

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მერაბ აბაზაძე

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

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2016

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტზე და ლევან სამხარაულის სახელობის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიუროს კირიაკ ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის, სეისმომედეგობის და საინჟინრო ექსპერტიზის ცენტრში.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი რევაზ ცხვედაძე

რეცენზენტები: ტ.მ.დ. პროფესორი ზეინაბ ქარუმიძე

ტ.მ.დ. პაპუნა მენაბდიშვილი

დაცვა შედგება 2016 წლის 13 ივლისს 14 საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, I კორპუსი, აუდიტორია 430^ა მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - სტუ-ს ვებ გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი: პროფესორი დემურ ტაბატაძე

ნაშრომის ზოგადი მიმოხილვა

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

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

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

საქართველოსში დღეისათვის უცნობია ადგილობრივი მასალებით ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის ბეტონების მიღების შესაძლებლობები. ამისათვის საჭიროა ქვეყნის სამშენებლო ბაზარზე არსებული მასალების თვისებების კვლევა, მსოფლიოში არსებული თანამედროვე ტექნოლოგიების ათვისება და მორგება ადგილობრივ პირობებთან, ნორმატიული დოკუმენტების შექმნა და ა.შ.

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

მახასიათებლები მაღალი სიმტკიცის ბეტონებისათვის არ არის სათანადოდ გამოკვლეული და დასაბუთებული.

სამუშაოს მიზანი: საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის შემავსებლების გამოყენებით, სამშენებლო ბაზარზე არსებული ცემენტებით, ბეტონის თვისებების მამოდიფიცირებელი დანამატების შერჩევით, საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის გაზრდისათვის საჭირო, ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის მოდიფიცირებული, ნაკლებად მყიფე, ნაკლებად ფორიანი, ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებად ანიზოტროპული თვისებების მქონე ბეტონების შემადგენლობების ვარიანტების შექმნა და მათი თვისებების კვლევა.

კვლევის ძირითადი ამოცანები:

- ა) საქართველოში არსებული ინერტული მასალებს ტესტირება.
- ბ) საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე არსებული ცემენტებს ტესტირება.
- გ) საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე არსებული პლასტიფიკატორებს ტესტირება.
- დ) საქართველოში გავცელებულ ბუნებრივი არამადნეული წიაღისეული ნედლეულის მოდიფიცირების ხერხების ძიება, ბეტონის აქტიურ მიკროდანამატად გამოყენებისათვის.
- ე) ბეტონის ქვის ანიზოტროპულობის შემცირების მიზნით საქართველოს ბაზარზე არსებული ბეტონის მიკროარმირებისათვის გამოსადეგი დანამატების კვლევა.
- ვ) საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის შემავსებლების გამოყენებით, სამშენებლო ბაზარზე არსებული ცემენტებით, ბეტონის თვისებების მამოდიფიცირებელი დანამატების შერჩევით, საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის გაზრდისათვის საჭირო, ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის მოდიფიცირებული, დისპერსიულად არმირებული, ნაკლებად მყიფე, ნაკლებად ფორიანი, ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებად ანიზოტროპული თვისებების მქონე ბეტონების შემადგენლობების ვარიანტების შექმნა და მათი თვისებების დადგენა.
- ზ) მიღებული ბეტონის ეტალონური ვარიანტების მიხედვით, მაღალი სიმტკიცის ბეტონის გამოყენების ტექნიკურ - ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასება.

სამეცნიერო სიახლე:

- ა) დადგენილ იქნა საქართველოს ინერტული მასალების ბაზაზე, მსხვილი სამსხვრევ - სახარისხებელი საწარმოების მიერ წარმოებული ქვიშა - ღორღის ვარგისიანობა ბეტონის წარმოებისათვის.
- ბ) დადგინდა საქართველოში გავცელებული, რამდენიმე ბუნებრივი არამადნეული სასარგებლო წიაღისეულის მოდიფიცირების ოპტიმალური ტემპერატურა, შემდგომში მათი მაღალი სიმტკიცის ბეტონებში აქტიურ მიკროდანამატად გამოყენების მიზნით.

გ) განხორციელდა საქართველოში წარმოებული სხვადასხვა შემავსებლების გამოყენებით, სამშენებლო ბაზარზე არსებული ცემენტებით, ბეტონის თვისებების მამოდიფიცირებელი დანამატების შერჩევით, საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის გაზრდისათვის საჭირო, ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის მოდიფიცირებული, ნაკლებად მყიფე, ნაკლებად ფორიანი, ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებად ანიზოტროპული თვისებების მქონე ბეტონების შემადგენლობების ეტალონური ვარიანტების შექმნა და დადგენილ იქნა მათი ზოგიერთი ძირითადი თვისება.

კვლევის მეთოდები: სეისმომედეგი მშენებლობისათვის საჭირო მაღალი სიმტკიცის და საექსპლოატაციო თვისებების ბეტონების მისაღებად გამოკვლეულ იქნა საქართველოში შერჩეული მასალები, აგრეთვე მიღებული ბეტონის ეტალონური ნიმუშები და განხორციელდა მიღებული შედეგების ანალიზი, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა, როგორც თეორიული ცოდნა, აგრეთვე მოქმედი ნორმატიული ლიტერატურა და დაგროვილი პრაქტიკული გამოცდილება.

აპრობაცია: სადისერტაციო ნაშრომის, როგორც ცალკეული ისე ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ სემინარებზე და საერთაშორისო კომფერენციაზე.

პუბლიკაციები: სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია დისერტაციასთან დაკავშირებულ 7 სამეცნიერო პუბლიკაციაში.

სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა: სადისერტაცო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვის, ესპერიმენტალური კვლევების შედეგების და მათი განსჯის, თეორიული გაანგარიშების, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისგან. ტექსტის საერთო მოცულობაა 160 გვერდი.

ნაშრომის შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, წარმოდგენილია: სამუშაოს მიზანი და ამოცანები, მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული ღირებულება.

პირველ თავში მოცემულია მაღალი სიმტკიცის ბეტონის (მსბ) მიმოხილვა შესწავლილი ლიტერატურის მეშვეობით. აღნიშნულია, რომ მაღალი სიმტკიცის ბეტონის გამოჩენამ მსოფლიოში საფუძველი ჩაუყარა ახალ ერას მშენებლობაში. მისმა უნიკალურმა თვისებებმა საშუალება მისცა მშენებლებს განეხორციელებინათ ისეთი გრანდიოზული პროექტები, როგორებიცაა: გვირაბი ლა-მანშის სრუტის ქვეშ, აკაში-კაიკოს ხიდი იაპონიაში მაღის სიგრძით 1990 მ., მაცხოვრის ტაძარი მოსკოვში და ა.შ.

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

ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონი განიხილება, როგორც ძირითადად სამი კომპონენტისაგან შემდგარი სამშენებლო მასალა. ეს კომპონენტებია: ცემენტი, შემვსებები და წყალი.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონი კი შედგება ხუთი ან მეტი კომპონენტისაგან. ე.ი. წინა სამ კომპონენტს ემატება: 1. აქტიური სილიციუმის ორჟანგის შემცველი ნივთიერებები: წარმოების ნარჩენები - წვრილდისპერსული მიკროკაჟმიწა (მკ), ფეროშენადნობთა ქარხნის მტვერი, ნაცარი, მეტალურგიული წიდეები და მეტაკაოლინი; 2. მაჰლასტიფიცირებელი დანამატები (სუპერ და ჰიპერპლასტიფიკატორები), რომლებიც საშუალებას იძლევიან მინიმუმამდე დავიყვანოთ წყალცემენტის ფარდობა ($w/c=0,3-0,35$) და შევინარჩუნოთ ნარევის სასურველი ძვრადობა. უკანასკნელ წლებში მსბ-ის გამოყენების არე გაფართოვდა და მას ამჟამად მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში იყენებენ. ეს გარემოება პირველ რიგში გამოიწვია მსბ-ის დამზადების ტექნოლოგიის განვითარებამ და მასზე მოთხოვნის მკვეთრმა ზრდამ.

მსბ-ის ტექნოლოგია დამყარებულია ბეტონის სტრუქტურის ჩამოყალიბების პროცესის მართვაზე მისი წარმოების ყველა ეტაპზე. ამ მიზნით იყენებენ მაღალხარისხოვან პორტლანდცემენტს ან კომპოზიციურ შემკვრელს, ბეტონის სტრუქტურის და თვისებების ქიმიური მოდიფიკატორების კომპლექსებს, აქტიურ წვრილდისპერსულ მინერალურ კომპონენტებს და სტაბილიზატორებს, გაფართოებად დანამატებს. მსბ-ის ნარევის დამზადების დროს მიმართავენ ინტენსიურ ტექნოლოგიას, რაც უზრუნველყოფს დოზირების სიზუსტეს, ნარევის გულდასმით მომზადებას და მასის ჰომოგენიზაციას, მის ხარისხიან შემკვრივებას და გამყარებას. ლიტერატურულ მიმოხილვაში განხილულია მაღალი სიმტკიცის და საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონის წარმოებისათვის საჭირო კომპონენტების შექმნის სფეროში დღეს მსოფლიოში ბეტონმცოდნეობაში არსებული მიღწევები, მიკროშემვსებებისა და სუპერპლასტიფიკატორების სრულყოფის მეცნიერული საფუძვლები. შემუშავებულია აგრეთვე მომავლის ბეტონის კონცეფცია და პერსპექტივები. ტექნოლოგიების თანამედროვე დონე იძლევა საშუალებას წარმოვიდგინოთ მომავლის ბეტონი და დავსახოთ მისი წარმოების განხორციელების პერსპექტივები საქართველოში. ეს კონცეფცია შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად:

