

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი გიორგაძე

მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ფიზიკურ-
მექანიკური მახასიათებლების დადგენა
რთული დაძაბული მდგომარეობის დროს

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი
2012 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამშენებლო ფაკულტეტის საინჟინრო მექანიკის დეპარტამენტზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი რევაზ ცხვედაძე

რეცენზენტები: სრული პროფესორი არჩილ ყუბანიშვილი
სრული პროფესორი არჩილ ჩიქოვანი

დაცვა შედგება 2012 წლის 24 მაისს, 14⁰⁰ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 507ა
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუს-
ბიბლიოთეკასა და სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

სრ. პროფესორი მ. კუბლაშვილი

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა განპირობებულია იმით, რომ დღევანდელ პირობებში სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდები, თანამედროვე კომპიუტერული სისტემების გამოყენებით, ძირითადად დაფუძნებულია სასრულ ელემენტთა მეთოდის გამოყენებაზე, სადაც აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იყოს ბეტონის დეფორმაციული მახასიათებლები და მათი ცვლილებები დატვირთვის მთელ პროცესში, მაგრამ არამარტო საცნობარო ლიტერატურაში, არამედ სამეცნიერო ლიტერატურაშიც არ მოიძებნება სასურველი ინფორმაცია ბეტონის სივრცული დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შემთხვევაში მისი მახასიათებლების ცვლილების შესახებ. ნაშრომში დრეკადობის თეორიის დაზუსტებული მეთოდის გამოყენებით შესწავლილია ბეტონის სივრცითი მუშაობის ანალიზი კუმშვა-გაჭიმვის შემთხვევებისათვის.

მდგრადი განვითარების მიღწევა საქართველოს სახელმწიფოს ფუნქციონირების ძირითადი მიზანია, რომლის მისაღწევად აუცილებელია ეპოქის შესაბამისი ტექნოლოგიებით ეკონომიკის განვითარება, რაც მოიცავს აგრეთვე სხვადასხვა დანიშნულების მდგრადი შენობა-ნაგებობებისა და კომუნიკაციების მშენებლობას.

საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე, სხვადასხვა რეგიონებში განხორციელების სტადიაშია ინფრასტრუქტურის განვითარებისა და რეაბილიტაციის პროექტები, კერძოდ მიმდინარეობს შენობა-ნაგებობების, საავტომობილო გზების, რკინიგზების, ხიდებისა და გვირაბების, აეროდრომების, პიდროელექტროსადგურების და მაღალი ძაბვის ელექტროენერჯის გადამცემი ხაზების, სასაწყობო მეურნეობების და სხვათა მშენებლობა.

ისევე როგორცაა მთელს მსოფლიოში, მშენებლობები საქართველოშიც ძირითადად ხორციელდება პროგრესული მონოლითური მეთოდით, რომლის ტექნოლოგია დამყარებულია მაღალი დენადობის (პლასტიფიკატორით გათხევადებული) ე.წ. „სასაქონლო ბეტონების“ (ავტობეტონშემრეგმზიდების, ბეტონტუმბოების) გამოყენებაზე. საქართველოში მშენებლობები ამჟამად ხორციელდება საშუალო კლასის, (C16/20-C45/55) ბეტონების მიხედვით, რომელთა მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე ცილინდრული ნიმუშებით არის 16-45 მპა, კუბური ნიმუშებით კი 20-55 მპა ფარგლებში. ამ მიმართულებით, ბეტონის სტრუქტურის ფორმირების პროცესების შესწავლასა და მეცნიერულ კვლევებში დიდი ღვაწლი მიუძღვით, გარკვეული წარმატებები და შედეგები აქვთ მიღებული ქართველ მეცნიერებს: ზ.წილოსანს, ა.ყუბანეიშვილს, ვ.ბალავაძეს, მ.ლორთქიფანიძეს, ა.ანადირაძეს, შ.ბურჭულაძეს, ლ.ბოლქვაძეს, ა.ჩიქოვანს, ა.საკანდელიძეს, ა.საყვარელიძეს, ს.ფანცხავას, რ.სხვიტარიძეს და სხვებს.

ისევე როგორც მთელს მსოფლიოში, საქართველოსაც აუცილებლად დასჭირდება სიმტკიცის კლასის მიხედვით C-45/55 მაღალი სიმტკიცის ბეტონები.

სეისმომდევობა განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოსთვის, რადგან იგი მდებარეობს სეისმურად აქტიურ ზონაში. მდგრადობისადმი მოთხოვნის ზრდასთან და სამშენებლო ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად იცვლება მოთხოვნები თვით ძირითადი საშენი მასალის ბეტონისადმი.

დისერტაციის მიზანი მდგომარეობს ექსპერიმენტალური გზით ბეტონის ნიმუშის სივრცითი (სამღერძა) კუმშვის შემთხვევაში სიმტკიცის მახასიათებლების დადგენა მუდმივი და ცვლადი დატვირთვების შემთხვევებისათვის. ამ შემთხვევისათვის განხილულია შემდეგი საკითხები:

1. მაღალხარისხიანი ბეტონების დამუშავება გარანტირებული მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებებით.
2. ახალი სახის წვრილმარცვლოვანი მრავალკომპონენტიანი ბეტონის დამუშავება ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებების ფართო დიაპაზონით მაქსიმალურად გაჯერებული ტექნოგენური ნარჩენებით.
3. ბეტონის მნიშვნელოვანი მაჩვენებლების: ხანგამძლეობის, ბეტონის გამყარების კინეტიკა ნაწარმში და სხვა თვისებების პროგნოზირების მეთოდის შემუშავება.
4. ძირითადი ნორმატიული დოკუმენტის დამუშავება და გადახედვა, მათი ჰარმონიზაცია საერთაშორისო სტანდარტებთან.

მეცნიერული სიახლე: ნაშრომის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ ბეტონის კომპლექსური ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგად „ოქროს კვეთის“ პროპორციის გამოყენებით შედგენილია ნარევი 1 და ნარევი 2, რომლებიც კარგად ასახავენ ბეტონის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას და გამოირჩევიან სიმტკიცის მდგრადი მახასიათებლებით.

დღესდღეობით საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე გამოკვეთილია:

ა) ლოკალური პრობლემები:

- საქართველოს მომეტებული სეისმური რისკების პირობებში მშენებლობები მიმდინარეობს საშუალო, კლასის მიხედვით (C16/20-C45/50) ანიზოტროპული თვისებების ბეტონებით და არ გამოიყენება კლასის მიხედვით C50/60-C100/115 ახალი თაობის ბეტონები;
- ნაკლებად ცნობილია ახალი თაობის მაღალი კლასისა და მარკიანობის ბეტონების მისაღებად გამოსაყენებელი ტექნიკურ-ნორმატიული დოკუმენტები.

ბ) გლობალური პრობლემები ქართველი სპეციალისტებისათვის:

- ბეტონის მექანიკური სიმტკიცის ანიზოტროპიულობა;
- ბეტონის სიმყიფე;
- ბეტონის ზედაპირული ბზარების წარმოქმნა;
- ბეტონის ფორიანობა;

საქართველოში ნაგებობათა მდგრადობის (ხანგამძლეობა, სეისმომდეგობა) გაზრდისათვის, საჭიროა ახალი თაობის, სიმტკიცის კლასის მიხედვით C50/60-C100/115 მოდიფიცირებული (დისპერსიულად არმირებული, ნაკლებფორიანი, ნაკლებბზარიანი, ნაკლებმეიფე) სტრუქტურისა და ნაკლებადანიზოტროპული (დუნვა-გაჭიმვაზე მომეტებული სიმტკიცის) თვისებების ბეტონების ტექნოლოგიების შექმნა და მათი გამოყენებით მშენებლობების განხორციელება.

მიღებული შედეგების საიმედოობა დაფუძნებულია მაღალი მგრძობიარობის ექსპერიმენტული დანადგარების გამოყენებაზე. გასაზომი ხელსაწყოების სიზუსტეზე და ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებაზე, რომელიც მოიცავს მათემატიკური სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებას.

მიღებული შედეგების პრაქტიკული გამოყენება შესაძლებელია რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშებისას, რომლებიც შეიძლება წარმოადგენდნენ მაღალი რისკის შენობების ელემენტებს, ისეთი როგორიცაა:

- ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში – კაშხლები, არხები, სხვადასხვა მიწისქვეშა ნაგებობები;
- საცხოვრებელი და საოფისე მშენებლობები;
- თხელკედლიან კონსტრუქციებში;
- საზღვაო და სამდინარო პორტების საფარებში და სხვა საზღვაო ნაგებობებში;
- აეროდრომებისა და საავტომობილო გზების საფარებში.
- ხიმინჯებში და შახტების მშენებლობაში;
- სხვადასხვა ცეცხლგამძლე კონსტრუქციებში, მათ შორის რაკეტების გასაშვებ მოედნების მოწყობისას;
- ხიდების, გვირაბების მშენებლობაში და სხვა.

ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები. ნაშრომის როგორც ცალკეული, ისე ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე; სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 21 სამეცნიერო შრომა, გამოქვეყნებულია საზღვარგარეთ ჩატარებულ 9 საერთაშორისო კონფერენციის შრომათა კრებულებსა და მოხსენებულია 3 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე (ქვარნა, ბულგარეთი; ქისპარტა, თურქეთი; ქოპრიდი, მაკედონიის რესპუბლიკა).

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა: დისერტაცია შედგება შესავლის, ძირითადი ნაწილის, დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 120 გვერდისაგან და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა შეიცავს 91-დასახელებას.

ნაშრომის შინაარსი

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

ნაშრომის პირველ ნაწილში, ლიტერატურის მიმოხილვაში გაანალიზებულია თანამედროვე წარმოდგენები ბეტონის გამოყენების შესახებ.

XX საუკუნის ბოლო პერიოდის მიღწევებმა მთლიანად შეცვალა ჩვენი წარმოდგენა ბეტონებზე, რომელიც იყო და რჩება მეტად საჭირო მასალად მშენებლობაში. ბეტონის წარმოების ახალი ტექნოლოგიები ემყარება ისეთი პირობების შესწავლას, რომელიც მიმდინარეობს მიკრონაწილაკების დონეზე, ყურადღება ექცევა ქიმიური პროცესების მიმდინარეობის სისწრაფეს და ხარისხს გამყარებად ბეტონში, რისთვისაც გამოიყენება ახალი თაობის კომპლექსური მოდიფიცირებული დანამატები და ბეტონის შემადგენლობის შერჩევისა და ოპტიმიზაციის უახლოესი მეთოდები, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონები, რომლის წარმოების უახლოესი ტექნოლოგიები აქტიურად ინერგება მშენებლობაში და ბიზნესში.

ასეთი ბეტონი ჩვეულებრივი ცემენტის ქვის ბეტონისაგან გამოირჩევა მთელი რიგი თვისებებით. კერძოდ:

- ახალი თაობის ბეტონი ხასიათდება ძალიან მაღალი სიმტკიცითა და წყალშეუღწევადობით, რის გამოც იგი შეიძლება გამოყენებული იქნას სხვადასხვა კლიმატურ სარტყელებში და ძალიან მძიმე ექსპლუატაციის პირობებში.
- იგი ერთნაირად ინარჩუნებს მაღალ სიმტკიცეს, როგორც ცხელ ქვეყნებში ექსპლუატაციის დროს, ასევე არის ძლიერ ყინვამედეგი.
- ასეთი ბეტონი იძლევა საშუალებას მისი დეფორმირების რეგულირების, რაც საშუალებას იძლევა აშენებული იქნეს მრავალნაირი ფორმის ნაგებობები.

ახალი თაობის ბეტონი ითვლება უნივერსალურ სამშენებლო მასალად, რადგან ის შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა საექსპლუატაციო პირობებში. მაგალითად, როგორც სანაპირო-გამაგრებით ნაგებობებში, ისე ატომური ელექტროსადგურების სარკოფაგებში.

ზოგადად, რომ ვთქვათ მსოფლიოში ბეტონის წარმოება მუდმივად ვითარდება და სრულყოფილი ხდება. ამიტომ ახალი თაობის ბეტონმა ხვალ შეიძლება დაკარგოს თავისი აქტუალობა, მაგრამ ამ ეტაპზე ის ფართოდ გამოიყენება მრეწველობისა და მშენებლობის ყველა დარგში და ითვლება თანამედროვე უნივერსალურ და საიმედო სამშენებლო მასალად. ხოლო იმაზე, თუ რა მასალა იქნება გამოყენებული მრეწველობაში, მთავარ როლს თამაშობს ტრადიცია და ტექნოლოგიის განვითარების დონე ქვეყანაში. მაგ. აშშ-ში, სადაც მაღლივი მშენებლობის ფართო სპექტრია

წარმოდგენილი, ცნობილ მოვლენამდე უპირატესობა ენიჭებოდა ფოლადის მზიდ კონსტრუქციებს, ხოლო სამხრეთ აღმოსავლეთსა და ახლო აღმოსავლეთის ქვეყნებში, როგორც წესი, იყენებენ რკინაბეტონს. ცხადია, თითოეულს გააჩნია თავისი უპირატესობები და ნაკლოვანებები. მაგრამ მაღლივი მშენებლობის უსაფრთხოების მოთხოვნების გამკაცრება მდგრადობისადმი და ტექნოლოგიური კატასტროფებისადმი აიძულებს დამპროექტებლებს და მშენებლებს გამოიყენონ კონსტრუქციულ სამშენებლო მასალებად რკინაბეტონი. მაღალი სიმტკიცის ბეტონის გამოყენება განსაკუთრებით მაღლივ მშენებლობაში განაპირობებდა მისი მდგრადობას ქარის დატვირთვებისადმი, საიმედო სტაბილური თვისებებით და ცვეხლმდეგობით ლითონის კონსტრუქციებთან შედარებით.

