				6.6	7.9	7.4	114.27	107.46	112.27	107.24	107.20	103.66
4 სიმტკიცისზღვარი, მპა				---	---	---	71.4	67.2	70.2	67.0	67.0	64.8
5 სიმტკიცისზღვარი, კგ/სმ ²				77.22	92.43	86.58	727.56	684.76	715.33	682.73	682.73	660.31
6 სიმტკიცისზღვრისგასაშუალებული მნიშვნელობა (ღუნვაზეორი, ხოლოკუმშვაზეოთხიუდიდესიშედეგიდან) კგ/სმ ²				77.22	92.58	86.58	706.16	699.03	671.52			

გრაფიკი №3

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



ლაბორატორიაში 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. 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 №5 და გრაფიკი №1; ცხრილი №6 და გრაფიკი №2; ცხრილი №7; ცხრილი №8 და გრაფიკი №3). 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.

მეოთხე თავში მოცემულია ექსპერიმენტული კვლევები ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის ხანმედეგობაზე.

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 ლაბორატორიის 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. საბაზოსა და დანამატიან ბეტონის წყალშეუღწევადობაზე მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა სამჯერ მეტი მაჩვენებელი დანამატიან (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონში.

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

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

ლაბორატორიაში ბეტონის ნიმუშების დაყალიბებიდან (ზომით 10×10×10 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 წონა. ამის შემდეგ განისაზღვრა ნიმუშების საშუალო მასითი წყალშთანთქმა პროცენტებში (ცხრილი №9) :

ჰიდროტექნიკური ბეტონის მასითი წყალშთანთქმა

ცხრილი №9

№	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 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	ქსაიპექს 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	

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

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±2)°C. შემდეგ ეტაპობრივად ხდებოდა წყლის დონის ცვლილება როგორც საბაზო, ასევე დანამატიან (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის ნიმუშებზე. 28-ე დღეს ნიმუშები გამოიცადა ცენტრალურ კუმშვაზე ჰიდრავლიკურ წნეხზე (STYE 2000 C), რის შედეგადაც დადგინდა მათი სიმტკიცის მახასიათებელი (ცხრილი №10).

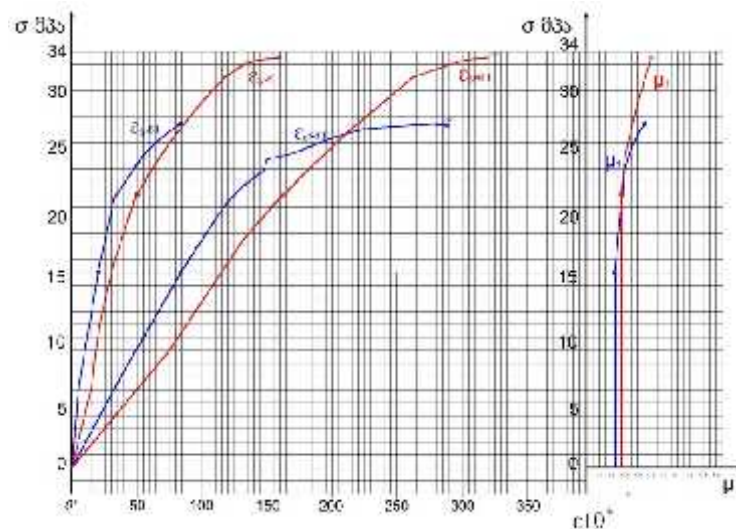
ცხრილი №10

დანამატის დასახელება	ნიმუშის ნომერი	ასაკიდლე-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	
ქსაიპექს ადმიქს ც-1000	1	28	10×10×10	100	1000	2378	2.378	2.425	512.40	48.8	497.27	47.03/479.26
	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		473.55	45.1	459.56	

მეხუთე თავში განხილულია ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი (ქსაიპექს ადმიქს ც-1000) ბეტონის გრძივი, განივი დეფორმაციების, ასევე მრავალჯერადად სტატიკური დატვირთვებით გამოწვეული დეფორმაციების დრეკადობის მოდულისა და პუასონის კოეფიციენტის ექსპერიმენტული კვლევები.

პირველ პარაგრაფში მოცემულია ჰიდროტექნიკური დანამატიანი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტული კვლევები ხანმოკლე მკუმშავი დატვირთვის დროს. დამზადდა ზემოთ აღწერილი ტექნოლოგიით საბაზო და დანამატიანი ბეტონის პრიზმები ზომებით 10×10×30 სმ და გამოიცადა 28-ე დღეს.