- ბეტონების მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები: ბეტონის კლასი სიმტკიცის მიხედვით – C 50/60 – C100/115, დაბალი წყალ და აირ შეღწევადობა (W12-W20 მარკების ექვივალენტური), ცოცვადობისა და შეკლების მცირე დეფორმაციები, მომეტებული კოროზიამდეგობა და ხანგამძლეობა. ჩამოთვლილი მახასიათებლები განაპირობებენ კონსტრუქციის მაღალ საიმედოობას (ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით).
- ბეტონის ნარევის მომზადების ხელმისაწვდომი ტექნოლოგია და ზემოთ აღნიშნული მახასიათებლების მქონე ბეტონის მიღება, რაც დაფუძნებული იქნება ჩვენი რეგიონში გავრცელებული, ტრადიციული მასალების გამოყენებაზე და არსებული საწარმოო ბაზის გადაიარაღებაზე და ათვისებაზე. ამგვარი მიდგომა

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

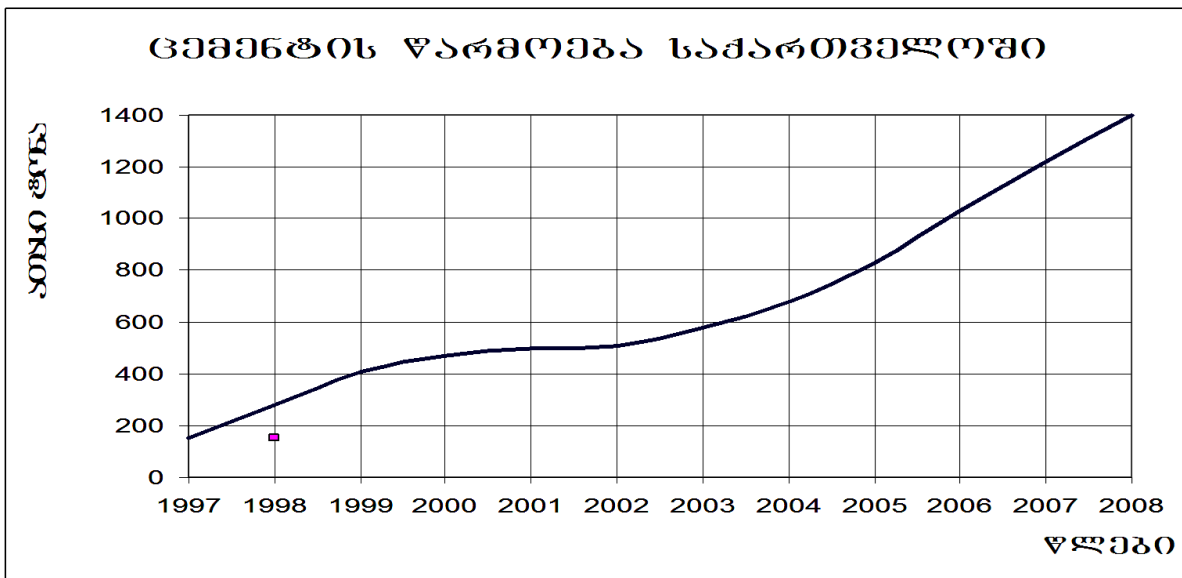
ახალი თაობის ბეტონების კონცეფციის რეალიზაციის ერთ-ერთი გზაა მათი მოდიფიცირება უფრო სრულყოფილი და ტექნოლოგიური მასალებით.

მეორე თავში (შედეგები და მათი განსჯა) განხილულია საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე არსებული ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების გამოცდით მიღებული შედეგები (თითოეული კომპონენტი ცალ-ცალკე) და საქართველოში მათი სანედლეულო ბაზა.

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

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

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



ნახ. 1. ცემენტის წარმოების დინამიკა საქართველოში

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

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

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

ევროსტანდარტით EN 197-1-ის თანახმად ცემენტი იყოფა კლასებად მათი კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით (მპა).

უმეტეს შემთხვევაში ევროკავშირის ქვეყნებში მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მისაღებად გამოიყენება პორტლანდცემენტი CEMI, CEMII -კომპოზიტური პორტლანდცემენტის

აღნიშვნაა, ხოლო CEMIII - წიდაპორტლანდცემენტის. საქართველოში ცემენტის წარმოება ძირითადად გადასულია ევროპულ სტანდარტ EN 197-1-ზე.

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

ჩვენ ექსპერიმენტალურ კვლევებში გამოყენებული იქნება ძირითადად რუსთავის ცემენტის ქარხნის CEM I 42,5 R ცემენტი, რომლის აქტივობა 500 კგმ/სმ²-ია.

აგრეთვე გამოყენებულია თურქეთში, ქ. ტრაპიზონში წარმოებული პორტლანდცემენტი CEM I 42,5 R. აღნიშნული ცემენტების ქიმიური შემადგენლობა მოყვანილია ცხრილ №1 -ში.

ცხრილი №1

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

№	ცემენტის მწარმოებელი	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	20.90	5.31	3.56	64.34	1.19	3.00
2	ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	19.86	5.40	3.25	63.77	1.22	2.50%

ქ. რუსთავის და ქ. ტრაპიზონი ცემენტის ქარხნების პორტლანდცემენტების CEM I 42,5 R EN 196-ით ტესტირების შედეგები მოყვანილია ცხრილ №2 -ში.

ცხრილი № 2

ექსპერიმენტებში გამოყენებული პორტლანდცემენტების EN 196-ის მიხედვით ტესტირების შედეგები

№	ცემენტის მწარმოებელი	დაფქვის სიწმინდე		ცემენტის ცომის ნორმალური სისქე	შეკვრის ვადები, წთ		სიმტკიცე კუმშვაზე მკა		
		ნარჩენი №008 საცერზე %	ხვედრითი ზედაპირი სმ ² /მ		დასაწყისი	დასასრული	2 დღის შემდეგ	7 დღის შემდეგ	28 დღის შემდეგ
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	7.0	3412	24	90	165	21.26	36.20	49.7
2	ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	6.5	3623	28	115	180	28.2	37.8	47.7

შემვსებები. ბეტონის სიმტკიცის ზრდასთან ერთად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება შემვსები მასალების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. თუ ჩვეულებრივი ბეტონის

შემთხვევაში შემვსები თამაშობს ინერტული მასალის როლს, მაღალი სიმტკიცის ბეტონებში შემვსებების ხარისხსა და თვისებებს თავიანთი წვლილი შეაქვთ ბეტონის სიმტკიცის ზრდაში.

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

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

მათგან ყველაზე უკეთესი შედეგებით გამოირჩა მდინარე ხრამის და თბილისის რეგიონის მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებები, რომელთა მახასიათებლები მოყვანილია ქვემოთ.

მდინარე ხრამის აუზის ღორღის, მომპოვებელი და გადამამუშავებელი შ.პ.ს. “GDG”, ფიზიკურ- მექანიკური მახასიათებლებია:

1. ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით ღორღის ტენიანობა გამოცდის მომენტისათვის აღმოჩნდა: $W_e = 0.9\%$;
2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის (პიკნომეტრი) მიხედვით: $\rho_5 = 2.71$ გ/სმ³;
3. ღორღის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით: $\rho_a = 1.42$ გ/სმ³;
4. ცარიელობა ღორღში ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით: $V_{d3} = (1 - \rho_a / \rho_5) 100 = 47.6\%$;

5. თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია GOCT 8269-87-ის შესაბამისად: იგი შეადგენს – 0.42%-ს, რაც ნაკლებია სტანდარტით განსაზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე – 1%.
6. ღორღის მსხვრევადობის მაჩვენებელი, რომელიც ითვლება მისი სიმტკიცის მახასიათებლად, განსაზღვრულია GOCT 8269.0-97-ის მიხედვით, ცილინდრში ღორღის ჩაწნების გზით და შეადგენს: მსხვრ.=10 %;
რის მიხედვითაც ღორღის სიმტკიცე GOCT 8267.93-ის ცხრილი 5-ის შესაბამისად შეადგენს 100 მპას.
7. ღორღის გრანულომეტრული შედგენილობა განსაზღვრულია ევროსტანდარტ EN 933-2-ის და GOCT 8269-87-ის შესაბამისად; ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე (იხ. ცხრილი 3):

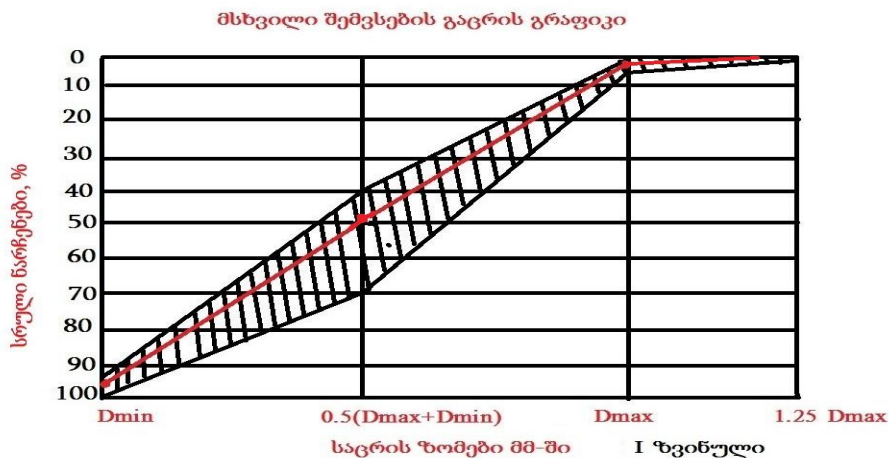
ცხრილი №3

მდ. ხრამის აუზის ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა:

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ							გავიდა №5.0
	19.0	16.0	12.5	9.5	8.00	6.3	5.0	
კერძო, გრ	640	1618	4637	3102	1227	1939	1473	358
კერძო, %	4.23	10,79	30,91	20,68	8.18	12.93	9.82	2.39
სრული, %	4.23	15,02	45,93	66,61	74.79	87.72	97.54	99.93

ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა GOCT 8269-87-ის მიხედვით: ფრაქცია <5მმ-ზე – 2,39%;
ფრაქცია 5-10მმ – 41.27%; ფრაქცია 10-20მმ – 56.27%;

მსხვილი შემცვების გაცრის გრაფიკი ასახულია ნახაზ 2-ზე;



ნახ. 2. მდ. ხრამის აუზის ღორღის გრანულომეტრია

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ღორღის გაცრის მრუდი მოთავსდა დაშტრიხულ უბანში, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ღორღი გამდიდრების გარეშე ვარგისია ბეტონის ნარევიში გამოსაყენებლად.