ამიტომ კვლევის ერთ-ერთი მიმართულება, ეს არის შემუშავებული იქნას მაღალი ხარისხის ბეტონი ცემენტის ნაკლები შემცველობით. რაც ძალიან პრობლემური საკითხია, რადგან უმჯობესდება ბეტონის დეფორმაციული თვისებები და ამასთან რაც უფრო ნაკლები იქნება ცემენტის ქვის შემცველობა, მასალა იქნება უფრო მედევი, რადგან აგრესიული გარემოს მიმართ ბეტონის შემადგენლობაში მყოფი კომპონენტებიდან ყველაზე უფრო მგრძობიარეა ცემენტის ქვა.

ყოველივე ამ პრობლემების გადაჭრა ამჟამად მიმდინარეობს ბეტონებში ახალი ტიპის სუპერპლასტიფიკატორების, მაღალდისპერსიული შემავსებლების და კომპლექსური მოდიფიკატორების გამოყენებით, მინერალური და ორგანული ზედაპირული აქტიური დანამატებით.

უკანასკნელ პერიოდში კაჟმიწა მტვრის გვერდით ფართოდ იყენებენ ნაცარს, წიდას, დღეისათვის ბეტონის ნარევის შემუშავებული შემადგენლობა იძლევა საშუალებას შემცირდეს ∇/∇ ფარდობა 0.3-0.25-მდე და მიღებული იქნას ბეტონები 140 მპა სიმტკიცის კუმშვაზე.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონების გამოყენებაში მიღებულმა გამოცდილებამ საშუალება მისცა ევროკავშირის ქვეყნებს შეექმნათ ნორმატიული ბაზა: მაღალი სიმტკიცის (130 მპა-მდე) ბეტონების წარმოება და გამოყენება (ევროპული სტანდარტი EN206).

ტექნოლოგია: ჩვეულებრივად ნორმალური ბეტონი განიხილება როგორც სამი კომპონენტისაგან შემდგარი სამშენებლო მასალა. ეს არის უმთავრესი შემკვრელი მასალა ცემენტი, შემვსებები და წყალი.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონი კი შედგება ხუთი კომპონენტისაგან - სადაც წინა სამ კომპონენტს ემატება: შემვსებები: 1. მიკროკაჟმიწა მტვერი, ნაცარი, მეტალურგიული წიდა და მეტაკაოლინი, 2. პლასტიფიკატორები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ∇/∇ -ის (∇ ყვალ/ცემენტის ფარდობის) შემცირების შემთხვევაშიც შეინარჩუნონ ბეტონის ნარევის საჭირო ძვრადობა.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მიღებაზე გავლენას ახდენენ შემდეგი ფაქტორები: ძირითადი მასალების ხარისხი და რაოდენობა - ცემენტები, შემვსებები, გამაჯვრებლები და წყალი; - ნარევის მომზადების მეთოდი; გარემო და ბეტონის გამყარების პირობები, სუბიექტური ფაქტორები (გამოცდილება, ადამიანების ინტუიცია).

ცემენტი: მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მისაღებად შეიძლება გამოყენებული იქნას, როგორც პორტლანდცემენტები, ისე წიდაპორტლანდცემენტები ან პუცოლანური ცემენტები. ცემენტის ასორტიმენტი ევროსტანდარტი EN-197-1-ის მიხედვით რუსულ სტანდარტთან ГОСТ-10178-თან შედარებით გაფართოებულია მინერალური დანამატების რაოდენობრივი შემცველობით, მათი სახეებით და ცემენტის ტიპებით. არსებითი ყურადღება ექცევა მრავალკომპონენტური ცემენტის წარმოებას და შექმნას, მათში მინერალური დანამატების შემცველობას, წარმოების ნარჩენების უტილიზაციას. ეს მიმართულებები ასახულია ევროპულ სტანდარტში EN 197-1, რომელზეც 2010-წლიდან გადასულია საქართველოში ცემენტის წარმოება (ჰაიდელბერგცემენტის მიერ). ამ სტანდარტით გათვალისწინებულია 5 ტიპის 27 სახის ცემენტის წარმოება.

იმისათვის, რომ შევამციროთ სითბოგამოყოფა გამყარებისას და მასთან დაკავშირებული ჯდენა, ბზარების წარმოქმნა ცხელი ამინდის პირობებში, იყენებენ პორტლანდ - და წიდაპორტლანდ ცემენტებს. სპეციალური ნაგებობებისთვის, მაგალითად როგორცაა პიდროელექტროსადგურები და აგრესიულ გარემოში მყოფი კონსტრუქციები განკუთვნილია სულფატომედეგი თვისებების მქონე ცემენტები. ასევე კარგ შედეგს იძლევა ცემენტის ნაწილის შეცვლა დაფქვილი წილით ან ნაცრის გამოყენებით, მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მისაღებად ცემენტის ხარჯი შეადგენს 380-450 კგ/მ³-ზე.

შემვსებები: ბეტონის სიმტკიცის ზრდასთან ერთად მზარდი მნიშვნელობა ენიჭება შემვსებების ინერტული მასალების მექანიკურ თვისებებს. მხედველობაშია მისაღები გამოყენებული მასალების ფორმა და მარცვლების ზომა. ასევე ქიმიური ურთიერთქმედება შემვსებებისა და ცემენტის მატრიცას შორის. თუ ნორმალური ბეტონის შემთხვევაში შემვსები თამაშობს ინერტული მასალის როლს, მაღალი სიმტკიცის ბეტონში შემვსების ხარისხსა და თვისებას თავიანთი წვლილი შეაქვთ ბეტონის სიმტკიცის ზრდაში.

გასული საუკუნე ხასიათდებოდა ცემენტური ბეტონის გამოყენების მზარდი მოთხოვნილებით, რომელიც წარმოადგენს პრაქტიკულად უნივერსალურ სამშენებლო მასალას, განსხვავებული ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლებით, რომლის მნიშვნელობა წლიდან წლამდე იზრდებოდა და იზრდება. მაგალითად, მძიმე ბეტონის სიმტკიცის ზრდის დინამიკა მკა-ებში ასეთია: 1913 წ. - 30; 1940 წ. - 40-მდე, 1960 წ. 50-60-მდე; 2000 წელს 100-მდე გაიზარდა სიმტკიცის მაჩვენებელი.

დღეისათვის ტექნიკურად განვითარებულ ქვეყნებში (ამერიკაში, ევროპის ქვეყნებში, იაპონიაში და აგრეთვე რუსეთში) ბეტონის შემადგენლობა და დამუშავების

ტექნოლოგია ისეთია, რომ ბეტონის სიმტკიცე 100 მპა-ზე მეტია. ასეთი ბეტონები გამოიყენება უნიკალური, განსაკუთრებული მნიშვნელობის შენობებისა და ნაგებობების ასაშენებლად, როგორცაა ცათამბჯენები, დიდმალიანი ხიდები და ა.შ. თუ გასული საუკუნის დასაწყისში ძირითადი კლასიკური მიმე ბეტონი და უმნიშვნელო რაოდენობით ბუნებრივ მსუბუქ შემესებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონი იყო, დღეს მშენებლობაში გამოიყენება სხვადასხვა სახის და ფუნქციონალური დანიშნულების ბეტონები: მსუბუქი, უჯრედოვანი, ყინვამედეგი, ცეცხლმედეგი და სხვა.

მეცნიერებაში და ტექნიკაში ზოგადტექნიკურმა პროგრესმა ცემენტისა და ბეტონის წარმოების საქმეში ბევრი ახალი აღმოჩენა დანერგა, რამაც ბეტონის წარმოება განვითარების ახალ საფეხურზე აიყვანა და შესაძლებელი გახდა ისეთი ბეტონის მიღება რომლის მაქსიმალური სიმტკიცე ცემენტის სიმტკიცეს აღემატება. კერძოდ სუპერპლასტიფიკატორების და კომპლექსური მოდიფიკატორების შექმნამ და გამოყენებამ ცემენტის აქტივობის ზრდასთან ერთად ბეტონის საშუალო და მაქსიმალური სიმტკიცე გაზარდა.

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

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

გასულ საუკუნეში ბეტონის წარმოებაში უდიდეს მიღწევად ითვლება ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებების და კომპლექსური მოდიფიკატორების გამოყენება.

ბოლო წლებში აღინიშნება განსაკუთრებული ინტერესი ბეტონის მოდიფიკატორად სხვადასხვა ნარჩენების და თანამდევი სამრეწველო პროდუქტების: მინერალური სასუქების, ნავთობგადამუშავებული-, მეტალურგიული- და მრავალი სხვა ნარჩენების გამოყენებისა.

უახლოეს პერსპექტივად უნდა იქცეს მაღალეფექტური რეგულატორების შექმნა, რომლებიც ბეტონის შეკვრას და გამყარებას შეუწყობს ხელს. დღეისათვის გამოყენებული ქლორიდის საფუძველზე დამზადებული გამყარების დამანქარებლებს აქვთ რიგი შეზღუდვები, რომლებიც დაკავშირებულია ბეტონის დამცავი თვისებების შემცირებასთან, არმატურასთან მიმართებით.

ერთერთი ძირითადი მიზეზი მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მიღების უარყოფითი შედეგის შეიძლება გახდეს ცემენტის დიდი შეკლება, ვინაიდან მაღალი სიმტკიცის ბეტონი გამოირჩევა ცემენტის მაღალი კონცენტრაციით ბეტონის შემადგენლობებში და ამ უკანასკნელის შეკლების დროს შესაძლებელია ბეტონის შეკლების

დეფორმაციულობის განვითარება, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს ბზარების წარმოქმნა და, როგორც შედეგი, კვეთის სიხისტის შემცირება.

ამიტომ სუპერპლასტიფიკატორების შერჩევას მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მისაღებად უნდა მიექცეს განსაკუთრებით დიდი ყურადღება.

ნანოტექნოლოგიები: ბეტონის წარმოების ტექნიკა და ტექნოლოგია განუწყვეტლივ ვითარდება. განსაკუთრებული ყურადღება დღეს-დღეობით ექცევა ნანოტექნოლოგიებს.

ნანოტექნოლოგიები გულისხმობს კვლევებს ისეთი ნაწილაკების და სისტემების მონაწილეობით, რომელთა ზომები $1\text{--}100$ ნმ. ე.ი. ხდება მიკროსამყაროდან ნანოსამყაროში გადასვლა.

დღეს ბევრ ქვეყანაში ტარდება თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ნანოსტრუქტურული, მოდიფიცირებული მასალების მიღების ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავების და მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიმართულებით. მაგალითად ბეტონის ნარევი ფულეროიდული ნაწილაკებით გამდიდრებული მაპლასტიფიცირებული დანამატის შეყვანა მკვეთრად აუმჯობესებს ბეტონის ნარევის რეოლოგიურ მახასიათებლებს და შესაბამისად ამცირებს ბეტონის სამუშაოების შრომით დანახარჯებს. უმჯობესდება ნარევის ხანგამძლეობა, სიმტკიცე, წყალმედეგობა და სხვა მახასიათებლები.

მაღალი სიმტკიცის ბეტონების გამოყენებით მრავალი მნიშვნელოვანი პროექტია განხორციელებული. ერთ-ერთი ყველაზე დიდი და გრანდიოზული ნაგებობა მდებარეობს მაღაიზის დედაქალაქ კუალა ლუმპურში, რომელიც „პეტრონასის ტყუპების“ სახელითაა ცნობილი (სურ. 1), იგი აშენდა 1998 წელს და მისი სიმაღლეა 452მ.



სურ. 1. „პეტრონასის ტყუპები“, კუალა ლუმპური, მაღაიზია

მაღალი სიმტკიცის ბეტონით მეტად საინტერესო პროექტი განხორციელეს გერმანიაში 2004 წელს, კარლსრუეს უნივერსიტეტის მეცნიერებმა და სტუდენტებმა

ცნობილ საავტომობილო გიგანტ BMW-სთან ერთად, როდესაც 120 მპა სიმტკიცის ბეტონის გამოყენებით შექმნეს ბეტონის ავტომობილის მოდელი BMW Z4 (სურ. 2).



The concrete car inspired by BMW Z4 sports car

სურ. 2. BMW-ს ბეტონის ავტომობილი

მშენებლობაში სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება ახალი სახის კომპოზიციური მასალები, რომლის ერთ-ერთი სახეა ფიბრობეტონი.