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:



ჰიდროტექნიკური საბაზო და დანამატიანი ბეტონების გრძივი $E_{გრძ1}$; $E_{გრძ2}$; განივი $E_{გან1}$; $E_{გან2}$ დეფორმაციების და პუასონის კოეფიციენტის μ_1 ; μ_2 საშუალო მნიშვნელობებია.

მათი ანალიზის შედეგად შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

ჰიდროტექნიკურ ბეტონზე მომქმედი ხანმოკლე დატვირთვის დროს $0.1R_{ბრღ}$ -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.

დანამატიანი ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს $\mu = 0.27$ და იგი მუდმივი რჩება $0.75 R_{არღ}$ -მდე, რის შემდეგ განივი გაფართოების კოეფიციენტის სიდიდე თანდათანობით იზრდება $\mu = 0.5$ -მდე და ხდება რღვევა, იმ დროს, როდესაც პუასონის კოეფიციენტის სიდიდე საბაზო ბეტონში არის ნაკლები დანამატთანზე $\mu = 0.22$, 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.

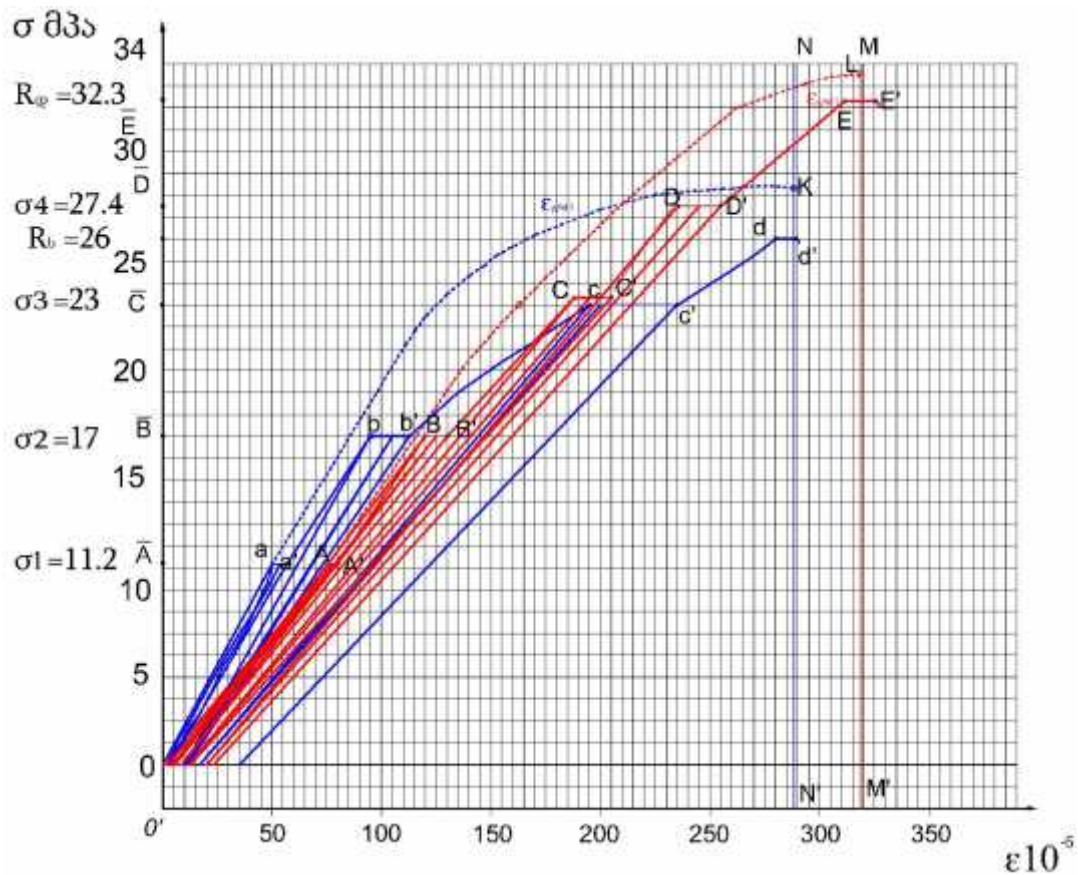
დრეკადობის საწყისი მოდული საბაზო ბეტონისათვის აღმოჩნდა $E = 0.26 \cdot 10^{-6}$, ხოლო დანამატიანი ბეტონის კი $E = 0.17 \cdot 10^{-6}$. თუ დავაკვირდებით დეფორმაციის მრუდეებს, დავინახავთ, რომ საბაზო ბეტონის σ, ε დრეკადობის მოდული $0.6R$ -ის, ხოლო დანამატის $0.75R$ -ის შემდეგ კლებულობს, რაც მათში შეუქცევადი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

მეორე პარაგრაფში აღწერილია ჰიდროტექნიკური დანამატიანი ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ექსპერიმენტული კვლევები მრავალჯერადად სტატიკური დატვირთვების დროს.