მდინარე მტკვრის აუზის (თბილისის რეგიონი) ღორღის შერჩევა, ხარისხის ტესტირება

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

1. GOCT 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა $W_{\text{e}}=1.1\%$.
2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით (პინკნომეტრის მეთოდი) $\rho_{\text{e}} = 2.70 \text{ გ/სმ}^3$.
3. ღორღის ნაყარი სიმკვრივე GOCT 8269-87-ის მიხედვით $\rho_{\text{a}} = 1.40 \text{ გ/სმ}^3$.
4. ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა GOCT 8269-87-ის მიხედვით $V=(1- \rho_{\text{a}} / \rho_{\text{e}}) 100=48.1\%$.
5. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია GOCT 8269-87-ის შესაბამისად და შეადგენს 0.85 %-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.
6. ღორღის მსხვრევადობის მაჩვენებელი, რომელიც ითვლება მისი სიმტკიცის მახასიათებლად, განსაზღვრულია GOCT 8269.0-97-ის მიხედვით, ცილინდრში ღორღის ჩაწნების გზით და შეადგენს: მსხვრ.=12%;
რის მიხედვითაც ღორღის სიმტკიცე GOCT 8267.93-ის ცხრილი 5-ის შესაბამისად შეადგენს 80 მპას.
7. ღორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და GOCT 8269-87-ის შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცარელ დანადგარზე. შედეგები მოყვანილია ცხრილ №4-ში.

ცხრილი №4

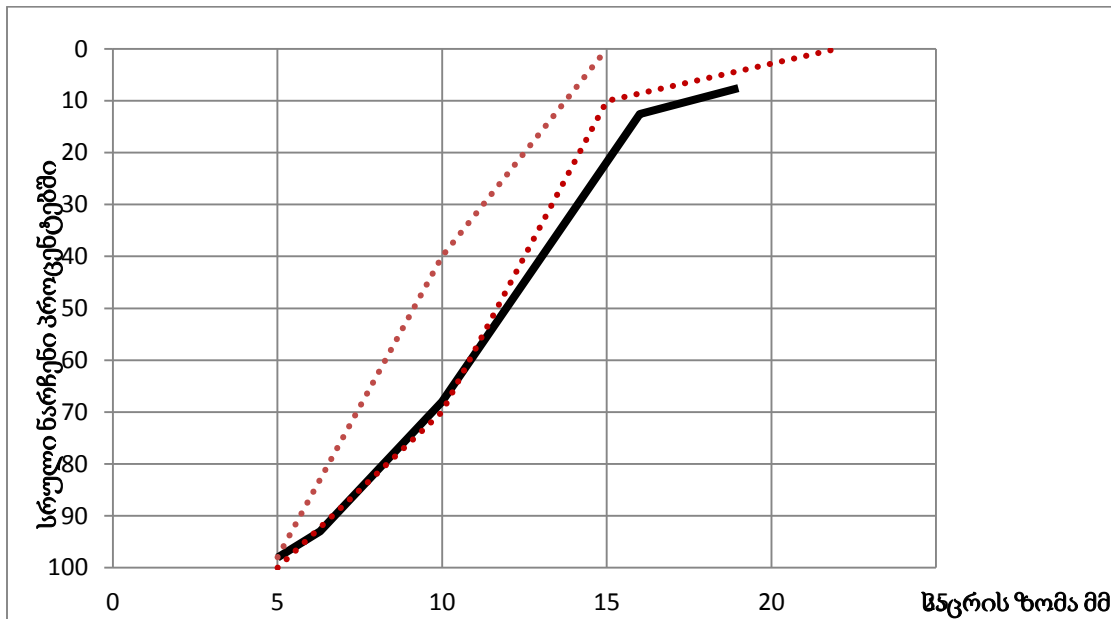
მტკვრის აუზის ღორღის გრანულომეტრიული შედეგნილობა

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები							გავიდა 3,35 მმ საცერში
	22	19	16	10	6,30	5,0	3,35	
კერძო გრ.	15	575	384.5	4299.5	1934.5	392.5	75.0	73.5
კერძო %	0.19	7.4	4.96	55.48	24.96	5.06	0.97	0.95
კერძო %	0.19	7.59	12.55	68.03	92.99	98.01	99.02	99.97

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა იქნება

$$G = 15 + 575 + 384.5 + 4299.5 + 1934.5 + 392.5 + 75.0 + 73.5 = 7750 \text{ გრ.}$$

მიღებული ცხრილის მიხედვით განსაზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ღორღის უდიდესი სიმახოს ზომად მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ღორღის რაოდენობა არ აღემატება 5 %-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95 %-ისა (საცერში გასულია 5 %). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 19 მმ., ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 5.00 მმ. წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად გამოყენებული მსხვილ შემვსებების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.



ნახ. № 3. თბილისი-რუსთავის რეგიონის ღორღის გრანულმეტრული მრუდი.

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

მდინარე ხრამის აუზის ქვიშის ტესტირების შედეგები:

1. ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით, ქვიშის ტენიანობა გამოცდის მომენტისათვის აღმოჩნდა: $W_{\text{ჰ}} = 5.6\%$;
2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის (პიკნომეტრი) მიხედვით: $\rho_{\text{ფ}} = 2.61 \text{ გ/სმ}^3$;
3. ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით: $\rho_{\text{ა}} = 1.538 \text{ გ/სმ}^3$;
4. ცარიელობა ქვიშაში ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით: $V_{\text{ჰ}} = (1 - \rho_{\text{ა}} / \rho_{\text{ფ}}) 100 = 41\%$;
5. თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად: იგი შეადგენს – 1.6%-ს, რაც ნაკლებია სტანდარტით განსაზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე – 3%.

6. ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა განსაზღვრულია ევროსტანდარტ EN 933-2-ის და ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად; ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე (იხ. ცხრილი 5)

ცხრილი №5

მდ. ხრამის აუზის ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა:

ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ										გავიდა №015
	4,75	3,35	2,36	1,70	1,40	1,00	0,71	0,50	0,25	0,15	
კერძო,გრ	36	50	70	92	64	114	144	157	213	49	11
კერძო,%	3.6	5.0	7.0	9.2	6.4	11.4	14.4	15.7	21.3	4.9	1.1
სრული,%	3.6	8.6	15.6	24.8	31.2	42.6	57	72.7	94.0	98.9	100

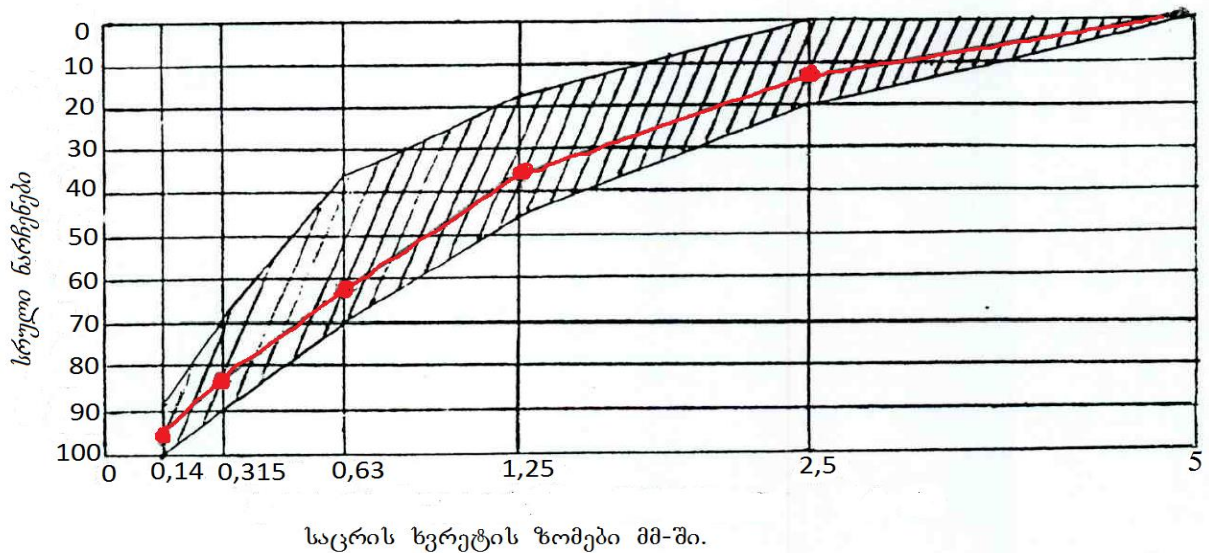
ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით სრული ნარჩენები საცრეზე შეადგენს: 2.5 – 15.6%; 1.25 - 36,9%; 0.63 – 64.85%; 0.315 – 83.5%; 0.15 – 98.9%.