ფიბრობეტონები: ფიბრობეტონები მიიღება ტრადიციული ბეტონის ან წვრილმარცვლოვანი ბეტონის არმირებით სხვადასხვა სახის ბოჭკოებით. ბოჭკოები შესაძლებელია იყოს სხვადასხვა სახის მასალისაგან დამზადებული:

- 1) მინერალური – ტუტემდეგი პინისაგან (ტუტემდეგი მინაბოჭკო, ბაზალტის ბოჭკო, კვარცის ბოჭკო და ა.შ.);
- 2) სინთეზური (პოლიპროპილენი, კაპრონი და ა.შ.);
- 3) ლითონის (ჩვეულებრივი, უჟანგაო ან სხვა სახის ფოლადისაგან).

ცნობილია, რომ ბოჭკოების გამოყენებით (პრაქტიკაში უმეტესწილად ფოლადის და ბაზალტის ბოჭკოები) უმჯობესდება ბეტონის თითქმის ყველა ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებელი და პარამეტრები: გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ფოლადფიბრობეტონის სიმტკიცე (ბოჭკოებით მოცულობით არმირების მიღებულ ზღვრებში) ჩვეულებრივ ბეტონთან შედარებით შეიძლება გაიზარდოს:

- სიმტკიცე კუმშვაზე – 20-50%.
- სიმტკიცე გაჭიმვაზე – 2-5-ჯერ;
- სიმტკიცე გრესაზე – 3-5-ჯერ;
- სიმტკიცე ღუნვაზე – 2-4-ჯერ;
- დარტყმითი სიბლანტე იზრდება 20-30-ჯერ.
- სეისმური დატვირთვების მიმართ სიხისტე იზრდება 4-6-ჯერ.
- მასალის წინაღობა ბზარწარმოქმნისადმი იზრდება 2-5-ჯერ;
- ცეცხლგამძლეობა იზრდება - 25-30-ჯერ.
- წინაღობა ცვეთისადმი იზრდება – 2-3-ჯერ;
- ყინვამდეგობა მატულობს – 2-4-ჯერ.



სურ. 3. ლითონის ფიბრა

ბევრად იზრდება სიმტკიცე დინამიური დატვირთვების დროს, მატულობს მისი ხანმედეგობა, სიმტკიცე სამღერძა კუმშვისას და გაჭიმვისას.



სურ. 4. ლითონის ფიბრა ბეტონში

ბაზალტის ბოჭკოს გამოყენება ბეტონში დანამატის სახით ამცირებს ბეტონის და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ბზარების წარმოქმნას, ზრდის მის სიმტკიცეს როგორც კუმშვაზე ასევე გაჭიმვაზე, რაც ძალიან დიდ მნიშვნელობას იძენს სეისმომედეგ მშენებლობაში.



სურ. 5. ბაზალტის ფიბრა (ბოჭკო)

ბაზალტის ფიბრის (ბოჭკოს) გამოყენებით მიღებული ბეტონის ძირითადი მახასიათებლებია:

საექსპლუატაციო ტემპერატურა - $-260^{\circ}C$ — $+700^{\circ}C$

სიმტკიცის გაზრდა კუმშვაზე - 15-20%

სიმტკიცის გაზრდა გაჭიმვაზე - 3-7-ჯერ

ყინვამდევობის ზრდა - 1,6-2-ჯერ

დინამიურ ზემოქმედებებზე ბზარწარმოუქმნელობის ზრდა.

დოზირება მსუბუქ ბეტონებში 0,5 - 1კგ /მ³

დოზირება მძიმე ბეტონებში 0,5 - 50 კგ / მ³

გამოკვლევების ანალიზი გვჩვენებს, რომ მაარმირებელი ბოჭკოები საშუალებას იძლევა გავაუმჯობესოთ პრაქტიკულად ყველა ძირითადი ფიზიკო-მექანიკური პარამეტრი ბეტონებში. ყველაფერი ეს საშუალებას მოგვცემს ბევრად გავზარდოთ ფიბრობეტონების გამოყენების ეფექტურობა მთელ რიგ კონსტრუქციებში, გავხადოთ ისინი უფრო მსუბუქი და ხანგამძლე.

ფიბრობეტონების გამოყენების ეფექტურობა განპირობებულია მასალის მაღალი ფიზიკო-მექანიკური თვისებებით. მისი გამოყენება ეკონომიურად მომგებიანია. ეკონომიურობის მიღწევა ხდება ელემენტების კვეთის შემცირებით, კონსტრუქციების ხანმდევობის გაზრდით, სამონტაჟო და სატრანსპორტო დანახარჯების შემცირებით და სხვადასხვა სახის სარემონტო სამუშაოებზე ფინანსირების შემცირებით.

ბეტონის ტექნოლოგიაში დიდი ადგილი უკავია ისეთი დანამატების გამოყენებას, რომლებიც მოქმედებენ ჰიდროფობიზაციის სახით, ზრდიან ბეტონში წყალშეუღწევადობას, ასეთი დანამატებია: პენეტრონი; კალმატრონი; ლინაბონდი და ა.შ.

ცემენტის ფუძეზე დამზადებული ახალი სახის კომპოზიტების, ახალი სახის ბეტონებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე გამორჩეულია **თვითშემჭიდროებადი ბეტონი**.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონი წარმოადგენს სამშენებლო მასალას რომელსაც შეუძლია შემჭიდროვდეს (გამკვირვდეს) საკუთარი მასის ზემოქმედებით.

ეს ბეტონი შემუშავებული იქნა იაპონიაში XX-საუკუნის 80-იანი წლების ბოლოს, ითვლება ბოლო ათწლეულის დიდ აღმოჩენად სამშენებლო სფეროში და ამჟამად აქტიურად ინერგება თითქმის მთელ მსოფლიოში.

1986 წელს იაპონელი პროფესორი ჰაჯიმე ოკამურა (კოჩის უნივერსიტეტი) მაღალი სიმტკიცის ბეტონების დამუშავებით მიღებული გამოცდილებით, გამოვიდა ინიციატივით მიღებულ ახალ მასალას დარქმეოდა „**თვითშემჭიდროებადი ბეტონი**“. **Самоуплотняющийся бетон (СУБ) — Self-Compacting Concrete (SCC)**.

1989 წელს ოკამურამ თავის კოლეგებთან ერთად ჩაატარა ღია საჩვენებელი ექსპერიმენტი, 100 მეცნიერის მონაწილეობით და აჩვენა თვითშემჭიდროებადი ბეტონის მიღების ტექნოლოგია. ამ ექსპერიმენტის შემდეგ მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნის ლაბორატორიამ და კომპანიამ დაიწყო ამ ბეტონის შემუშავება, წარმოება და დანერგვა.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია ხშირ-დაარმირებული და რთული ფორმის კონსტრუქციებში. ამ სახის ბეტონის გამოყენებით შესაძლებელი ხდება ბეტონის ნარევის ჩასხმა ძნელად მისადგომ ადგილებში, მისი ზედაპირი გამოდის მაღალი ხარისხის, იატაკის მონოლითური საფარი შეიძლება შესრულდეს ნაკერების გარეშე.

საქართველოში ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე, წარმოების ნარჩენების უტილიზაციით და თანამედროვე დანამატების ბაზაზე შესაძლებელია მივიღოთ მაღალი სიმტკიცის თვითშემჭიდროებადი ბეტონი. მის დასამზადებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს „ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯიას“ ქკასპის და ქრუსთავის წარმოების პორტლანდცემენტები; მდ. ხრამის აუზის და იმირის ინერტული მასალები, კვარცის ქვიშა, ქ.ზესტაფონის ფეროშემნადნობი ქარხნის ღუმელებში გამოყენებული ქვანახშირის ნაცარი, ამავე ქარხნის საკვამლე მიწების ფილტრებში დაგროვილი მტკვერი - სილიკომანგანუმი, ტყიბულის ქვანახშირის ნაცარი, უცხოური წარმოების მიკროსილიკა, თანამედროვე კარბოქსილატური ქიმიური დანამატები, სიბლანტის მოდიფიკატორები და ა.შ.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გამოყენების პერსპექტივები საქართველოში ძალიან დიდია, მისი გამოყენებით ახალ პროექტებში მიღწეული იქნება დროის და შრომის დანახარჯების შემცირება, ბეტონის კონსტრუქციების ხარისხის, სიმტკიცის და ხანმედეგობის გაზრდა.

ნაშრომის მეორე ნაწილში შედეგები და მათი განსჯა გაანალიზებულია ბეტონის შემადგენელი მასალების შერჩევის საკითხი და მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მიღება.

ბეტონის შემადგენლობის გათვლა მდგომარეობს ბეტონის შემადგენელი მასალების (ცემენტი, წყალი, ღორღი, ქვიშა) რაციონალური შემადგენლობის დადგენაში, რომელმაც უნდა განსაზღვროს მიღებული ბეტონის ნარევის ძვრადობა და სიხისტე. ასევე მოთხოვნილი ბეტონის სიმტკიცის მიღება მოცემულ დროში, ცემენტის მინიმალური დანახარჯებით.

ბეტონის შემადგენლობას მოცემული მახასიათებლების მიხედვით (რომელიც გამომდინარეობს მისი საექსპლუატაციო პირობებით) განსაზღვრავენ შემდეგი სქემით:

1. ბეტონის პარამეტრების შერჩევა (მისაღები ბეტონის მარკა, ცემენტის სახეობა და მარკა, შემესებების მახასიათებლები);
2. შერჩეული მახასიათებლების დადგენა;
3. 1 მ³ ბეტონისათვის საჭირო მასალების გაანგარიშება;
4. საცდელი ლაბორატორიული შემადგენლობის დამზადება მასში შემდგომი ცვლილებების შეტანის მიზნით; (საჭიროებისამებრ);
5. ბეტონის შემადგენლობის დაზუსტების შემდეგ 1მ³ ბეტონის დამზადებისათვის საჭირო მასალების ხარჯის დაზუსტება;
6. საკონტროლო ნიმუშების დაყალიბება და გამოცდა.

მსხვილი ქვის შერჩევისას გათვალისწინებული უნდა იყოს ის ფაქტი, რომ ბუნებრივი ქვისაგან დამზადებული ღორღის მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე 300 მარკაზე დაბალი ბეტონის დამზადებისას უნდა აღემატებოდეს ბეტონის მარკას (კლასს) 1.5-ჯერ, ხოლო 300 მარკის ზევით ბეტონის მისაღებად უნდა იყოს ბეტონის მარკაზე (კლასზე) 2-ჯერ მეტი.

ბეტონის შემადგენლობის გაანგარიშებისას, ჩატარებული იქნა გამოსაყენებელი მასალების ანალიზი და დადგენილი იქნა მათი შემდეგი მახასიათებლები:

ცემენტად გამოყენებული იქნა შპს „ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯიას“ მიერ რუსთავის ცემენტის ქარხანაში წარმოებული CEM I 42.5 R (M500) ტიპის ცემენტი.

ცემენტის ფიზიკო-მექანიკური და ქიმიური ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

რუსთავის ცემენტის ქარხნის CEM I 42.5 R (M500) ცემენტის ტესტირების შედეგები

N	ნიმუში	დაუქვის სიწმინდე 008%	ხვედრითი ზედაპირი	ნორმ ცომის სისქე %	შეკვრის დრო წთ/დასაწვ/დასასრ	სიმტკიცე 2 დღეზე, მპა	სიმტკიცე 7 დღეზე, მპა	სიმტკიცე 28 დღეზე, მპა	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI	
1	CEM I 42.5R	7.8	3414	24.5	100	160	22.65	39.46	51.00	20.90	5.31	3.56	64.34	1.19	0.35	0.5	3.0	1.18

შემვსებლად გამოყენებული იყო მარნეულის რაიონის ბაზალტის ღორღი და ქვიშა. მათი გამოკვლევის შედეგები, საცრითი ანალიზი და გრანულომეტრიული შემადგენლობა მოცემულია ცხრილებში 2. და 3.

ცხრილი 2

ბაზალტის ქვიშის გამოკვლევის შედეგები

ნარჩენების სახე %	საცრის ნახვრეტების ზომა, მმ					>0.14	ს მ	მოცულობითი მასა ტ/მ ³
	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14			
კერძო	50	12.5	18.5	12.0	2.0	2.0	3.84	1.54
სრული	50	62.5	81.0	93.0	98.0	100		

ცხრილი 3

ბაზალტის ღორღის გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრა

ნარჩენების სახე %	საცრის ნახვრეტების ზომა, მმ				მოცულობითი მასა ტ/მ ³
	20	10	5	<5	
კერძო	1.1	46.6	35.1	17.2	1.34
სრული	1.1	47.7	82.8	100	

ჩვენ მიერ გამოყენებული იყო ბეტონის ნარევი შვეიცარიული ფირმა Sika-ს მიერ წარმოებული ქიმიური დანამატი - სუპერპლასტიფიკატორი „ვისკოკრეტი SF-18“.