დამზადდა ზემოთ აღწერილი ტექნოლოგიით საბაზო და დანამატიანი ბეტონის პრიზმები ზომებით $10 \times 10 \times 30$ სმ და გამოიცადა 28-ე დღეს. 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, ზღვრულმა დეფორმაციამ $\varepsilon_{ზღვ} = 288 \cdot 10^{-5}$. დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცემ შეადგინა $R = 33.7$ მპა, ზღვრული დეფორმაციამ $\varepsilon_{ზღვ} = 319 \cdot 10^{-5}$. შემდეგ ნიმუშები გამოიცადა მრავალჯერადი სტატიკური

დატვირთვებით საფეხურებით: $\sigma_1=11.2$ მპა; $\sigma_2=17$ მპა; $\sigma_3=23$ მპა; $\sigma_4=27.4$ მპა. შედეგები მოცემულია გრაფიკების სახით:



საბაზო და დანამატიანი ჰიდროტექნიკური ბეტონის სიმტკიცე-დეფორმაციულობის დამოკიდებულების გრაფიკები, სადაც- საბაზო OK და დანამატიანი ON ბეტონების მრუდებია ხანმოკლე დატვირთვის დროს; -საბაზო Oaa'bb'cc'dd' და დანამატიანი OAA'BB'CC'DD'EE' ბეტონების მრუდებია მრავალჯერადი დატვირთვების დროს.

მათი ანალიზის შედეგად შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

ჰიდროტექნიკური ბეტონის გამოცდების ანალიზმა მრავალჯერადი სტატიკური დატვირთვების დროს გვიჩვენა, რომ საბაზო ბეტონის დეფორმაციები დატვირთვის ყოველ საწყის საფეხურზე ნაკლებია დანამატიანი ბეტონის დეფორმაციებზე. ხოლო ცოცვადობის 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 % 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 ფორმებსა და მიკრობზარებში.
3. ქსაიპექს ადმიქს ც-1000 დანამატიან ბეტონის ძირითადი ღირსებაა მისი მაღალი ხანმედეგობა:
 - წყალშეუღწევადობა - $W=34$ 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:
 - $0.1R_{ბრ}$ -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 გვამღევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ მისი გამოყენება რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ეფექტური იქნება;
 - დანამატიანი ბეტონის პუასონის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს $\mu = 0.27$ და იგი მუდმივი რჩება 0.75 $R_{ბრლ}$ -მდე, რის შემდეგ განივი გაფართობის სიდიდე თანდათანობით იზრდება რღვევამდე $\mu = 0.5$. პუასონის კოეფიციენტის სიდიდე საბაზო ბეტონში $\mu = 0.22$ და მისი მუდმივობა შენარჩუნებულია 0.6 $R_{ბრლ}$ -მდე, შემდეგ განივი გაფართობის 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.
- 6 ქსაიპექს ადმიქს ც-1000-ის გამოყენება ჰიდროტექნიკურ ბეტონში გამართლებულია, რადგან ამ ბეტონის სიმტკიცის, დეფორმაციულობის მახასიათებლები და ხანმდეგობის პარამეტრები აკმაყოფილებენ ჰიდროტექნიკურ ბეტონისათვის ნორმებით გათვალისწინებულ პირობებს.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:

1. В. ЛОЛАДЗЕ, М. ЛОРДКИПАНИДЗЕ, Н. ДОНДОЛАДЗЕ, Н. ТАБАТАДЗЕ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРНОГО БЕТОНА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ, სამეცნიერო-ტექნიკურიჟურნალი „მშენებლობა“ №3(22), თბილისი, 2011, გვ. 94-97;
2. ვ. დვალიშვილი, ზ. გუბელიძე, ნ. ტაბატაძე. „ექსპერიმენტალური სამუშაოების ორგანიზაცია და დაგეგმარება“ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, შრომათა კრებული №1 (491), თბილისი 2014;
3. მ. წიქარიშვილი, ნ. ტაბატაძე. „ძველი შენობების ტექნიკური ექსპერტიზის საკითხების დამუშავება“ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 78-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის სექცია, გვ. 9-13;
4. Нареклишвили Т. Паресишвили А. Табатадзе. Н. Лежава. Г. УСТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ ДАТЧИКАМИ. ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭКОНОМИКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2012, Том 2, Часть I;
5. ნ. ტაბატაძე. „ჰიდროტექნიკური ბეტონზე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებისადმი წაყენებული მოთხოვნების რეგულირება დანამატებით“. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 78-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია.

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, 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; 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.