ქვიშის სისხოს მოდულია:

$$M_s = 15.6 + 36.9 + 64.85 + 83.5 + 98.9/100 = 3$$

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

ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია მდ. ხრამის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი.



ნახ. 4. მდ. ხრამის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

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

მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები:

1. ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით, ქვიშის ტენიანობა გამოცდის მომენტისათვის აღმოჩნდა: $W_{\text{ჰ}}=5.6\%$;
2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის (პიკნომეტრი) მიხედვით: $\rho_6=2.56$ გ/სმ³;
3. ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით: $\rho_a=1.515$ გ/სმ³;
4. ცარიელობა ქვიშაში ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით: $V_{\text{ჰ}}=(1- \rho_a/ \rho_6) 100 = 41\%$;
5. თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად: იგი შეადგენს – 5.2%-ს, რაც მეტია სტანდარტით განსაზღვრულ დასაშვებ ნორმაზე – 3%. ქვიშა საჭიროებს გარეცხვას.
6. ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა განსაზღვრულია ევროსტანდარტ EN 933-2-ის და ГОСТ 8735-88-ის შესაბამისად; ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე. (იხ. ცხრილი 6)

ცხრილი №6

მდ. მტკვრის აუზის ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა

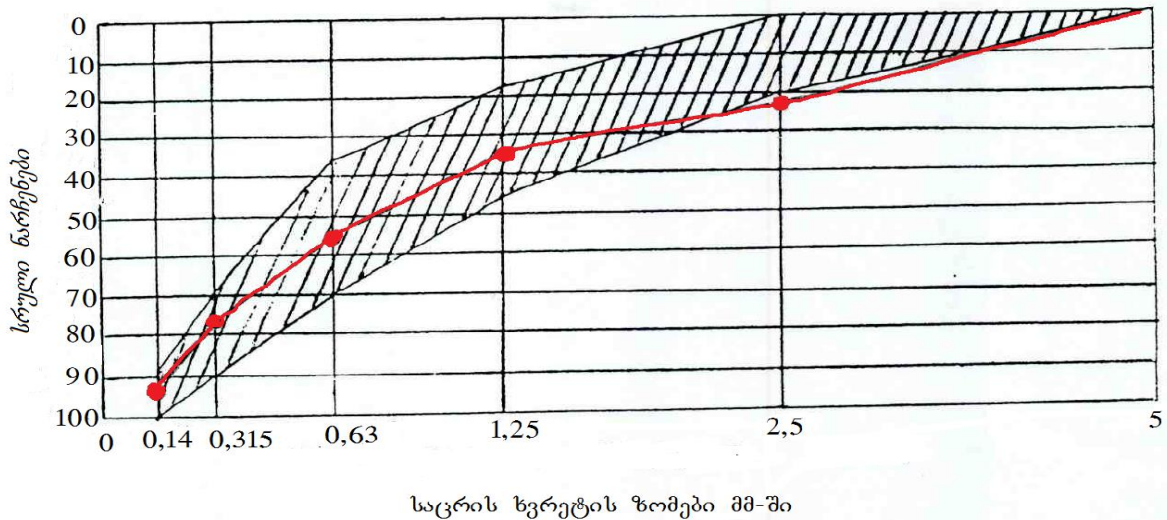
ნარჩენები	საცრის ნახვრეტის ზომები, მმ										გავიდა №015
	4,75	3,35	2,36	1,70	1,40	1,00	0,71	0,50	0,25	0,15	
კერძო,გრ	42	95	96	75	44	72	81	102	242	110	41
კერძო,%	4.2	9.5	9.6	7.5	4.4	7.2	8.1	10.2	24.2	11.0	4.1
სრული,%	4.2	13.7	23.3	30.8	35.2	42.4	50.5	60.7	84.9	95.9	100

ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით სრული ნარჩენები საცრებზე შეადგენს: 2.5 – 23.3%; 1.25 – 35.5%; 0.63 – 55.6%; 0.315 – 70.7%; 0.15 – 95.9%.

ქვიშის სისხოს მოდულია: $M_s = 23.3 + 35.5 + 55.6 + 70.7 + 95.9/100 = 28$

გამოსაკვლევი ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0.63 საცერზე შეადგენს 55.6%-ს).

ნახ. 5-ზე ნაჩვენებია მდ. მტკვრის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი:



ნახ. 5. მდ. მტკვრის ქვიშის გაცრის გრაფიკი.

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

მაპლასტიფიცირებელი დანამატები. დღეისათვის ევროკავშირისა და ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში ძირითადად გამოიყენება ლიგნოსულფონატების, სულფონატალინოვანი ფორმალდეჰიდების და სულფომელამინოვანი ფორმალდეჰიდების ბაზაზე დამზადებული მაპლასტიფიცირებელი დანამატები. უკანასკნელ წლებში დაიწყო ახალი თაობის, მაღალეფექტური ნაერთების პოლიკარბონატების და პოლიკარბოქსილატების გამოყენება. რომელთა მოქმედების ეფექტი 2-3-ჯერ ძლიერია ზემოთ ჩამოთვლილ სპ-ებთან შედარებით. საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე გავრცელებული ამ დანამატების კვლევა და დეტალური მიმოხილვა მოცემულია დისერტაციაში.

მამოდიფიცირებელი დანამატები.

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

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

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

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

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

ამ დანამატების გათვალისწინებით, ბეტონის შემკვრელების საერთო რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\text{შ} = \text{ც} + \text{მკ} + 0.4\text{ნწ};$$

სადაც ც – არის ერთ კუბურ მეტრ ბეტონში ცემენტის რაოდენობა;

მკ – მიკროკაჟმიწის რაოდენობა;

ნწ – ნაცარწაცის ანა უმეტეს 25%-ისა.

ამ შემთხვევაში წყალცემენტის ფარდობა გამოითვლება ბეტონის მოდიფიცირების მიხედვით და უდრის

$$\text{წ/ც} = (\text{წ} + \text{წ}_{\text{მკ}} + \text{წ}_{\text{ნ}} + \text{წ}_{\text{ა}}) / \text{შ};$$

სადაც წ – არის პორტლანდცემენტის ადუღაბებისათვის საჭირო წყლის რაოდენობა;

წ_{მკ} – მიკროკაჟმიწის წყალი;

წ_ნ – ნაცარწაცის წყალი;

წ_ა – შემვსებებში არსებული წყალი;

შ – კომბინირებული შემკვრელი.

საქართველოში მიკროკაჟმიწის შემცველი დანამატი საზღვარგარეთიდან შემოდის (ე.წ. ნორვეგიული მიკროსილიკა), რაც საკმაოდ აძვირებს ბეტონის თვითღირებულებას. ჩვენი მეზობელი ქვეყნების სამეცნიერო ცენტრებში ჩატარებულია კვლევები მეტალურგიული და ფეროშენადნობთა ქარხნების ულტრადისპერსული ნარჩენების ბეტონის ნარევებში დანამატად გამოყენების ეფექტურობის შესახებ. აღნიშნული ნარჩენები დაჭერილია ელექტრო და სახელოიანი ფილტრების სისტემებით, სადნობი ღუმლების მშრალი აირგაწმენდის დროს. აღნიშნული მონაცემები მოყვანილია ცხრილებში №7 და №8.

ფეროშენადნობთა წარმოების ულტრადისპერსული ნარჩენების ქიმიური შემადგენლობა

მიკროშემდგენების წარმოშობა	მიკროგამაჯერებლის დასახელება	კომპონენტების შემცველობა, %-ში							
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	MnO	SO ₃
ნოვოკუზნეცკი	ფეროსილიციუმი	89,7	2,0	1,7	2,5	1,76	01,89	–	0,3
ჩელიაბინსკი	ფეროსილიციუმი	89,2	2,84	1,68	2,1	1,75	1,43	–	0,5
ერმაკი	ფეროსილიციუმი	70,1	3,43	2,03	11,4	0,9	0,9	–	0,4
აქტიუბინსკი	ფეროსილიციუმქრომი	66,1	2,2	1,3	0,44	14,65	1,8	–	4,2
ზესტაფონი	სილიკომანგანუმი	25,2	2,64	4,27	18,6	4,0	2,1	35,8	4,2
ზესტაფონი	სილიკომანგანუმი	35,4	2,3	3,86	4,58	4,2	2,4	39,1	3,4

ცხრილი N 8

ფეროშენადნობთა წარმოების ულტრადისპერსული ნარჩენების ზოგიერთი ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებელი

მწარმოებელი ქარხანა	ნოვოკუზნეცკი	ჩელიაბინსკი	ერმაკი	აქტიუბინსკი	ზესტაფონი	ზესტაფონი
ულტრადისპერსული ნარჩენების სახეობა	ფეროსილიციუმი	ფეროსილიციუმი	ფეროსილიციუმი	ფეროსილიციუმქრომი	სილიკომანგანუმი	სილიკომანგანუმი
SiO ₂ -ის შემცველობა, %	89,7	89,2	70,1	66,1	25,2	35,4
ჰიდრაულიკური აქტივობა	98	94	58	40	14,2	25
წყალმომთხოვნელობა	40	33	137	43	26	33
ნაყარი ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ ³	260	228	130	266	621	800
ხვედრითი ზედაპირი, სმ ² /გ	20 000 – 25 000	20 000 – 22 000	25 000 – 50 000	20 000 – 22 000	8 000 – 10 000	12 000 – 14 000

ცხრილებიდან ჩანს, რომ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის სილიკომანგანუმის მტვერი ხასიათდება აქტიური SiO₂-ის ყველაზე დაბალი შემცველობით და როგორც ექსპერიმენტებმა აჩვენა, მისი გამოყენება ბეტონის ნარეგებში მიკროშემდგენებად ვერ გვაძლევს სათანადო შედეგს. აქედან გამომდინარე ჩვენი ძალისხმევა მობილიზებულ იქნა საქართველოში ფართოდ გავრცელებული წყლიანი ალუმოსილიკატების ჯგუფის მინერალების შემცველ არამადნეული წარმოშობის წიაღისეულის (თიხა-ფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები) კვლევაზე და მათ მოდიფიცირებაზე.