1 მ³ ბეტონის მისაღები ნარევის ანგარიში:

1. პირველ რიგში განსაზღვრული იქნა წყალ-ცემენტის ფარდობა, რომელიც იძლევა საშუალებას მიღებული იქნას განსაზღვრული სიმტკიცის ბეტონი განსაზღვრული აქტივობის ცემენტის გამოყენებით. წყალ/ცემენტის ფარდობის გაანგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$\begin{aligned} \mathbb{V}/\mathbb{C} &= \frac{AR_G}{R_b + 0.5AR_G} \\ \mathbb{V}/\mathbb{C} &= \frac{AR_G}{R_b - 0.5AR_G} \end{aligned} \quad (1)$$

სადაც R_b - ბეტონის კუბური სიმტკიცე კუმშვაზე; R_G - ცემენტის აქტიურობა (კგ/სმ²); A - ემპირიული კოეფიციენტი.

2. განსაზღვრავენ წყლის საორიენტაციო რაოდენობას;
3. ცემენტის ხარჯს განსაზღვრავენ ცნობილი ფორმულით:

$$\mathbb{C} = \frac{\mathbb{V}}{\mathbb{C}/\mathbb{V}} \quad (2)$$

სადაც, \mathbb{C} - ცემენტი, \mathbb{V} - წყალი, \mathbb{C}/\mathbb{V} - ცემენტის და წყლის ფარდობაა.

4. მსხვილი შემესების ხარჯი განსაზღვრული იქნა ღორღისათვის

$$\varrho = \frac{1000}{\frac{1000}{P_\varrho} + \alpha \frac{1000}{P_\varrho} V_{\text{სივ}}} \quad (3)$$

სადაც, P_ϱ - ღორღის ხვედრითი წონა; $V_{\text{სივ}}$ - სივარდილის კოეფიციენტი.

5. ქვიშის ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:

$$\varrho = \left[1000 - \left(\frac{\nu}{\rho_G} + \frac{\mu}{\rho_\varrho} + \varrho \right) \right] \rho_\varrho \quad (4)$$

სადაც ρ_G , ρ_ϱ , ρ_ϱ - არის ცემენტის, ღორღის და ქვიშის ხვედრითი წონები.

ასეთი წინასწარი გათვლების შემდეგ დამზადებული იქნა საცდელი ბეტონის ორი ნარევი და განსაზღვრული იქნა ბეტონის ძვრადობა და სიხისტე, რის შემდეგ შეტანილი იქნა ნარევი შესაბამისი ცვლილებები და მიღებული ბეტონის ნარევის შემადგენლობები, რომელიც გამოყენებული იქნა შემდგომში ბეტონის მასის მისაღებად, მოცემულია ცხრილებში 4 და 5. ბეტონის ნარევის მოსამზადებელი ელემენტების

რაოდენობრივ სიდიდეს ვარჩევდით „ოქროს“ პროპორციების დახმარებით (ოქროს კვეთა).

ცხრილი 4

ბეტონის ნარევის შემადგენლობა (ნარევი №1)

ბეტონის ნარევის სერიები №№	ბეტონის შემადგენლობა				დანამატის სახე და დოზირება %- ში	წყალ/ ცემენტი	კონუსის ჯგენა სმ	
	ცემენტი კგ/მ ³	ბაზალ- ტის ქვიშა კგ/მ ³	ბაზალტის ლორდი კგ/მ ³					წყალი ლ/მ ³
			5-10	10-20				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	530	480	550	550	254.4	უდანამატო	0.48	2
2.	530	480	550	550	201.4	ვისკოკრეტი SF 18 0.8%	0.38	3-4
3.	530	480	550	550	201.4	ვისკოკრეტი SF 18 1%	0.38	5-6
4.	530	480	550	550	201.4	ვისკოკრეტი SF 18 1.5%	0.38	14-16

ცხრილი 5

ბეტონის ნარევის შემადგენლობა (ნარევი №2)

ბეტონის ნარევის სერიები №№	ბეტონის შემადგენლობა				დანამატის სახე და დოზირება %- ში	წყალ/ ცემენტი	კონუსის ჯგენა სმ	
	ცემენტი კგ/მ ³	ბაზალ- ტის ქვიშა კგ/მ ³	ბაზალტის ლორდი კგ/მ ³					წყალი ლ/მ ³
			5-10	10-20				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5.	450	760	360	740	202.5	უდანამატო	0.45	2-3
6.	450	760	360	740	184.5	ვისკოკრეტი SF 18 0.8%	0.41	8-10
7.	450	760	360	740	171.0	ვისკოკრეტი SF 18 1%	0.38	11-12
8.	450	760	360	740	157.5	ვისკოკრეტი SF 18 1.5%	0.35	14-16

კუმშვაზე გამოსაცდელად ბეტონის ნიმუშები თანახმად EN 206-1-ის მოთხოვნისა მზადდება ცილინდრის ფორმის, ზომით - სიმაღლე 300მმ, ხოლო სიგანით 150მმ. კუბის ფორმის ნიმუშები ზომით 150მმX150მმX150მმ.

ნიმუშების დაყალიბებიდან მე-7-ე, 28-ე, მე-60-ე და ა.შ. დღეზე ხდებოდა მათი გამოცდა კუმშვაზე ბეტონის მახასიათებლების დადგენის მიზნით გამოსაცდელ წნეხზე ALFA300 (სურ. 6) ხოლო ღუნვაზე გამოცდები ტარდებოდა უნივერსალურ მანქანაზე INSTRON 1150. გამოცდის წინ ნიმუშები ინახებოდა სპეციალურ კლიმატურ ოთახში, სადაც ტემპერატურა იყო $20^{\circ}\text{C}\pm 2$, ტენიანობა 98-100%.

გამოცდამდე მიმდინარეობდა ნიმუშების ვიზუალური დათვალიერება და ნიმუშები, რომლებსაც ჰქონდათ ბზარები ან არასწორკუთხა კუთხეები, ასევე განშრევალობის და არასრული ვიბრირების ნიშნები, არ ექვემდებარებოდნენ გამოცდას. ხოლო ზედაპირზე და გვერდებზე ბეტონის ნადებების მოშორება წარმოებდა ქლიბის ან საჭრელი ქვის დახმარებით.



სურ. 6; ბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე გამოსაცდელი წნეხი ALFA-300

ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ ბეტონის ნარევის შემადგენლობა იყო უცვლელი და იცვლებოდა მხოლოდ დანამატის პროცენტული რაოდენობა, რაც თავისთავად ახდენდა გავლენას ბეტონის ნარევის კონუსის ჯდენაზე. ანუ ბეტონის სიმტკიცის ცვლილებასთან ერთად პლასტიფიკატორის პროცენტის რაოდენობის ზრდა გავლენას ახდენდა აგრეთვე ბეტონის კონუსის ჯდენაზე, რაც საშუალებას გვაძლევდა დაგვედგინა, თუ როგორ ცვლიდა სხვადასხვა პროცენტული რაოდენობა და სხვადასხვა პლასტიფიკატორების დამატება ბეტონის ნარევის კონუსის ჯდენას და შესაბამისად რა გავლენას ახდენდა ყოველივე ეს საბოლოო ჯამში სიმტკიცის ცვლილებაზე.

ცხრილების 6 - 9 ანალიზების მიხედვით ორივე ნარევისათვის აგებულია დიაგრამები და წარმოდგენილია სურ. 7 - 10-ზე.

ბეტონის სიმტკიცის საშუალო მაჩვენებლები ასაკის მიხედვით

ნარევი №1

ბეტონის ნარევის სერიების №№	დანამატის სახე და დოზირება	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 60 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 90 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 120 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 180 დღის ასაკში მპა
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	უდანამატო	23.10	52.55	54.60	59.00	65.00	69.50
2.	ვისკოკრეტი SF18 0.8 %	48.95	72.00	74.00	83.50	94.00	103.00
3.	ვისკოკრეტი SF18 1.0 %	53.00	72.50	75.00	79.20	81.00	91.50
4.	ვისკოკრეტი SF18 1.5 %	45.00	70.30	76.00	86.00	95.30	106.50

ბეტონის სიმტკიცის საშუალო მაჩვენებლები ასაკის მიხედვით

ნარევი №2

ბეტონის ნარევის სერიების №№	დანამატის სახე და დოზირება	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 60 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 90 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 120 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 180 დღის ასაკში მპა
1	2	3	4	5	6	7	8
5.	უდანამატო	24.50	55.00	68.55	70.00	72.50	77.00
6.	ვისკოკრეტი SF18 0.8 %	38.4	67.00	73.80	77.50	80.50	89.00
7.	ვისკოკრეტი SF18 1.0 %	45.8	74.00	80.50	86.90	94.00	102.00
8.	ვისკოკრეტი SF18 1.5 %	59.00	78.00	87.00	90.00	102.50	111.50

ცხრილი 8

ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები კუმშვაზე
გამოცდის 28-ე დღეს

ნარევი №1

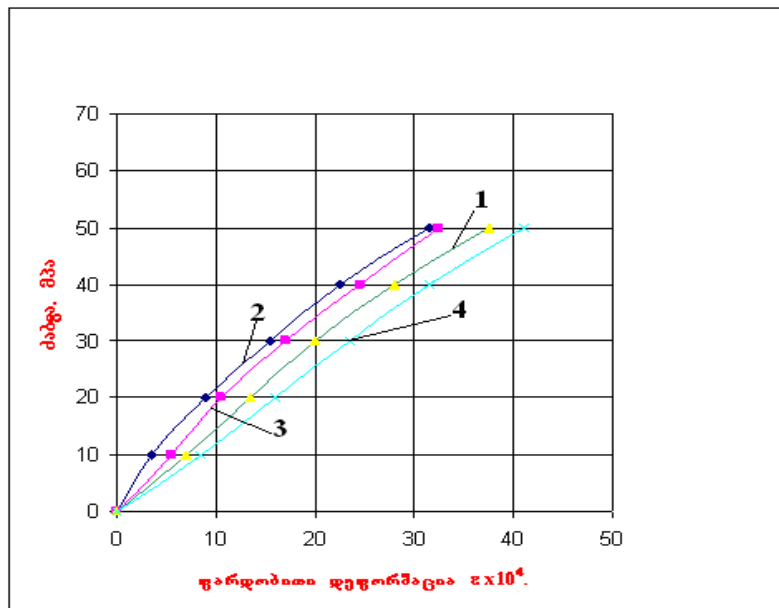
ბეტონის ნარევის სერიების №№	დანამატის სახე და დოზირება	კუბიკური სიმტკიცე მპა	დრეკადობის მოდული მპა
1	2	3	4
1.	უდანამატო	52.55	15385
2.	ვისკოკრეტი SF18 0.8 %	72.00	28571
3.	ვისკოკრეტი SF18 1.0 %	72.50	20000
4.	ვისკოკრეტი SF18 1.5 %	70.30	12500

ცხრილი 9

ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები კუმშვაზე
გამოცდის 28-ე დღეს

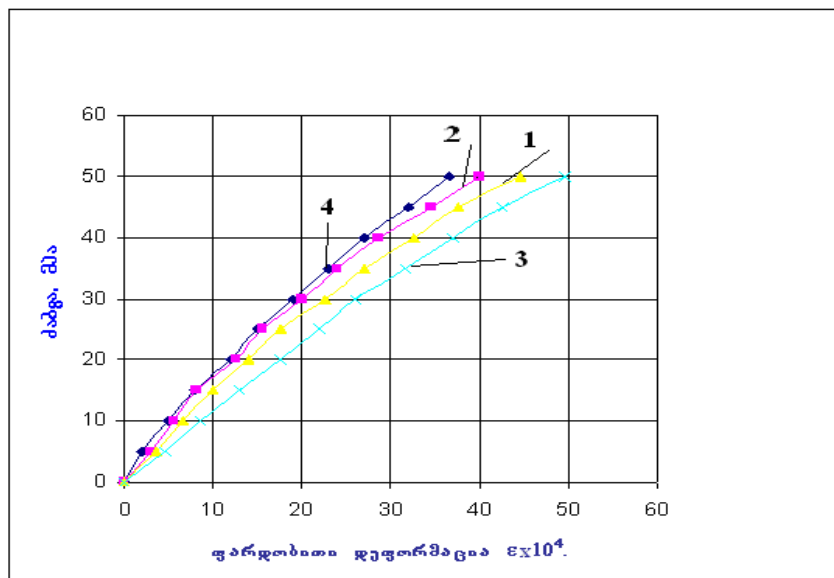
ნარევი №2

ბეტონის ნარევის სერიების №№	დანამატის სახე და დოზირება	კუბიკური სიმტკიცე მპა	დრეკადობის მოდული მპა
1	2	3	4
1.	უდანამატო	55.00	15000
2.	ვისკოკრეტი SF18 0.8 %	67.00	16666
3.	ვისკოკრეტი SF18 1.0 %	74.00	11538
4.	ვისკოკრეტი SF18 1.5 %	78.00	18750



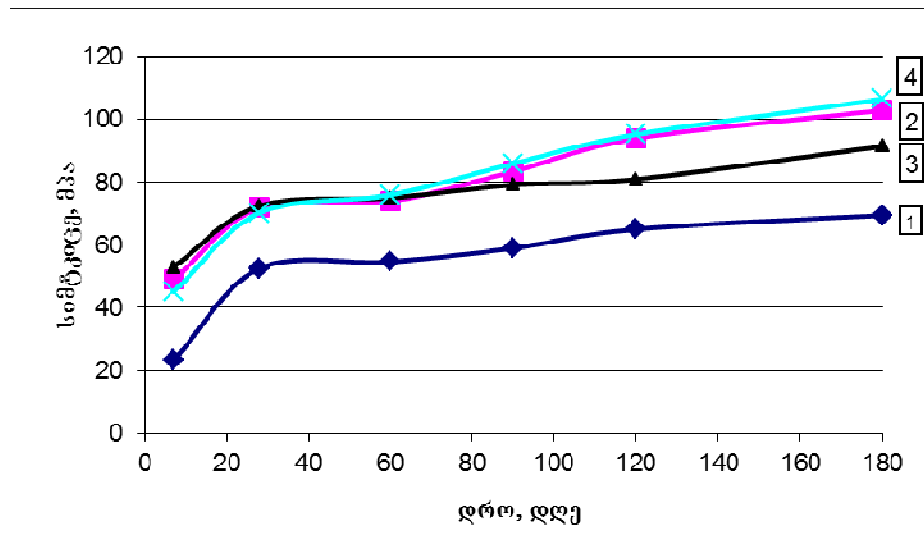
სურ. 7. ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის დიაგრამა 28-ე დღეს.
ნარევი №1.