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

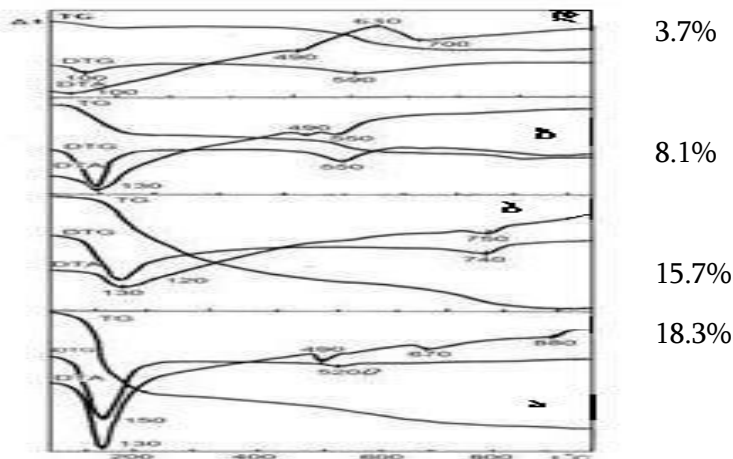
ამ კონკრეტული საკითხის შესწავლის პროცესში ლაბორატორიულად გამოკვლეულ იქნა ცეოლიტების, თიხა-ფიქლის და ბენტონიტური თიხების, როგორც ქიმიური შემადგენილობა და სტრუქტურა, ასევე თერმული მდგრადობა, რაც მაღალი ხარისხის ცემენტებისა და ბეტონის მიღების აუცილებელი წინაპირობაა.

ცხრილი N9

რამდენიმე არამადნეული წიაღისეულის ქიმიური შემადგენლობა ოქსიდების სახით.

დასახელება	ქიმიური შემადგენლობა ოქსიდების სახით %							
	$(Na, K)P_2O$	CaO	MgO	Fe_2O_3	SO_3	Al_2O_3	SiO_2	H_2O
თიხაფიქალი	4.7	1.32	2.83	7.59	0.58	18.73	59.5	4.1
ბენტონიტური თიხა	1.25	2.26	0.3	3.13	0.58	18	52.2	8.6
ცეოლიტური ტუფი	3.35	0.13	1.2	2.4	0.4	12.3	62.6	8.6

წიაღისეულის შესწავლა ხდებოდა ე.წ. თერმული ანალიზის მეთოდით, რითაც ვადგენდით ნიმუშების სრული გაუწყლოვნების ტემპერატურას. მათი სტრუქტურული ცვლილებების დადგენა ხდებოდა რენტგენოდიფრაქტომეტრული ანალიზის საშუალებით, აგრეთვე ი.წ. სპექტროსკოპიის მეთოდით. ნიმუშების სრული გაუწყლოების ტემპერატურის დადგენის მიზნით ჩატარებული კვლევა დიფერენციალური თერმული ანალიზის მეთოდით მოცემულია მე-7-ე ნახაზზე.



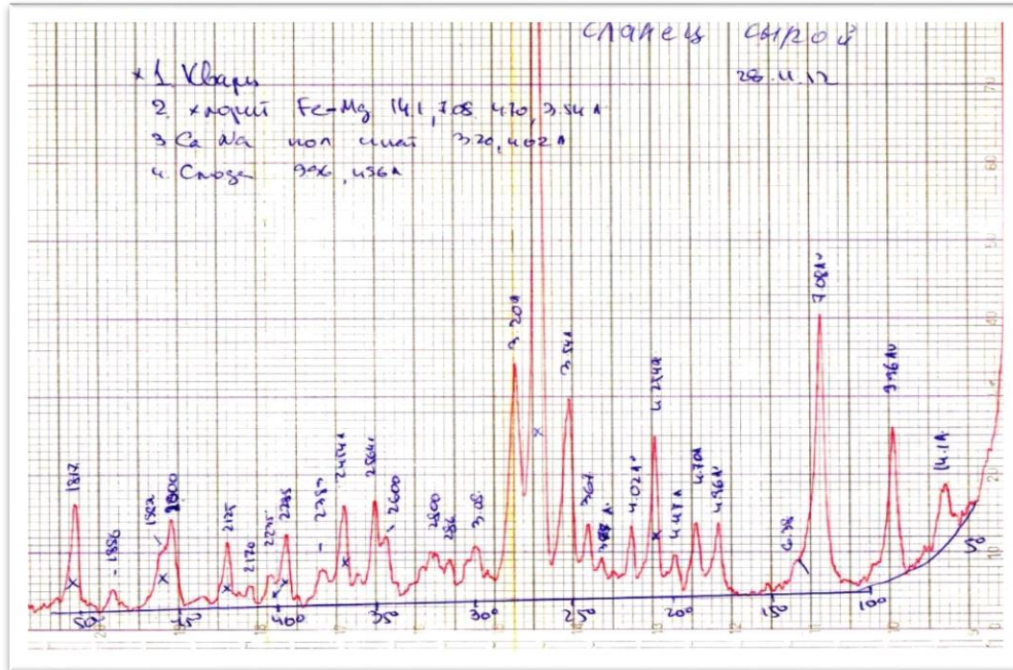
ნახ.7 თერმოგრაფიული კვლევის შედეგები: ა) ბენტონიტური თიხა; ბ)კლინოპტილოლიტი; გ) სპონგოლიტი; დ) თიხაფიქალი

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

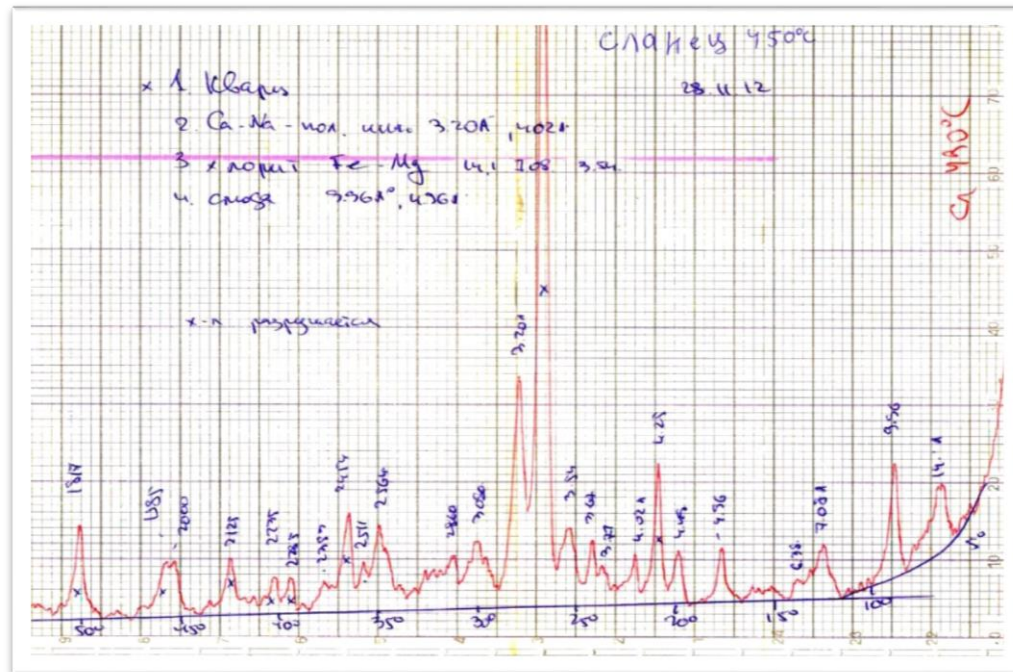
ცეოლით კლინოპტელოლიტის თერმული ანალიზის შედეგად წყლის ძირითადი დანაკარგი DTA მრუდზე 130 °C-ზე აღინიშნება. ენდოთერმული პიკი 740°C-ზე წყლის სრულ დესორბციაზე მიუთითებს. ნიმუშის მასის დანაკარგი **15.7%**-ია. სპონგოლიტშიც წყლის ძირითადი დანაკარგი 130°C - ზე მოდის DTA მრუდზე ორი ენდოთერმული პიკი 490 და 550°C-ზე სპონგოლიტის შემადგენლობაში ორ განსხვავებულ ფაზაზე მიგვითითებს. ნიმუშში მასის დანაკარგი აქ **8.3%**-ია. თიხაფიქლის DTA მრუდზე წყლის დისოციაცია ძირითადად 100°C-ზე ხდება. მცირე ინტენსივობის ენდოთერმული პიკი 490°C-ზე მიუთითებს თიხაფიქლის შემადგენლობაში არსებული რკინა-მანგანუმის ქლორიდის სტრუქტურის რღვევაზე. ეგზოთერმული პიკი 700°C-ზე, დეჰიდრატაციის დასრულებაზე მიგვანიშნებს. ნიმუშში მასის დანაკარგი **3.7%**-ს შეადგენს.

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

ა)



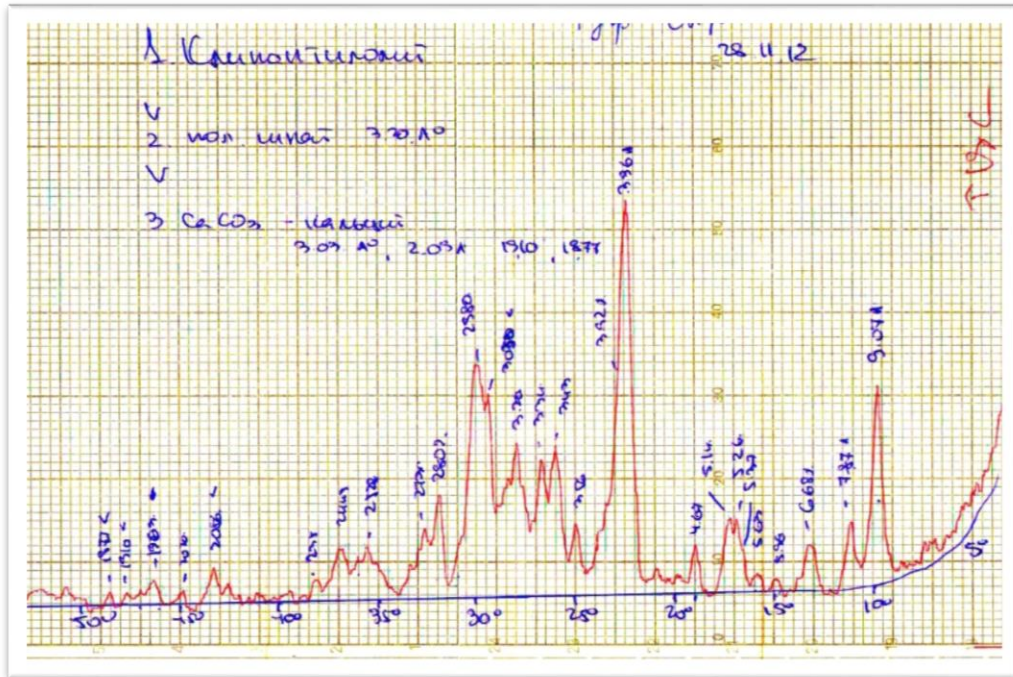
ბ)



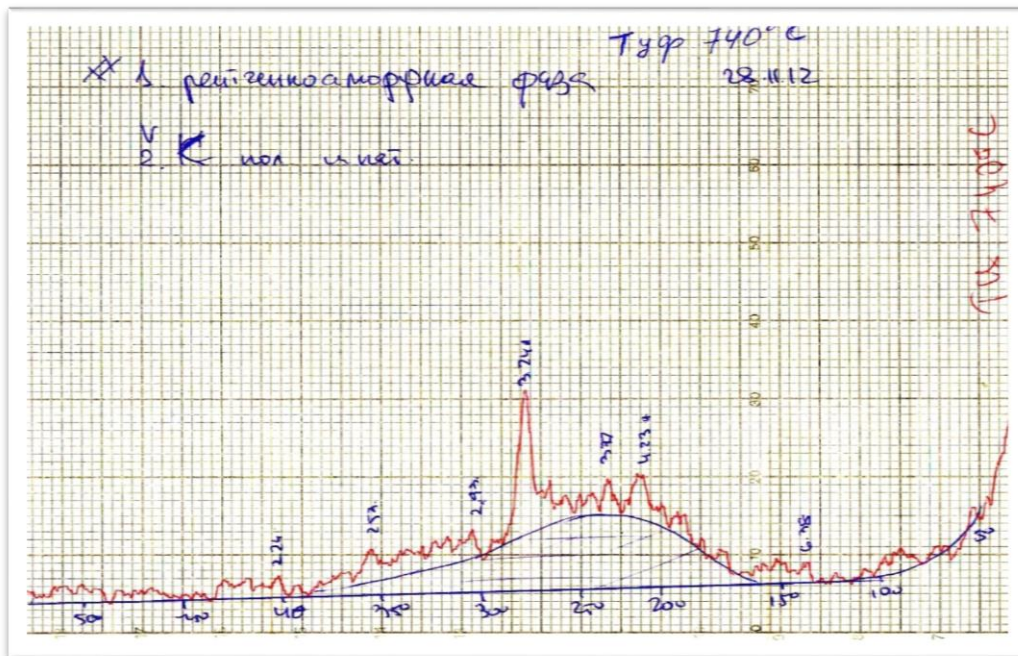
ნახ. 8 თიხაფიქლის რენდგენოდიფრაქტოგრამა ა) ნედლი ბ) თერმულად დამუშავებული

თიხაფიქლის დიფრაქტოგრამიდან ჩანს, რომ ის შედგება კვარცის 2.0; 2.12; 2.28; 2.3 2.54; 3.34; 4.25 Å⁰, Fe-Mg-ის ქლორიდის 3.54; 4.70; 7.09; 14,1 Å⁰, Ca-Na - მინდურის შპატისა 2.90; 4.02 Å⁰ და ქარსისგან 4.96; 9.96 Å⁰. ნიმუშის 490°C-ზე გახურებამ სტრუქტურის მცირედ შეცვლა გამოიწვია, რაც ძირითადად რკინა-მანგანუმის ქლორიდის სტრუქტურის რღვევაში გამოიხატება.

ა)

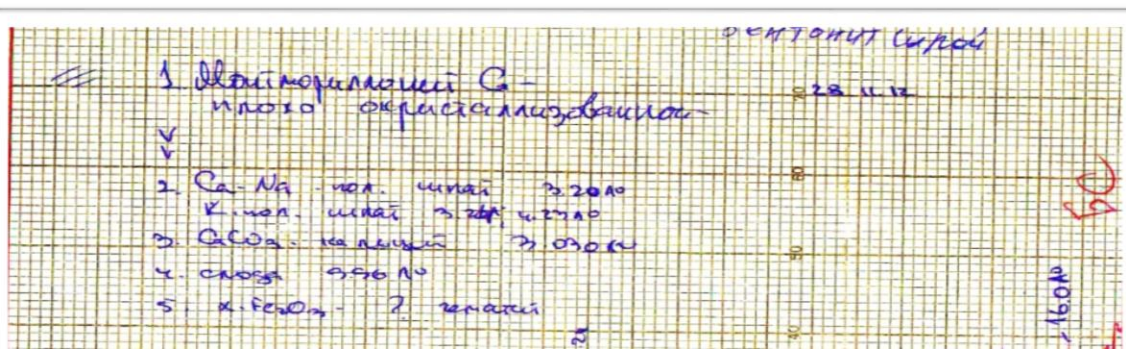


ბ)



ნახ. 9 ცეოლითის რენტგენოდიფრაქტოგრამა. ა) ნედლი ბ)თერმულად დამუშავებული კლინობტელოლიტის რენტგენოდიფრაქტოგრამაში გარდა კლინობტელოლიტისა 2.01; 2.35; 2.44; 2.52 2.70; 2.80 2.98 3.2; 3.34; 3.43; 3.56; 3.92; 3.96; 4.07 5.14; 5.26; 5.37 5.63; 6.68 A⁰, შეინიშნება მინდ

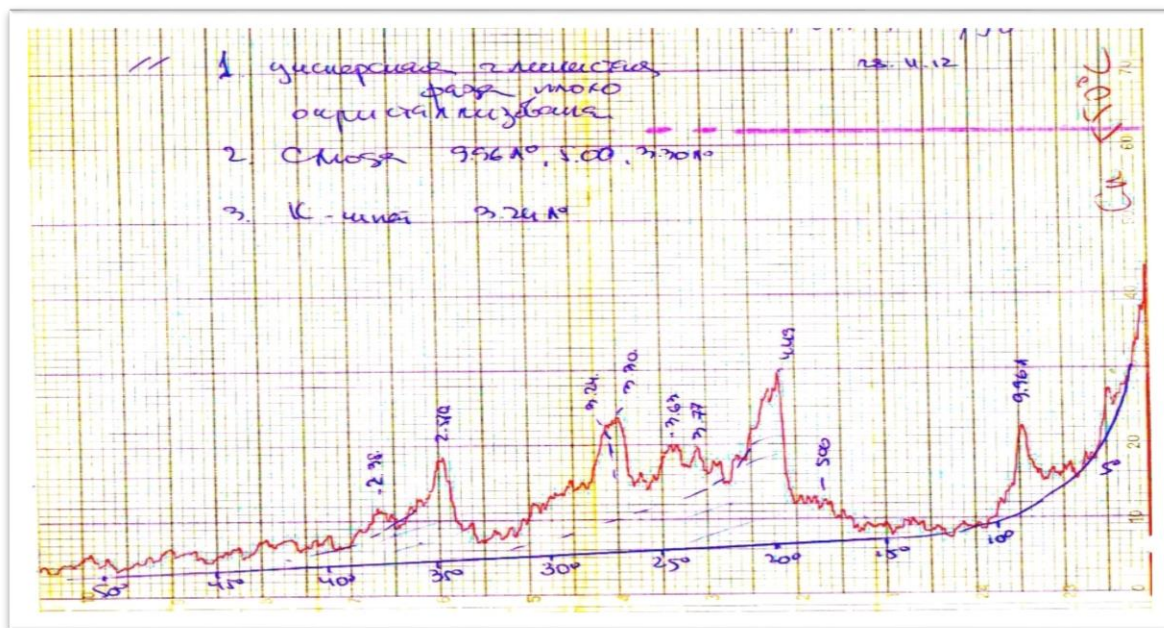
გახუ



ფაზის გარდა კლინოპტელოლიტის 2.24; 2.53; 2.93; 3.77; 6.38 A⁰ და მნდვრის შპატის 3.24; 4.23 A⁰ კრისტალური სტრუქტურის აღმნიშვნელი პიკები მაინც გვაქვს.