- 1) უდანამატო; 2) დანამატით 0.8%; 3) დანამატით 1%;
- 4) დანამატით 1.5%.

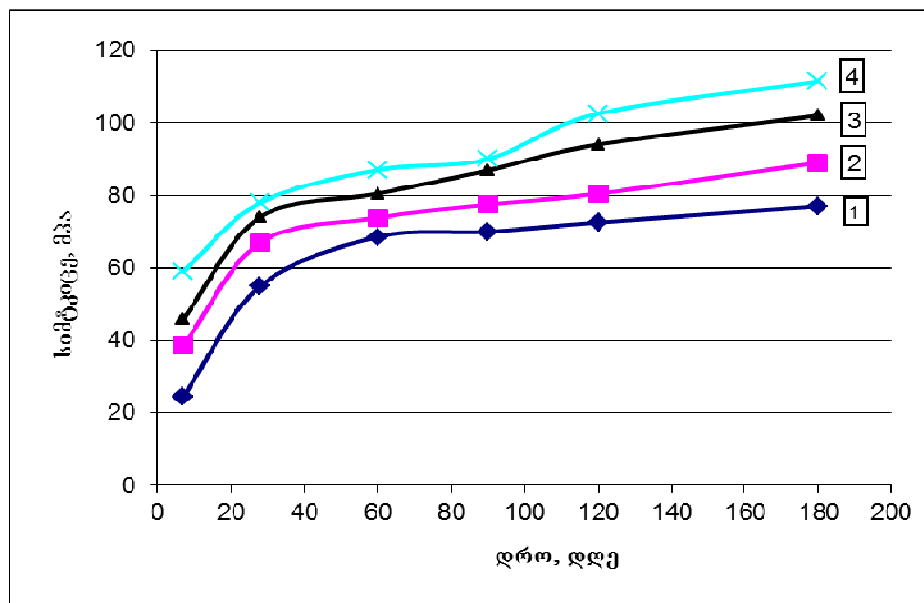


სურ. 8. ბეტონის კუმშვაზე გამოცდის დიაგრამა
28-ე დღეს. ნარევი №2.

1. უდანამატო; 2. დანამატით 0.8%; 3. დანამატით 1%;
4. დანამატით 1.5%.



სურ. 9. ბეტონის სიმტკიცის სიდიდების დამოკიდებულება ასაკზე. ნარევი №1.
 1. უდანამატო; 2. ვისკოკრეტი –SF18 0.8%; 3. ვისკოკრეტი –SF18 1%;
 4. ვისკოკრეტი –SF18 1.5%.



სურ. 10. ბეტონის სიმტკიცის სიდიდების დამოკიდებულება ასაკზე. ნარევი №2.
 1. უდანამატო; 2. ვისკოკრეტი –SF18 0.8%; 3. ვისკოკრეტი –SF18 1%;
 4. ვისკოკრეტი –SF18 1.5%.

ჩატარდა ექსპერიმენტები და სხვადასხვა მასალების გამოყენებით მიღებული თვითშემჭიდროებადი ბეტონი, დადგენილია მისი მახასიათებლები და სიმტკიცეების დამოკიდებულება ასაკზე.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის მისაღებად ჩატარებულ ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო: შპს „ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯიას“ ქ. კასპის ქარხნის წარმოებული პორტლანდცემენტი CEM I 42.5N აქტივობით 49,5 მპა; მარნეულის რაიონის ბაზალტის ღორღი და ქვიშა; საჩხერის რაიონის კვარცის ქვიშა; ქ.ხესტაფონის ფეროშემნადნობი ქარხნის ფილტრებში დაგროვილი მტვერი – სილიკამანგანუმი (SiO_2 -ის შემცველობა იყო $\approx 18\%$); უცხოური (ნორვეგიული) წარმოების მიკროსილიკა (SiO_2 -ის შემცველობა იყო $> 85\%$); დანამატად გამოყენებული იყო ფირმა Sika-ს (შვეიცარია) წარმოების სუპერპლასტიფიკატორი Viscocrete SF 18F.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ნარეგების შემადგენლობები, კონუსის ჯდენები და სიმტკიცის მაჩვენებლების დამოკიდებულება ასაკზე ნაჩვენებია ცხრილებში 10, 11, 12.

ცხრილი 10

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ნარეგების შემადგენლობა

ბეტონის ნარეგის სერიები №№	ცემენტი კგ/მ ³	ბაზალტის ღორღი (5-10 მმ) კგ/მ ³		ბაზალტის ქვიშა კგ/მ ³		წყალი ლ/მ ³	დანამატის სახე და დოზირება %-ში	ქ.ხესტაფონის ქარხნის სილიკა მანგანუმი კგ/მ ³	წყალ/ცემენტი	
				0-2,5 მმ	2,5-5 მმ					
		1	2	4	5					6
ნარევი №1										
1.	320	820		600	320	190	ვისკოკრეტი SF 18 2.0 %	200	0.59	
2.	350	1020		400	400	175	ვისკოკრეტი SF 18 2.0 %	100	0.5	
ნარევი №2										
ბეტონის ნარეგის სერიები №№	ცემენტი კგ/მ ³	ბაზალტის ღორღი კგ/მ ³		ბაზალტის ქვიშა კგ/მ ³		კვარცის ქვიშა კგ/მ ³	წყალი ლ/მ ³	დანამატის სახე და დოზირება %-ში	უცხოური წარმოების მიკროსილიკა კგ/მ ³	წყალ/ცემენტი
		5-10 მმ	10-14 მმ	0-2.5 მმ	2.5-5 მმ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	420	590	340	270	350	280	180	SF 18 1.5 %	80	0.43
2.	480	530	340	260	220	430	210	SF 18 1.5 %	90	0.44

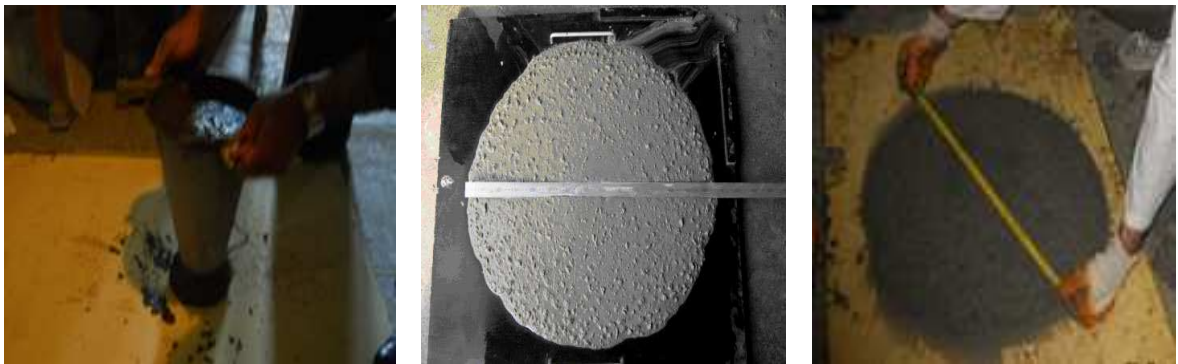
ცხრილი 11

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ნარეგების კონუსის განშლა

	ნარევი №1	ნარევი №2
	კონუსის გაშლის დიამეტრი სმ	კონუსის გაშლის დიამეტრი სმ
თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ნარეგის სერია №1	45	63
თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ნარეგის სერია №2	50	65

კუმშვისას თვითშემჭიდროებადი ბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება მასალის ასაკზე

ნარევი №1						
ბეტონის ნარევის სერიების №	დანამატის სახე და ღირებულება	ბეტონის სიმტკიცე 1 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 3 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 14 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მპა
1	2	3	4	5	6	7
1.	ვისკოკრეტი SF18 2.0 %	5.7	10.6	14.9	20.2	26.5
2.	ვისკოკრეტი SF18 2.0 %	6.5	11.5	16.2	22.0	27.8
ნარევი №2						
ბეტონის ნარევის სერიების №	დანამატის სახე და ღირებულება	ბეტონის სიმტკიცე 1 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 3 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 14 დღის ასაკში მპა	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღის ასაკში მპა
1	2	3	4	5	6	7
1.	ვისკოკრეტი SF18 1.5 %	9.2	16.9	27.0	35.8	48.1
2.	ვისკოკრეტი SF18 1.5 %	16.6	25.1	38.2	55.0	66.3



სურ. 11. თვითშემჭიდროებადი ბეტონის განზღაბობა

დამატებით ჩატარებული ექსპერიმენტებით და გამოკვლევებით დადგინდა, რომ სხვადასხვა ასაკის და ტენშემცველობის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის გაჭიმვისას – მასალის სიმტკიცის, ზღვრული დეფორმაციების და დრეკადობის მოდულების სიდიდეებზე დეფორმაციის სიჩქარე (სიჩქარეთა გამოკვლეულ დიაპაზონში) სუსტ გავლენას ახდენს.

ჩატარდა ფიბრობეტონის ნიმუშების გამოცდები კუმშვისას. გამოკვლეულია სხვადასხვა ტენშემცველობის და ფოლადფიბრობეტონის სიმტკიცისა და დეფორმაციების მანველებლებზე დეფორმაციის სიჩქარის გავლენა.

წვრილმარცვლოვანი - და ფოლადფიბრობეტონის დასამზადებლად გამოყენებული იყო შემდეგი მასალები: პორტლანდცემენტი აქტივობით 49 მპა, ქვიშა-ლორდი კვარცის, გარეცხილი მაქსიმალური სიმსხოთი 3 მმ; წყალცემენტის ფარდობა $V/C=0.4$. გაჭიმვაზე იცდებოდა ნიმუშები - „რვიანები“ – სისქით 50მმ. სიგანით მუშა

ნაწილში 70მმ. მთლიანი სიგრძით 530 მმ, ხოლო კუმშვაზე და ღუნვაზე პრიზმები ზომებით 40მმX40მმX160მმ. ფოლადფიბრობეტონის შედგენილობაში გამოყენებული იყო: წვრილმარცვლოვანი ბეტონის მატრიცა არმირებული $d = 0,4$ და სიგრძით $l = 40$ მმ. (პროფილირებული გვერდითი ზედაპირის მქონე ფოლადის ბოჭკოებით, არმირების პროცენტია 2% მოცულობის მიხედვით).

კუმშვაზე ცდები ჩატარებულია უნივერსალურ მანქანაზე „ინსტრონ 1115“ დეფორმაციის ხუთი ერთმანეთისაგან განსხვავებული სიჩქარის დროს - $4,2 \cdot 10^{-7}$ 1/წმ ÷ $4,2 \cdot 10^{-3}$ 1/წმ.

ჩატარებული იყო ექსპერიმენტების 4 სერია. პირველ სერიაში გამოცდა 28 დღის ასაკის „სველი“ ნიმუშები, მეორეში 28 დღის ასაკის „მშრალი“ ნიმუშები. III-ში და IV-ში 60 დღის „სველი“ და „მშრალი“ ნიმუშები. გამოკვლევის მიზანია – სტატიკური დატვირთვების დიაპაზონში განსაზღვროს სხვადასხვა ტენშემცველობის ფოლადფიბრობეტონის სიმტკიცის, ზღვრული დეფორმაციების და დრეკადობის მოდულების დამოკიდებულება დეფორმაციის სიჩქარეზე.

ოთხივე სერიის ნიმუშების გამოცდა ხდებოდა შემდეგი სიდიდის დეფორმაციის სიჩქარეების $4,2 \cdot 10^{-7}$ 1/წმ ÷ $4,2 \cdot 10^{-3}$ 1/წმ დროს.

ოთხივე ექსპერიმენტში ყოველ სიჩქარეზე იცდებოდა 6 ტყუპისცალი ნიმუში.

მიღებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დეფორმაციის სიჩქარეების ოთხი ხარისხით გაზრდისას სხვადასხვა ტენშემცველობის და ასაკის ბეტონის, წვრილმარცვლოვანი ბეტონის და ფოლადფიბრობეტონის სიმტკიცის მაჩვენებლების (სამივე სახის დატვირთვებისას) იზრდება 9 – 25%-ით. დრეკადობის და ძვრის მოდულები იზრდება 10 – 21%-ით. ფარდობითი დეფორმაციები იცვლება უმნიშვნელოდ.

სხვადასხვა ასაკის და ტენშემცველობის ბეტონის, წვრილმარცვლოვანი ბეტონის და ფოლადფიბრობეტონის სიმტკიცის, დეფორმაციების, დრეკადობის და ძვრის მოდულების დადგენილი პარამეტრები აუცილებელია სამშენებლო კონსტრუქციების საანგარიშო ახალი და გაუმჯობესებული მეთოდების შესაქმნელად;

ნაშრომის მესამე ნაწილში შესწავლილია ბეტონის სივრცითი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი დრეკადობის დაზუსტებული მეთოდის გამოყენებით.

ბეტონი არაერთგვაროვანი მასალაა, შიგა არაერთგვაროვნების გარდა, რომელიც მის სტრუქტურაზე დამოკიდებული გამყარებისა და დატვირთვისას წარმოიქმნება და ვითარდება ბზარები. ამის გამოა, რომ ბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდები ძირითადად დამოკიდებულია თეორიულ და ექსპერიმენტულ მონაცემების რაობაზე, ამასთან არსებული გაანგარიშების მეთოდის ძირითადი უარყოფითი მხარეა ნორმებში დიდი რაოდენობით სხვადასხვა ემპირიული კოეფიციენტებისა და

დამოკიდებულებების არსებობა, რომლებიც ვერ ასახავენ ბეტონის მრავალკომპონენტური კონგლომერატში მიმდინარე პროცესის ფიზიკურ-მექანიკურ ბუნებას.

დამზადებული ნიმუშის გამოცდით დგინდება ბეტონის ტექნიკური სიმტკიცე, რაც შეეხება მასალის თეორიული სიმტკიცის დადგენას ამისათვის იყენებენ კლასიკური დრეკადობის თეორიის მეთოდებს.

სივრცითი ამოცანის განხილვისას დეკარტეს მართკუთხა კოორდინატთა ($\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$) სისტემაში კლასიკური დრეკადობის თეორიის გამოყენებით მიიღება 9 კერძო წარმოებულიანი დიფერენციალური განტოლებისაგან შედგენილი სრული სისტემა ჩაწერილი უგანზომილებო სიდიდეებში:

$$x = \frac{\bar{x}}{a}; \quad y = \frac{\bar{y}}{b}; \quad z = \frac{\bar{z}}{h}; \quad \eta_1 = \frac{h}{a}; \quad \eta_2 = \frac{h}{b}; \quad (5)$$

წონასწორობის და დეფორმაციების განტოლებები შესაბამისად მიიღებენ სახეს. წონასწორობის განტოლებები:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\eta_2}{\eta_1} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{1}{\eta_1} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\eta_1}{\eta_2} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\eta_2} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \eta_1 \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \eta_2 \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

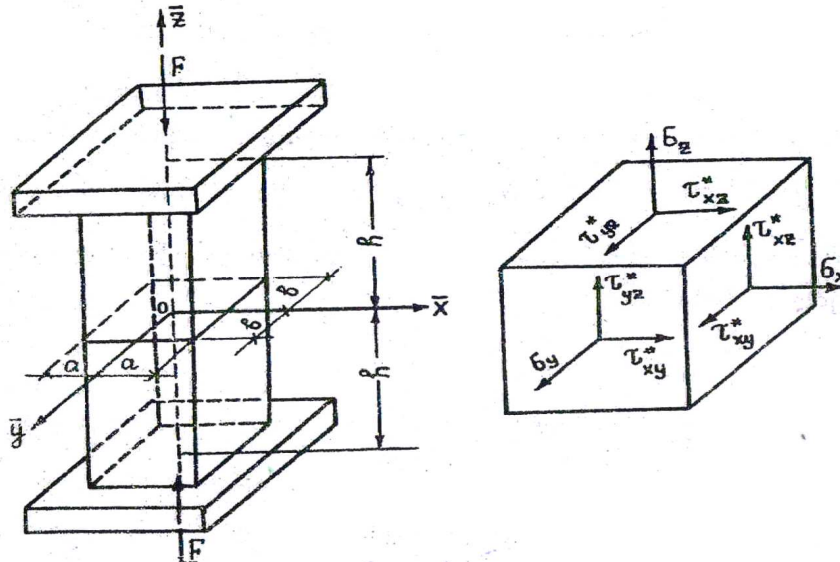
დეფორმაციის განტოლებები:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{h}{E} \frac{1}{\eta_1} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{h}{E} \frac{1}{\eta_1} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \frac{\partial w}{\partial z} &= \frac{h}{E} \frac{1}{\eta_1} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \\ \eta_2 \frac{\partial u}{\partial y} + \eta_1 \frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{h}{E} 2(1+\nu)\tau_{xy} \\ \frac{\partial u}{\partial z} + \eta_1 \frac{\partial w}{\partial x} &= \frac{h}{E} 2(1+\nu)\tau_{xz} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \eta_2 \frac{\partial w}{\partial y} &= \frac{h}{E} 2(1+\nu)\tau_{zy} \end{aligned} \quad (7)$$

E - განსახილველი სხეულის მასალის დრეკადობის მოდულია, ν - პუასონის კოეფიციენტი, $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ შინაგანი ძაბვების ექვსი კომპონენტი, ხოლო u, v, w სხეულის ნებისმიერი $M(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ წერტილის გადაადგილების ვექტორის სამი მდგენელი. ამგვარად ცხრა დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა სრულად საკმარისი უნდა

იქნეს იმისათვის, რომ ნებისმიერი სივრცითი ამოცანის ამოხსნისას განსაზღვრული იქნეს ზემოთ აღნიშნული ცხრა საძიებელი სიდიდე.

ქვემოთ მოცემულია აღნიშნული სივრცითი ამოცანის გადაწყვეტა იმ კონკრეტული შემთხვევისათვის, როდესაც P სიდიდის მკუმშავი ძალები ღეროს გადაეცემა მის ბოლოებზე დამაგრებული ხისტი დისკოების საშუალებით (ნახ. 1), როგორც ეს მიღებულია სამშენებლო პრაქტიკაში ბეტონის ნიმუშის გამოცდისას.



ნახ. 1. პრიზმული კუმშვის სქემა

განსახილველი სივრცითი ამოცანის ანალიზური ამოხსნის პრაქტიკული მნიშვნელობა იმაში მდგომარეობს, რომ ამ გზით მიღებული თეორიული შედეგები ნიმუშის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე საშუალებას იძლევა მთლიანად გამორიცხოს ე.წ. მასშტაბური ეფექტის გავლენა აღნიშნული ექსპერიმენტალური გამოკვლევის შედეგებზე. აღნიშნული მასშტაბური ფაქტორის არსი კი იმაში მდგომარეობს, რომ სხვადასხვა გზით განსახილველი ბეტონის მარკაც სხვადასხვა მიიღება.

ირაკლი ლუღუშაურის თეორიის მიხედვით წარმოვადგინოთ შინაგანი მხები ძაბვები შემდეგი მაინტერპოლირებული ფუნქციების სახით:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= \sum_m \sum_n \sum_k A_{mnk} (\sin mx - x^3 \sin m)(\sin ny - y^3 \sin n)(z^{2k} - 1) \\ \tau_{xz} &= B_{mnk} \sum_m \sum_n \sum_k (\sin mx - x^3 \sin m)(n \cos ny - 3y^2 \sin n)z^{2k-1} \\ \tau_{yz} &= \sum_m \sum_n \sum_k (m \cos mx - 3x^2 \sin m)(\sin ny - y^3 \sin n)z^{2k-1} \end{aligned} \quad (8)$$

სადაც $A_{mnk}, B_{mnk}, C_{mnk}$ - ჯერჯერობით უცნობი კოეფიციენტებია, რომლებიც განსაზღვრავენ შინაგანი მხები ძაბვების რაოდენობრივ მხარეს და განისაზღვრებიან ბოლოს დეფორმაციების გამოუყენებელი სამი იგიური განტოლებებიდან.

აღნიშნული მაინტეგრირებადი ფუნქციები შეირჩევიან ისე, რომ მათი გამოყენებისას შინაგანი მხები ძაბვები ზუსტად აკმაყოფილებდნენ მათთვის ამოცანაში მოცემულ ყველა სასაზღვრო და საწყის პირობას.

$$\text{როცა } x = \pm 1; \tau_{xy} = 0; \tau_{xz} = 0; \tau_{yz} \neq 0$$

$$\text{როცა } y = \pm 1; \tau_{xy} = 0; \tau_{xz} = 0; \tau_{yz} \neq 0$$

$$\text{როცა } z = \pm 1; \tau_{xy} = 0; \tau_{xz} \neq 0; \tau_{yz} \neq 0$$

$$\text{როცა } x = 0; \tau_{xy} = 0; \tau_{xz} = 0; \tau_{yz} \neq 0$$

$$\text{როცა } y = 0; \tau_{xy} = 0; \tau_{xz} \neq 0; \tau_{yz} = 0$$

$$\text{როცა } z = 0; \tau_{xy} = 0; \tau_{xz} = 0; \tau_{yz} = 0$$

წონასწორობის განტოლებებიდან $q_x^- = q_y^- = q_z^- = 0$ სიდიდეების გატვალისწინებით მარტივი ინტეგრების გზით განისაზღვრებიან $\sigma_x; \sigma_y$ და σ_z ძაბვათა სიდიდეები.

მაგალითად განტოლებიდან $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\eta_2}{\eta_1} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{1}{\eta_1} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$ მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= -\int \left(\frac{\eta_2}{\eta_1} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{1}{\eta_1} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) dx + B_1(y, z) = -\int A_{mnk} \frac{\eta_2}{\eta_1} (\sin mx - x^3 \sin m) (n \cos ny - 3y^2 \sin n) (z^{2k} - 1) + \\ &+ \frac{1}{\eta_1} B_{mnk} (\sin mx - x^3 \sin m) (n \cos ny - 3y^2 \sin n) (2k-1) z^{2k-2} dx + B_1(y, z) = \\ &= \left[A_{mnk} \frac{\eta_2}{\eta_1} z^{2k-1} + B_{mnk} \frac{1}{\eta_1} (2k-1) z^{2k-2} \right] \left(\frac{1}{m} \cos mx - \frac{x^4}{4} \sin m \right) (n \cos ny - 3y^2 \sin n) + B_1(y, z) = \overline{\sigma_x} + B_1(y, z) \end{aligned} \quad (9)$$

სადაც $\overline{\sigma_x}$ უკვე ცნობილი ფუნქციაა, ანალოგიურად მივიღებთ σ_y და σ_z ძაბვების მნიშვნელობებს

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \overline{\sigma_y} + C_1(x, z) \\ \sigma_z &= \overline{\sigma_z} + D_1(x, y) \end{aligned} \quad (10)$$

საინტეგრირებელი ფუნქციები $B_1(y, z)$ და $C_1(x, z)$ განისაზღვრებიან სასაზღვრო პირობებიდან როცა $x = \pm 1 \Rightarrow \sigma_x = 0$ და $y = \pm 1 \Rightarrow \sigma_y = 0$ რაც შეესაბამება $D_1(x, y)$ ფუნქციის განსაზღვრას იგი განისაზღვრება w ჩაღუნვის ფუნქციის სასაზღვრო პირობებიდან როცა $z = 0 \Rightarrow w = 0$ ან როცა $z = 1 \Rightarrow w = \text{const.} = C$

$\sigma_x; \sigma_y; \sigma_z$ სიდიდეების განსაზღვრის შემდეგ განისაზღვრებიან u, v, w გადაადგილებები დეფორმაციათა განტოლებებიდან, მათში ზემოთ აღნიშნული გზით ნაპოვნი ძაბვათა გამოსახულებების შეტანით.

$$\frac{\partial W}{\partial z} = \frac{h}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (11)$$

ინტეგრების შედეგად მივიღებთ:

$$W = \frac{h}{E} [\bar{W}(x, y, z) + D_1(x, y)z + D_2(x, y)] \quad (12)$$

$D_1(x, y)$ და $D_2(x, y)$ საინტეგრო ფუნქციები განისაზღვრებიან ზემოთ მოცემული ორი პირობიდან, კერძოდ პირველი პირობის გამოყენებით მივიღებთ, რომ $D_2(x, y) = 0$, ხოლო მეორე პირობის გამოყენებისას ვღებულობთ, რომ

$$D_1(x, y) = f(x, y) + c \quad (13)$$

სადაც $f(x, y)$ ცნობილი ფუნქციაა

$D_1(x, y)$ და $D_2(x, y)$ საინტეგრო ფუნქციების გათვალისწინებით σ_z ძაბვისა და w გადაადგილების გამოსახულებებში საბოლოოდ მიიღება:

$$\begin{aligned} W &= \frac{h}{E} [\bar{w}(x, y, z) + z \cdot c] \\ \sigma_z &= \bar{\sigma}_z(x, y, z) + c \end{aligned} \quad (14)$$