ა)

ბ)



ნახ. 10 ბენტონიტური თიხის რენდგენოდიფრაქტოგრამები ა) ნედლი ბ) თერმულად დამუშავებული

ბენტონიტური თიხის რენტგენოდიფრაქტოგრამიდან ჩანს (სურ 2), რომ ნიმუშები ძირითადად ცუდად დაკრისტალებული მონტმორილონიტისაგან შედგება. გარდა ამისა მინარევების სახით გვაქვს Ca-Na მინერის შპატი 3.20; 3.21; 4.23 A⁰, კალციტი CaCO₃-3.03A⁰ და ქარსი 3.96 A⁰. თიხის 490 °C - ზე გახურების შემდეგ, რენტგენოდიფრაქტოგრამაში აღარ შეიმჩნევა მინდვრის შპატისა და კალციტის პიკები. სამაგიეროდ უფრო გამოკვეთილად გამოჩნდა ქარსის ზოლები.

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

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

მდინარე ხრამის აუზის შემგსებებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შემადგენლობის დადგენა და გამოცდის შედეგები:

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

შედარების მიზნით დაპროექტებულ იქნა მეორე შედგენილობა, სადაც მაპლასტიფიცირებელ დანამატად გამოყენებულ იქნა Sika-ს ფირმის პლასტიფიკატორი Viscocrete SF-18 (1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან), რამაც საშუალება მოგვცა წყალცემენტის ფარდობა შეგვემცირებინა წ/ც=0,34-მდე; ამ სერიაშიც დამზადებულ იქნა 6 კუბის ფორმის ნიმუში, ზომებით 150X150X150 მმ;

დაპროექტებულ იქნა ასევე ბეტონის მესამე შედგენილობაც, სადაც ცემენტის ხარჯი შემცირებულ იქნა 10%-ით, ბეტონის შედგენილობაში შეყვანილ იქნა თიხა-ფიქლის თერმოდამუშავების შედეგად მიღებული წვრილდისპერსული მამოდიფიცირებელი დანამატი ცემენტის მასის 10%-ის ოდენობით; ბეტონის შემადგენელი სხვა კომპონენტების ცვლილება არ განხორციელებულა.

ნიმუშები გამოცდილი იქნა 7 და 28 დღის ასაკში. ნიმუშების გამოცდის გასაშუალოებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში №10.

ბეტონის შემადგენილობა და ტესტირების შედეგები

№	მიკროშემესების სახე	ბეტონის შემადგენილობა კგ/მ ³						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ ³		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ლორდი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემესები	პლასტიფიკატორი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	488	815	838	-	-	244	2.34	2.35	41.3	53.9
2	-	488	845	858	-	4.88	166	2.31	2.32	57.7	70.1
3	თიხა-ფიქალი	438	845	858	50	4.88	166	2.32	2.33	59.4	72.8

როგორც მე-N10 ცხრილიდან ჩანს, ბეტონის მეორე შედგენილობის (მაპლასტიფიცირებელ დანამატად გამოყენებული იქნა Sika Viscocrete SF-18 - 1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან, რამაც შეგვადლებინა წ/ც-ის 0.34-მდე შემცირება) ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობა (70.1 მპა) დაახლოებით 30%-ით აღემატება საბაზო ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობას (53.9 მპა), ხოლო მინერალური მიკროშემესების თიხა-ფიქლის ცემენტის მასიდან 10%-ის ოდენობით დამატებამ, ცემენტის ხარჯის 10%-ით შემცირების შემთხვევაში, მიგვაღწევინა ბეტონის სიმტკიცის კიდევ უფრო მნიშვნელოვან მატებას - 72.8-მპა.

მდინარე მტკვრის აუზის შემსვებზე დამზადებული, თიხა-ფიქლით მოდიფიცირებული ბეტონის შემადგენლობის დადგენა და გამოცდის შედეგები:

ზემოთ მოყვანილი ბეტონის შედგენილობების ანალოგიურად დაპროექტდა ბეტონის შედგენილობები ჩვენს მიერ გამოკვლეულ მტკვრის აუზის შემსვებზე.

ნიმუშები გამოცდილი იქნა 7 და 28 დღის ასაკში. ნიმუშების გამოცდის გასაშუალოებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში №11.

ბეტონის შემადგენილობა და ტესტირება

№	მიკროშემესების სახე	ბეტონის შემადგენილობა კგ/მ ³						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ ³		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ლორდი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემესები	პლასტიფიკატორი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	496	812	832	-	-	248	2.34	2.35	40.8	52.8
2	-	496	836	847	-	4.96	169	2.32	2.33	55.4	68.7
3	თიხა-ფიქალი	446	836	847	50	4.96	169	2.33	2.33	58.0	71.5

ცხრილი 11-დან ჩანს, რომ საბაზო ნიმუშებში, მტკვრის აუზის შემდგენილების ხრამის აუზის შემდგენილებთან შედარებით დაბალი ხარისხის კომპენსირება განხორციელდა ცემენტის ხარჯის გაზრდით, თუმცა შედეგები ოდნავ დაბალია ცხრილ N10-ში მოყვანილ მონაცემებთან შედარებით.

ამ შემთხვევაშიც, ბეტონის მეორე შედგენილობის (მაპლასტიფიცირებელ დანამატად გამოყენებული იქნა Sika Viscocrete SF-18 - 1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან, რამაც შეგვადლებინა წ/ც-ის 0.34-მდე შემცირება) ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობა (68.7 მპა) დაახლოებით 30%-ით აღემატება საბაზო ნიმუშების სიმტკიცეების საშუალო მნიშვნელობას (52.8 მპა), ხოლო მინერალური მიკროშემესების თიხა-ფიქლის ცემენტის მასიდან 10%-ის ოდენობით დამატებამ, ცემენტის ხარჯის 10%-ით შემცირების შემთხვევაში, მიგვალწევინა ბეტონის სიმტკიცის კიდევ უფრო მნიშვნელოვან მატებას 71.5- მპა (35% საბაზო ნიმუშებთან შედარებით). ანალოგიური ქმედებები იქნა განხორციელებული ცეოლითური ტუფების და ბენტონიტური თიხების შემთხვევაშიც. მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილებში 12, 13, 14 და 15.

მდინარე ხრამის აუზის შემგსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შემადგენილობის დადგენა და გამოცდის შედეგები:

ცხრილი 12

ბეტონის შემადგენილობა და ტესტირება

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

მდინარე მტკვრის აუზის შემგსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შემადგენილობის დადგენა და გამოცდის შედეგები:

ცხრილი №13

ბეტონის შემადგენილობა და ტესტირება

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

მდინარე ხრამის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ბენტონიტური თიხით მოდიფიცირებული ბეტონის შემადგენილობის დადგენა და გამოცდის შედეგები:

ცხრილი 14

ბეტონის შემადგენილობა და ტესტირება

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

მდინარე მტკვრის აუზის შემვსებებზე დამზადებული, ცეოლითით მოდიფიცირებული ბეტონის შემადგენილობის დადგენა და გამოცდის შედეგები:

ცხრილი №15

ბეტონის შემადგენილობა და ტესტირება

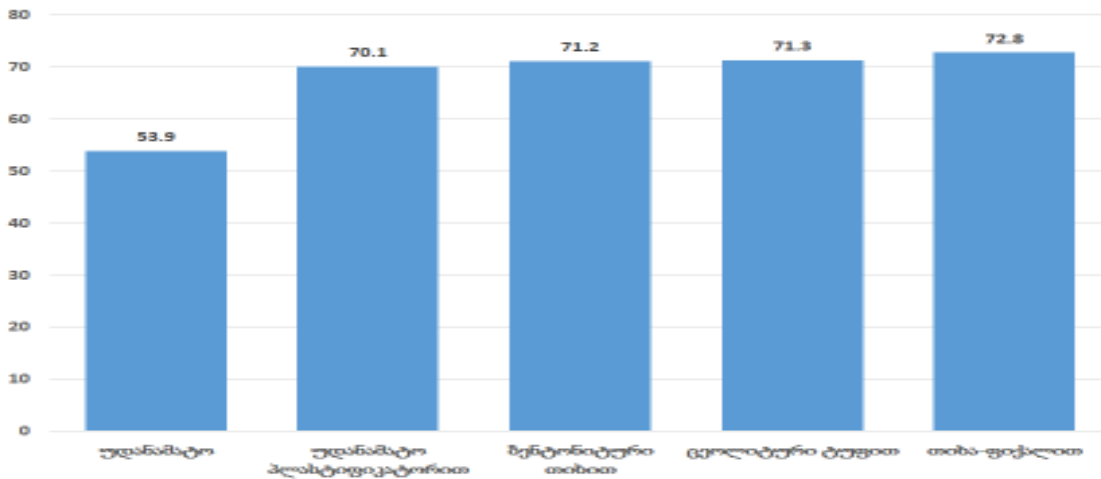
№	მიკროშემვსების სახე	ბეტონის შემადგენილობა კგ/მ ³						ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ ³		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
		ცემენტი	ქვიშა ფრაქცია 0,14-5მმ	ღორღი ფრაქცია 5-20მმ	მიკროშემვსები	პლასტიფიკატორი	წყალი	7 დღე	28 დღე	7 დღე	28 დღე
1	-	496	812	832	-	-	248	2,34	2,35	40,8	52,8
2	-	496	836	847	-	4,96	169	2,32	2,33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

სადისერტაციო ნაშრომში ასახულია აგრეთვე მიღებული მაღალი სიმტკიცის ბეტონის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევის შედეგები: ღუნვაზე კუმშვისას, წყალუქონაობაზე და ყინვამდეგობაზე. ცხრილი 16. ქვემოთ მოყვანილია აგრეთვე მდ. ხრამის შემვსებებზე დამზადებული ბეტონების კუმშვაზე გამოცდის შედეგების დიაგრამა - ნახ. 11.

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

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

მდინარე ხრამის შემდგენლებზე დამზადებული ბეტონების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები (მპა)



ნახ. 11. მდ. ხრამის შემდგენლებზე დამზადებული ბეტონების კუმშვაზე გამოცდის დიაგრამა

მეორე თავში მოცემულია მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ტექნიკურ - ეკონომიური ეფექტურობის შესაფასებლად ჩატარებულია ორი გაანგარიშება: უჭრი კოჭის მარტივი გაანგარიშება და უნივერსალური გამოთვლითი კომპლექსის „LIRA“ - ს გამოყენებით, რომელშიც რეალიზებულია სასრულ ელემენტთა მეთოდი - სამმალიანი ჩარჩოს გაანგარიშება.

უჭრი კოჭის მაქსიმალური მღუნავი მომენტისათვის ($M=16.4$ ტმ) არმირება შესრულებულია სამი ვარიანტისათვის როცა:

1. კოჭის კვეთია 40×50 (h) სმ ბეტონის კლასია B 20.
2. კოჭის კვეთია 40×50 (h) სმ ბეტონის კლასია B 60.
3. კოჭის კვეთია 30×45 (h) სმ ბეტონის კლასია B 60.

ჩარჩოს გაანგარიშებისათვის განხილულია სამი ვარიანტი:

1. კოჭის კვეთი 40×50 (h) სმ, მალი 6.0 მ, სვეტის სიმაღლე 4.0 მ. დატვირთვა $q = 6.0$ ტ/მ², ბეტონის კლასია B 20.
2. კოჭის კვეთი 40×50 (h) სმ, მალი 6.0 მ, სვეტის სიმაღლე 4.0 მ. დატვირთვა $q = 6.0$ ტ/მ², ბეტონის კლასია B 50.
3. კოჭის კვეთი 30×45 (h) სმ, მალი 6.0 მ, სვეტის სიმაღლე 4.0 მ. დატვირთვა $q = 6.0$ ტ/მ², ბეტონის კლასია B 50.

უჭრი კოჭის ტრივიალური გაანგარიშების შედეგების ანალიზის მიხედვით გაანგარიშების მეორე ვარიანტში არმირების ეკონომია შეადგენს მიახლოებით 20%-ს, ხოლო მესამე ვარიანტში კოჭის განივკვეთის შემცირების ხარჯზე ბეტონის ეკონომია შეადგენს მიახლოებით 30%-ს.

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

მესამე თავში, ჩატარებული კვლევების შედეგებზე გაკეთებულია შესაბამისი ძირითადი დასკვნები.

დასკვნები

1. გამოკვლეულია საქართველოს სხვადასხვა მდინარის აუზებში მოქმედი სამსხვრევ-სახარისხებელი საწარმოების მიერ გამოშვებული პროდუქცია (ქვიშა და ღორღი) რეგიონების მიხედვით და მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შედარებულია მოქმედ სტანდარტებთან; დადგენილია, რომ მათ შორის საუკეთესო მაჩვენებლებით (გრანულომეტრია, სისხოს მოდული, მინარეგების შემცველობა, მსხვრევადობის მაჩვენებლები და ა.შ.) ხასიათდება მდინარეების ხრამის და მტკვრის აუზის ქვიშა და ღორღი;
2. გამოკვლეულია საქართველოში (ჰაიდელბერგცემენტი) და თურქეთში (ტრაპიზონი) წარმოებული CEM I 42,5R ცემენტები და დადგენილია, რომ მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შეესაბამება ევროსტანდარტით EN 197-1-ის მოთხოვნებს;
3. გამოკვლეულია საქართველოს ბაზარზე არსებული სუპერპლასტიფიკატორები და შესწავლილია ბეტონში მათი გამოყენების ეფექტურობა.
4. თერმულად იქნა დამუშავებული (490°C) საქართველოში ფართოდ გავრცელებული წყლიანი ალუმოსილიკატების ჯგუფის მინერალების შებცველი რამდენიმე არამადნეული წიაღისეული (თიხა-ფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები) და მოხდა მათი წმინდად დაფქვა (ნარჩენი საცერზე N008 - 5%-ის ოდენობით), რითაც განხორციელდა მათი მოდიფიცირება ბეტონის ულტრადისპერსიულ დანამატად.
5. გამოკვლეული კომპონენტების საფუძველზე გაანგარიშებულია B40 კლასის ბეტონის შედგენილობები: ა) საბაზო (ყოველგვარი დანამატის გარეშე), ბ) მაკლასტიფიცირებელი დანამატის Sika Viscocrete SF-18-ის (1%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან და წ/ც-ის ფაქტორის 0,5-დან 0,34-მდე შემცირებით) გამოყენებით გ) მაკლასტიფიცირებელი დანამატის და მოდიფიცირებული მიკროშემვსების ერთობლივი გამოყენებით (Sika Viscocrete SF-18 – 1%, ხოლო თიხაფიქლები, ცეოლითები და ბენტონიტური თიხები 10%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან) მიღებულია, საბაზო ნიმუშების სიმტკიცეებთან შედარებით, ცემენტის 10% ეკონომიის პირობებში, მოდიფიცირებულ დანამატებზე დამზადებული ბეტონის სიმტკიცის 30-35%-იანი მატება;
6. განხორციელდა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონის შემავსებლების გამოყენებით, სამშენებლო ბაზარზე არსებული ცემენტებით, საქართველოს ზოგიერთი არამადნეული წიაღისეულის მოდიფიცირებით მიღებული ბეტონის წვრილდისპერსიული დანამატის გამოყენებით, საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის გაზრდისათვის საჭირო, ახალი თაობის C 50/60 – C100/115 კლასის ნაკლებად მყიფე, ნაკლებად ფორიანი, ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებად ანიზოტროპული თვისებების მქონე ბეტონების შემადგენლობების ვარიანტების შედგენა და მათი ძირითადი თვისებების კვლევა.

7. როგორც უჭრი კოჭის ტრივიალური გაანგარიშების, ასევე უნივერსალური გამოთვლითი კომპლექსის „LIRA“ - ს გამოყენებით ჩატარებული გაანგარიშების შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ ბეტონის კლასის გაზრდით კოჭის ერთიდაივე კვეთის დროს არმატურის ხარჯის შემცირება შეადგენს 11-20%-ს, ხოლო დაახლოებით ერთნაირი დამაბულ - დეფორმირებული მდგომარეობისას ბეტონის კლასის გაზრდით მიიღება ბეტონის ხარჯის 30 – 50%-მდე შემცირება.

სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ პუბლიკაციებში:

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

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

Abstract

Georgia is located in the earthquake prone, and dangerous from this point of view (seismicity 7-8-9) region. The same time the hazard to population life and health is not thus much from earthquakes itself, but due to dwelling houses and other buildings and structures, created by human. So, the earthquake engineering in Georgia actual and represents the substantial part of the country national safety. In Georgia the development of earthquake securing methods and decreasing of costs related to earthquake dangerous represents the substantial problem, whose solution has a great scientific and practical meaning. The quality of construction materials, as the mean, ensuring the structural element steadiness and seismic stability, jointly to the geologic conditions and structural solution represents the significant component for the reliability of building and structures under the seismic action. In Georgia, as in all world, the concrete up to now is the main structural material. By us the construction, mostly, is implemented using the cast-in- situ concrete method, where, mainly, concretes of the middle classes (C 16/20 - C 45/55), so called “ready mix concretes” are used. The necessity of construction of the seismically reliable and steady buildings and structures has hardened the requirements to the concrete products. At present in world exist the trend of use in construction of high strength reinforcement and high strength concrete of new generation – C 50/60 – C 100/115 classes, having high operational properties. In Georgia at present the possibility of manufacturing of new generation concretes classes of C 50/69 – C 100/115, using the local materials, unknown. For this purpose, the investigation of materials, existing in the country construction market, introduction of the modern technologies, existing in the world ant fitting it to local conditions, creation of normative documents, are necessary. In spite of achievements existing in concrete science, the practice has indicated the necessity of investigations in this direction, as far as the high strength concretes have the high fragility and sensitivity to the variable actions, on the surfaces of structures manufactured of such concrete, the cracks easily arise those increase their fragility and decrease the structure stability and durability. Generally, at present, in Georgia, as well as in many countries, the physical-mechanical properties of the high strength concretes are not enough learned, so, the characteristics of concrete, needed for earthquake -proof design are not conformably investigated and substantiated. In the present work the creation of the reference versions of mixes of dispersedly reinforced, less fragile, less porous, less trended to crack arising, less isotropic concretes of new generation, classes of C 50/69 – C 100/115, needed for increasing of structure stability in Georgia, using the aggregates of different regions of Georgia, cements existing in building market, matching the additions modifying the concrete properties and investigation of their properties is considered.