სადაც $\bar{w}(x, y, z)$ და $\bar{\sigma}_z(x, y, z)$ ცნობილი ფუნქციებია, ხოლო c მუდმივი განისაზღვრება შემდეგი სასაზღვრო პირობიდან

$$\text{როცა } z = \pm 1 \quad ab \iint \sigma_z dx dy = -P \Rightarrow c = -q_0$$

$$\text{სადაც } q_0 = \frac{P}{4ab}$$

დეფორმაციის განტოლებების მიხედვით განისაზღვრება u და v გადაადგილებები. სათანადო სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით:

$$\text{როცა } z = 0; \quad u = 0; \quad v = 0$$

ამრიგად ზემოთ მიღებული თანმიმდევრობით განისაზღვრა ყველა უცნობი სიდიდე, $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}, u, v, w$ რომლებიც შეიცავენ $A_{mnk}, B_{mnk}, C_{mnk}$ უცნობ კოეფიციენტებს, რომლებიც განისაზღვრებიან ჩვენს მიერ გამოუყენებელი დეფორმაციის შემდეგი სამი იგივეური ტოლობებიდან:

$$\begin{cases} \frac{1}{\eta_1} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{h}{E} \frac{1}{\eta_1^2} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \frac{1}{\eta_1} \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{h}{E} \frac{1}{\eta_2^2} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \eta_2 \frac{\partial u}{\partial y} + \eta_1 \frac{\partial v}{\partial x} = 2(1 + \nu) \frac{h}{E} \tau_{xy} \end{cases} \quad (15)$$

ამ ტოლობებში u, v და შინაგანი ძაბვების $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}$ -ის მაგიერ მათი მნიშვნელობების შეტანით მიიღება $A_{mnk}, B_{mnk}, C_{mnk}$ სიდიდეებისათვის ალგებრული განტოლებათა სისტემა.

$$\begin{aligned} \sum_m \sum_n \sum_k [f_1(x, y, z)A_{mnk} + f_2(x, y, z)B_{mnk} + f_3(x, y, z)C_{mnk}] &= \phi_1(q) \\ \sum_m \sum_n \sum_k [f_1^*(x, y, z)A_{mnk} + f_2^*(x, y, z)B_{mnk} + f_3^*(x, y, z)C_{mnk}] &= \phi_2(q) \\ \sum_m \sum_n \sum_k [f_1^{**}(x, y, z)A_{mnk} + f_2^{**}(x, y, z)B_{mnk} + f_3^{**}(x, y, z)C_{mnk}] &= \phi_3(q) \end{aligned} \quad (16)$$

ეს ალგებრული განტოლებათა სისტემა იხსნება კოლოვაციის მეთოდის გამოყენებით.

შედგენილია პროგრამა და ალგორითმი კომპიუტერისათვის, როგორც ალგებრულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნისათვის, ასევე შინაგანი ძალების მნიშვნელობების დათვლისათვის კოლოვაციის არჩეულ წერტილებში.

აღნიშნული მუდმივების განსაზღვრისას ჩატარებული იქნა პრაქტიკული თვალსაზრისით საინტერესო გამოკვლევა საკითხისა, რომლის არსი შემდეგში მდგომარეობს: მოცემული სივრცითი ამოცანის შესაბამისი სამი შერწყმის პირობის მესამე ტოლობა, რომელიც ძირითადად გამოხატავს მხები τ_{xy} ძაბვის გავლენას კმაყოფილდება მუდამ იგივეურად განსახილველი ნიმუშის განივკვეთის ყველა წერტილში, $A_{mnk}, B_{mnk}, C_{mnk}$ მუდმივების ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის.

ასეთი შედეგი მიგვანიშნებს იმაზე, რომ მოცემულ ამოცანაში მხები τ_{xy} ძაბვის გავლენა საბოლოო რიცხვით შედეგებზე პრაქტიკულად უმნიშვნელოა.

დასმული ამოცანისათვის ამოხსნის რიცხვითი რეალიზაციის კოლოვაციის წერტილები აღებული იქნა ნიმუშის შემდეგ ოთხ განივკვეთში $z = 0; z = \frac{1}{3}; z = \frac{2}{3};$ და $z = 1.0,$ რომელთაგან თითოეულში x -ის გასწვრივ: $x = 0; x = 0,25; x = 0,50; x = 0,75; x = 1,0$ წერტილებში, ხოლო y -ის გასწვრივ კი, ანალოგიურად: $y = 0; y = 0,25; y = 0,5; y = 0,75; y = 1,0.$ წერტილებში. ცხრილ 13-ში მოცემულია σ_z ძაბვის მნიშვნელობები $z = 0; \frac{1}{3}; \frac{2}{3}; 1,0$ განივკვეთებში იმ კერძო

შემთხვევისათვის, როცა $\eta_1 = \eta_2 = 2.$ აღნიშნულ ცხრილიდან თვალნათლივ შეინიშნება საძიებელი შინაგანი ძაბვის მნიშვნელოვანი კონცენტრაციები ნიმუშის ბოლოებზე, რაც კლასიკური დრეკადობის თეორიის გამოყენებით მიუღწევლადაა მიხნეული, ექსპერიმენტის მიხედვით, როცა გამყარების პროცესი 180 დღე მიმდინარეობდა σ_z ძაბვის სიდიდე იყო $\sigma_z = -1,108$ (იხ. ცხრილი 13), ამ შემთხვევაში კი როცა $x = 0; y = 1,0; z = \frac{2}{3};$ მაშინ $\overline{\sigma_z} = -1,8126,$ როგორც ვხედავთ შინაგანი ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობები თითქმის ორჯერ აღემატებიან ექსპერიმენტით დაფიქსირებულ შინაგანი ძაბვების მაქსიმალურ მნიშვნელობებს. ასეთივე განსხვავებაა u, v და w დეფორმაციების გავრცელების მიმართაც.

ნიმუშის სიმტკიცეზე და დეფორმაციულობაზე გაანგარიშების შედეგების სხვადასხვაობა ექსპერიმენტისა და თეორიულ შედეგებს შორის ძირითადად გამოწვეულია კონსტრუქციაში (ნიმუშში) ბზარების არსებობის გამო, რაც მკვეთრად ამცირებს ნიმუშის სიმტკიცეს. ამის გამოა, რომ დღევანდელ პირობებში მიკროდაზიანებებისა და ბზარების მქონე კონსტრუქციების შესწავლა უნდა მოხდეს რღვევის მექანიკის მეთოდების გამოყენებით.

$\bar{\sigma}_z$ უგანზომილებო ძაბვის ცვლილების ცხრილი კოლოვაციის წერტილებში, როცა $\eta_1 = \eta_2 = 2$.

ცხრილი 13

უგანზომილებო ძაბვის ცვლილება

z	x/y	0.0	0.25	0.50	0.75	1.0
z=0	0.0	-0.7925	-0.8809	-1.0015	-1.0040	-1.1103
	0.25	-0.8560	-0.9013	-1.0119	-1.0267	-1.0037
	0.5	-1.0136	-1.0537	-1.0112	-0.9876	-0.9833
	0.75	-1.1004	-1.0567	-0.9978	-0.9917	-1.1896
	1.0	-1.1089	-1.0711	-1.0023	-0.9913	-1.2145
z=1/3	0.0	-0.7871	-0.8323	-1.0201	-1.1001	-1.2906
	0.25	-0.8327	-0.9181	-1.0217	-1.0697	-1.1914
	0.5	-1.01718	-1.0223	-1.0611	-1.0134	-1.0289
	0.75	-1.1100	-1.0863	-1.0323	-0.9234	-0.9618
	1.0	-1.2813	-1.1917	-1.0137	-0.9629	-1.2013
z=2/3	0.0	-0.6012	-0.6700	-1.0543	-1.2451	-1.8127
	0.25	-0.6700	-0.8221	-1.0390	-1.1963	-1.5498
	0.5	-1.0543	-1.0324	-1.1123	-1.0324	-1.0093
	0.75	-1.2475	-1.1924	-1.0345	-0.7517	-0.8750
	1.0	-1.8128	-1.5647	-1.061	-0.8757	-1.1225
z=1.0	0.0	-0.7019	-1.0325	-0.8738	-1.3703	-0.0393
	0.25	-1.0324	-0.8723	-1.0587	-1.2750	-0.0040
	0.5	-0.8734	-1.0524	-0.9547	-1.1210	-0.0978
	0.75	-1.3768	-1.2731	-1.1233	-1.4412	-0.1205
	1.0	-0.0081	-0.0043	-0.0514	-0.0655	-0.2501

$$\sigma_z = \bar{\sigma}_z \frac{P}{4ab}$$

$\bar{\sigma}_z$ უგანზომილებო გადაადგილების ცვლილების ცხრილი კოლოვაციის წერტილში, როცა $\eta_1 = \eta_2 = 1$.

უგანზომილებო გადაადგილების ცვლილება

z	x/y	0.0	0.25	0.50	0.75	1.0
z=0.0	0.0	0	0	0	0	0
	0.25	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0	0
	0.75	0	0	0	0	0
	1.0	0	0	0	0	0
z=1/3	0.0	-0.3640	-0.3540	-0.3336	-0.3266	-0.2727
	0.25	-0.3540	-0.3420	-0.3329	-0.3313	-0.2894
	0.5	-0.3336	-0.3329	-0.3323	-0.3378	-0.3359
	0.75	-0.3266	-0.3378	-0.3390	-0.3408	-0.3220
	1.0	-0.2729	-0.2895	-0.3358	-0.3218	-0.5855
z=2/3	0.0	-0.7029	-0.6966	-0.6687	-0.6594	-0.6723
	0.25	-0.6966	-0.6932	-0.6706	-0.6662	-0.6835
	0.5	-0.6687	-0.6706	-0.6628	-0.6711	-0.7515
	0.75	-0.6594	-0.6662	-0.6710	-0.6894	-0.7300
	1.0	-0.6726	-0.6836	-0.7515	-0.7298	-1.0300
z=1.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	0.25	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	0.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	0.75	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

$$w = w \frac{-h}{E} \cdot \frac{P}{4ab}$$

როგორც მიღებული შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა მაღალ დონეზე ჩატარებული ექსპერიმენტით მიღებული შედეგი თეორიული გამოთვლით მიღებულ შედეგებთან ახლოა და მათი განსხვავების აღმოფხვრისათვის აუცილებელია ბეტონის ნიმუშის განხილვა-განალიზება რღვევის მექანიკის მეთოდებით.

დასკვნები:

- ❖ გამოკვლეულია მიღებული მაღალი სიმტკიცის ბეტონების სიმტკიცისა და დეფორმაციის მახასიათებლები კუმშვაზე გამოცდების დროს, დადგენილია მიღებული ბეტონის მექანიკური თვისებების ცვლილების ხასიათი დროის მიხედვით და ნაჩვენებია მიღებული ბეტონის მახასიათებლებზე (სიმტკიცე-დეფორმაციულობა) ბეტონის მასაში ქიმიური დანამატების სხვადასხვა პროცენტული რაოდენობით შეყვანის გავლენა.
- ❖ ჩატარებული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ სხვადასხვა ასაკის და ტენშემცველობის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის გამოცდა – მასალის სიმტკიცის, ზღვრული დეფორმაციების და დრეკადობის მოდულების სიდიდეებზე დეფორმაციის სიჩქარე (სიჩქარეთა გამოკვლეულ დიაპაზონში) სუსტ გავლენას ახდენს.
- ❖ დადგენილია, რომ სხვადასხვა ტენშემცველობის ფიბრობეტონის კუმშვისას მასალის სიმტკიცის, ზღვრული დეფორმაციების და დრეკადობის მოდულის სიდიდეებზე დეფორმაციების სიჩქარე (სიჩქარეთა გამოკვლეულ დიაპაზონში) სუსტ გავლენას ახდენს.
- ❖ მაღალი სიმტკიცის ბეტონების ტექნოლოგიის თავისებურებებს წარმოადგენს გამოყენებული ცემენტის მარკაზე (აქტივობაზე) უფრო მაღალი მარკის (კლასის) ბეტონის მიღება. ამის მიღწევა შესაძლებელია ბეტონის ისეთი სტრუქტურის შექმნით, სადაც რაციონალურად იქნება შეხამებული შემადგენელი მასალების სიმტკიცის სასარგებლო თვისებები.
- ❖ ახალი თაობის ბეტონი ხასიათდება მაღალი სიმტკიცითა და წყალშეუღწევადობით, რის გამოც იგი შეიძლება გამოყენებული იქნას სხვადასხვა კლიმატურ რეგიონში და მძიმე ექსპლუატაციის პირობებში.
- ❖ ნაჩვენებია ადგილობრივი მასალების, უცხოური დანამატის და პლასტიფიკატორის ბაზაზე თვითშემჭიდროებადი ბეტონის მიღების შესაძლებლობა.
- ❖ გამოკვლევების ანალიზი გვაჩვენებს, რომ მაარმირებელი ბოჭკოები საშუალებას იძლევა გავაუმჯობესოდ პრაქტიკულად ყველა ძირითადი ფიზიკო-მექანიკური პარამეტრი ბეტონებში. ყველაფერი ეს საშუალებას მოგვცემს ბევრად გავზარდოთ ფიბრობეტონების გამოყენების ეფექტურობა მთელ რიგ კონსტრუქციებში, გავზარდოთ ისინი უფრო მსუბუქი და ხანგამძლე.
- ❖ შესწავლილია დრეკადობის თეორიის დახუსტებული მეთოდით ბეტონის სივრცითი მუშაობის ანალიზი კუმშვა-გაჭიმვის შემთხვევებისათვის.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია

შემდეგ ნაშრომებში:

1. ი.გიორგაძე; ზ.ეზუგბაია; ი.ირემაშვილი; ა.საკანდელიძე. მაღალი სიმტკიცის ბეტონის დაპროექტების ზოგიერთი საკითხი. სამშენებლო კონსტრუქციების კათედრის 75 წლისთავისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენციის „მშენებლობა და XXI საუკუნე“ მოხსენებები. 2005წ. გვ. 78-82.
2. ა.საყვარელიძე; ი.გიორგაძე; ლ.ლოლაძე. გაჭიმვისას სხვადასხვა ტენზომეტრიის სინქარის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის მექანიკურ მახასიათებლებზე დეფორმაციის სინქარის გავლენა. ჟურნალი: ჰიდროინჟინერია. №2(6), 2008წ. გვ. 124-127.
3. ლ.ოკუჯავა; ბ.კეშელავა; გ.თათარაშვილი; ნ.გოგოხია; ი.გიორგაძე; ლ.ლოლაძე; გრანიტის ნარჩენებზე დამზადებული მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა. ჟურნალი: ენერჯია. №1 (49), 2009წ. გვ. 101-104.
4. ა.საყვარელიძე; ნ.დუდუშაური; ი.გიორგაძე. გრეხისას ბეტონის მექანიკური მახასიათებლები დეფორმაციის სხვადასხვა სინქარის დროს. ჟურნალი: ენერჯია. №1 (49), 2009წ. გვ. 95-96.
5. ა.საყვარელიძე; ნ.დუდუშაური; მ.ტურძელაძე; ი.გიორგაძე. წვრილმარცვლოვანი ბეტონის ასაკის გავლენა კომპოზიტის ცოცვალობაზე გრეხისას. ჟურნალი: მეცნიერება და ტექნოლოგიები №1-3, 2009წ. გვ. 84-88.
6. ა.საყვარელიძე; ნ.დუდუშაური; ი.გიორგაძე. გრეხისას დეფორმაციის სინქარის გავლენა სხვადასხვა ასაკის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის მექანიკურ მახასიათებლებზე. ჟურნალი: ენერჯია №4(52)–1, 2009წ. გვ. 97-98.
7. რ.სხვიტარიძე; ბ.კეშელავა; გ.თათარაშვილი; ი.გიორგაძე. USED OF CEMENTS MODIFIED AT THE NANOLEVEL MINERAL ADDITIVES. *12th International Conference on Mechanics and Technology of Composite Materials (MTCM)*. Varna, Bulgaria 22-24 September 2009. მოხსენებების კრებული, გვ. 126-129.
8. ლ.ოკუჯავა; ბ.კეშელავა; გ.თათარაშვილი; ნ.გოგოხია; ი.გიორგაძე; ლ.ლოლაძე; INFLUENCE OF SOME ADDITIONS ON CHANGE OF HIGH STRENGTH CONCRETE PROPERTIES. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENGINEERING AND ARCHITECTURAL SCIENCES OF BALKAN, CAUCASUS and TURKIC REPUBLICS SYMPOSIUM, Isparta, Turkey 22-24 October 2009. მოხსენებათა კრებული, გვ. 123-126
9. ლ.ოკუჯავა; ი.გიორგაძე; ლ.ლოლაძე; INFLUENCE OF PLASTICIZERS WITH DIFFERENT CHARACTERISTICS ON PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETES. ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ „Проблемы нелинейной механики деформируемого твердого тела“ 8 – 11 декабря 2009 г. Казань, Россия. Сборник трудов. გვ. 13-16.

10. ბ.კეშელავა; რ.სხვიტარიძე; გ.წინწკალაძე; გ.თათარაშვილი; ი.გიორგაძე. THE CONCRETE NANOTECHNOLOGY IN GEORGIA. IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ”. 22-23 апреля 2010, г., Санкт-Петербург, Россия. Сборник трудов. გვ. 243-247.
11. ა.საყვარელიძე; ი.გიორგაძე. ბეტონის შეკვების პროცესების აღმწერი უნივერსალური მოდელების შექმნა. ჟურნალი მშენებლობა №2(17) საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია ”სამშენებლო მექანიკის აქტუალური პრობლემები”, 15-17 ივნისი 2010წ. შრომათა კრებული გვ. 103-107.
12. რ.ცხველაძე; ი.გიორგაძე. თვითშემჭიდროებადი ბეტონი, მსოფლიო გამოცდილება, მისი მახასიათებლები და საქართველოში წარმოების საშუალებები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 78-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისების კრებული. მაისი 2010წ. გვ. 6-7.
13. ი.გიორგაძე; ა.საყვარელიძე. MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE WITH MODIFIERS. 14th EUROPEAN CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, (14 ECEE) Ohrid, Republic of Macedonia. 30August-3September. Abstract Book. გვ. 815.
14. ა.საყვარელიძე; ლ.ოკუჯავა; ზ.ჩინხაღაძე; ი.გიორგაძე; ლ.ლოლაძე; SELF-COMPACTING CONCRETE, ITS ADVANTAGES AND PRODUCTION IN GEORGIA. “АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ” *Вторая международная научно-техническая конференция*. 30 сентября - 3 октября 2010г., Ереван-Джермук. Сборник трудов. გვ. 311-316.
15. ლ.ოკუჯავა; ბ.კეშელავა; ნ.გოგოხია; ი.გიორგაძე; ლ.ლოლაძე; ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ С УЧЁТОМ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ВО ВРЕМЕНИ. “АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ” *Вторая международная научно-техническая конференция*. 30 сентября - 3 октября 2010г., Ереван-Джермук. Сборник трудов. გვ. 95-98.
16. ბ.კეშელავა; რ.სხვიტარიძე; გ.წინწკალაძე; გ.თათარაშვილი; ი.გიორგაძე. TECHNOLOGY OF CEMENT PRODUCTION USING NANOMODIFIED MINERAL ADDITIONS. 3rd International Conference “Advanced Composite Materials Engineering ” COMAT 2010. 27- 29 October 2010, Brasov, Romania. Conference Proceedings ISSN 1844-9336, Transilvania University Press of Brasov, Volume 1. გვ. 101-103.
17. გ.თათარაშვილი; მ.ტურძელაძე; ზ.ქარუმიძე; ი.გიორგაძე. Экологично чистый пенобетон на местных материалах Грузии. II-я Международная научно-практическая конференция «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа» г. Владикавказ, 8-10 октября 2010 г. Сборник трудов. გვ. 470-473.

18. მ.ტურძელაძე; გ.თათარაშვილი; ი.გიორგაძე. თვითშემჭიდროებადი ბეტონი – დღევანდელი სამშენებლო ამოცანების გადაწყვეტის ეფექტური ინსტრუმენტი. ჟურნალი: ენერჯია №2(58). 2011წ. გვ. 77-79.
19. ი.გიორგაძე; მ.ტურძელაძე; გ.თათარაშვილი. SUPERDISPERSED WASTES OF THE FERROMAGNETIC ALLOYS IN THE HIGH-STRENGTH CONCRETE TECHNOLOGY. 7th European Congress on Concrete Engineering. NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR CONCRETE STRUCTURES. 22-23 Sept. 2011, Balatonfüred, Hungary. Conference Proceedings. გვ.77-79.
20. რ.სხვიტარიძე; ი.გიორგაძე. სილიკატური მასალებით ბეტონის ჰორიზონტალური კონსტრუქციების არმირების High Performance Concrete და ტიპი ბეტონების ინოვაციური ტექნოლოგიების ათვისება-გამოყენების პრაქტიკა საქართველოში. რ.აგლაძის დაბადების 100-წლისთავისადმი მიძღვნილი ეროვნული მე-3 კონფერენცია გამოყენებით ქიმიაში RAC-3 ქობილისი, 18-19-ოქტომბერი, 2011 წ. თეზისების კრებული. გვ.51-52
21. რ.ცხველაძე; დ.ტაბატაძე; თ.შუკაკიძე; ი.გიორგაძე; ლ.ლოლაძე. ბეტონის ნიმუშის კუმშვაზე ექსპერიმენტული და თეორიული გაანგარიშების შედეგები. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №3(22), 2011წ. გვ.101-106

Summary

DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF HIGH STRENGTH CONCRETES DURING DIFFICULT STRESS STATE

Topicality of this theme is stipulated by the fact that under current conditions the methods of building constructions calculation with the use of modern computer systems is mostly based on the application of finite-element method, where strain (deformation) characteristics of the concrete and their change in the whole process of loading should be necessarily taken into account; but there is no desirable information, neither in reference literature, nor in scientific literature, about the change of concrete's characteristics in the case of its space stress strain state. The analysis of space work of the concrete in cases of compression and enlargement (growth) is studied in the work with the use of specified method of the theory of elasticity.

Seismic stability is the subject of especial topicality for Georgia, since the country is located in seismically active zone. Along with strengthening of requirements to the resistance and to the development of construction technologies also are changing the requirements to basic construction material – concrete itself.

In order to increase the resistance (longevity, seismic stability) of constructions in Georgia it is necessary to create the technology of new generation concretes (C50/60-C100/115 grade according to strength class) with modified structure (dispersive reinforced, less porous, less cracked, less fragile) and less anisotropic properties (increased strength to bending and enlargement) and carrying out construction works with the use of it.

The goal of thesis work was the determination of strength characteristics of the concrete by experimental way, in case of space (triaxial) compression of concrete sample in the event of proportional and disproportional loadings. The following issues are considered in this regard:

1. Elaboration of high strength concrete with guaranteed high physical and technical properties.
2. Elaboration of new brand finely grained multicomponent concrete with the wide range of physical and technical properties and with maximally saturated technogenic waste.
3. Elaboration of the methodology of forecasting of concrete's important parameters: longevity, kinetics of concrete hardening in the ware and other properties.
4. Development and review of normative documentation, its harmonization with international standards.

One of the lines of research was the elaboration of high quality concrete with less content of cement. It is very problematic issue, since concrete's deformation properties are improving and at the same time the less is the stone content in the cement, the more stable is the material, because among components of concrete content the cement stone is the more sensitive against aggressive environment.

The scientific novelty of the work is the fact, that as a result of complex experimental researches of the concrete two contents of the mixture have been elaborated, which precisely reflect stress strain state

of the concrete and are standing out by stable characteristics of the strength. With the use of “the gold section” ratio are composed the ratios proportional to the mixture 1 and 2, and is received the mixture of high strength concrete. Experiments have been carried out with full observation of international standards.

Compression strength and deformation characteristics of received high strength concretes (>70MPa) are studied during tests, the character of concrete’s mechanical properties changes according to time (age) is determined and effect of chemical additives insertion with various percentage composition into the concrete mass on the characteristics (strength, deformability, cone shrinkage) of received concrete is shown.

By means of prepared samples tests technical strength of the concrete has been determined, as to determination of theoretical strength of the material, for these purposes the methods of classic theory of elasticity has been used. The analysis of concrete’s space strain stress state is studied with the use of the specified method of elasticity.

Reliability of obtained results is based on the application of pilot plant with high sensitivity, as well as on the precision of measuring tools and on the processing of experimental data, which includes the use of mathematical statistical methods.

Practical application of obtained results is possible during calculation of reinforced concrete constructions which can represent the elements of high risk constructions, since the concrete of new generation is characterized by extremely high strength and water impermeability, hereupon it can be used in the various climatic zones and under heavy operational conditions. The research analysis also shows that reinforcing fibers allow us to improve virtually all basic physical and mechanical parameters of concretes. All this will give us an opportunity to considerably increase the efficiency of fiber-concretes in the variety of structures, and to make them more light and more durable.

Series of experiments are carried out concerning the problem of self-compacting concrete. Experiments consist of several stages: the stage of selection of materials for manufacturing of concrete mixture with various composition from local natural materials: cement; waste products, superplasticizers and modifiers of various firms. The stage of determination of mixtures’ technological parameters for the purpose of selection of optimal composition for self-compacting concrete. Experiments for determination of a number of mechanical characteristics for concrete with various composition. Optimal (tailored) composition and mechanical strength characteristics are established for material that satisfy regulatory requirements.

The peculiarity of high strength concrete technology is the receipt of concrete with higher grade (class) than of used cement, achievement of which is possible by creation of such structures in which the properties of component materials with desirable strength will be rationally blended.