

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

## იური სალუქვაძე

ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის  
თვისებების კვლევა და დანერგვა საავტომობილო გზებზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“ შიფრი 0406

თბილისი,

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში,

სამშენებლო ფაკულტეტზე, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიის  
და საშენი მასალების დეპარტამენტში;

სსიპ შ. რუსთაველის ეროვნულ სამეცნიერო ფონდში;

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი მერაბ ლორთქიფანიძე

რეცენზენტები: პროფესორი, ზეინაბ ქარუმიძე

ტ.მ.დ. თამაზ შილაკაძე

დაცვა შედგება 2018 წლის 20 ივლისს 14<sup>00</sup> საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს

კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 508 ,

მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

პროფესორი დემური ტაბატაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

*თემის აქტუალობა და სამეცნიერო სიახლე.* საქართველოს ეკონომიკური განვითარება მეტწილად დამოკიდებულია მისი, როგორც სატრანზიტო ქვეყნის, პოტენციალის ეფექტურ გამოყენებაზე. საქართველოს, როგორც ევროპა-აზიის დამაკავშირებელი სატრანსპორტო დერეფნის ნაწილის ფუნქცია მნიშვნელოვნად გაიზარდა, ეს აძლიერებს დასავლეთისა და აღმოსავლეთის სახელმწიფოების ინტერესს საქართველოსადმი, როგორც სატრანსპორტო ღერძზე მდებარე ქვეყნის - სტაბილური განვითარების მიმართ, რაც პირველ რიგში, გულისხმობს საქართველოში ხარისხიანი სატრანზიტო საგზაო ინფრასტრუქტურის შექმნას და განვითარებას. თანამედროვე საავტომობილო გზების მშენებლობის ინდუსტრიაში აქტუალურია ხანმედეგი და ეკონომიური დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონების გამოყენება.

ბეტონი 21-ე საუკუნეშიც მოთხოვნად კონსტრუქციულ საშენ მასალად რჩება, ამიტომ საჭიროა ინოვაციური, ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად გამართლებული ტექნოლოგიების შემუშავება. საქართველოს სამშენებლო ბაზარი ითხოვს ახალი თაობის ბეტონების გამოყენებას, ნანოტექნოლოგიების მორგებას ადგილობრივ პირობებთან, რაც საშუალებას იძლევა შეიქმნას მრავალფუნქციური, ნანომოდიფიცირებული მაღალტექნოლოგიური საშენი მასალები. მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა უაღრესად აქტუალურია.

ჩატარდა ამ სფეროში არსებული მდგომარეობის კვლევები და ანალიზი. პროექტის მთავარ მიზანს წარმოადგენს ისეთი თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონის შექმნა, რომელიც წარმატებით იქნება გამოყენებული საავტომობილო გზების საფარის მოწყობაში. მოძიებული იქნა და კრიტიკულად გაანალიზდა აშშ არმიის ინჟინერთა კორპუსის ნორმატული დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონის შესახებ - „Roller-Compacted concrete”, Engineering and Design. U.S. Army Corps of Engineers, DC 20314-1000, Manual No. 1110-2-2006. ეს დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონების შესახებ ყველაზე ავტორიტეტულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მასშტაბით. მასში გაანალიზებულია მსოფლიოში სხვადასხვა პერიოდში გამოყენებული (მათ შორის

კაშხლებში, საავტომობილო გზებში და ა.შ.), დატკეპნილი ბეტონების მრავალფეროვანი შემადგენლობები (რეცეპტები), რომლის საფუძველზეც შემოთავაზებულია თანამედროვე რეცეპტების შექმნის სქემა. გავითვალისწინეთ რა საქართველოში ხელმისაწვდომი ადგილობრივი წარმოების შემკვრელების და შემავსებლების არსებობა, ჩვენ მიერ დასახულ გეგმაში შეტანილ იქნა ხსენებულ ნორმატიულ დოკუმენტთან შესაბამისად რეცეპტის შემუშავების ახლებური მიდგომა. პროექტის ერთერთი მნიშვნელოვანი შედეგი არის მისი განხორციელება და დანერგვა ჩვენი უშუალო მონაწილეობით (ნორიოს ნაგავსაყრელზე მისასვლელ გზაზე და ქ. ბათუმში, მესხეთის ქუჩაზე).

**სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს** ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა და მიღებული შედეგების დანერგვა საავტომობილო გზებზე.

კვლევის მიზნის მისაღწევად შესრულებულია შემდეგი ამოცანები:

1. ბეტონის ნარევის პროექტირებისათვის, ადგილობრივი შემკვრელი, შემვსები მასალებისა და დანამატების სრული ინფორმაციის დადგენა და მოქმედების გეგმის შემუშავება;
2. ოპტიმალური შემადგენლობის დატკეპნილი ბეტონის შედგენილობის შერჩევა და მათი გამოყენებით მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონის მიღება;
3. დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცის, წყალშთანთქმის, წყალშეუღწევადობის, და ცვეთადობის შესწავლა მიღებული საერთაშორისო სტანდარტების გათვალისწინებით;
4. საავტომობილო გზის მონაკვეთში დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონით ექსპერიმენტალური საფარის მოწყობა;
5. დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის ლაბორატორიულ და საველე პირობებში მიღებული შედეგების ანალიზი და დანერგვა საავტომობილო გზებზე;
6. საბოლოო ანგარიშის შედგენა, რეკომენდაციების და დასკვნების მომზადება და მისი პოპულარიზაცია.

მხოლოდ ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებით არის შესაძლებელი სამშენებლო მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენა. ასეთი

კომპლექსური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ექსპერიმენტული მეთოდებით შესრულებისას აუცილებელია სისტემური მიდგომა. პირველ რიგში დასაბუთებული უნდა იყოს ექსპერიმენტული გამოკვლევების აუცილებლობა და მეთოდიკა. შერჩეული უნდა იქნეს მოდელის დასამზადებელი მასალები, მოდელირების მასშტაბი და შესაბამისი აპარატურა. გამოყენებითი ხასიათის ამოცანებისათვის აუცილებელია ექსპერიმენტული სამუშაოს მიზნების შესაბამისობა საკვლევო კონსტრუქციის თავისებურებებთან და ტექნოლოგიურ პროცესთან, რაც მოითხოვს კოორდინირებას კონსტრუქტორებთან და ტექნოლოგებთან. ექსპერიმენტული სამუშაოების მეთოდიკა უნდა ხასიათდებოდეს კარგი განმეორებადობით და საჭირო სიზუსტით.

ნებისმიერი ექსპერიმენტული გამოკვლევისას, ერთის მხრივ, მაღალი სიზუსტის მისაღწევად, საჭიროა დიდი რაოდენობის ცდების ჩატარება, მეორეს მხრივ, აუცილებელია მინიმალური დანახარჯებით და უმოკლეს დროში, ზუსტი შედეგების მისაღებად საკმარისი ცდების, ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად პრაქტიკაში, ამოცანის სირთულის მიხედვით შეიძლება გამოყენებული იქნას ექსპერიმენტების დაგეგმარების სტატისტიკური და მათემატიკური მეთოდები. საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენის პროცესში, ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნება გაზომვების შედეგების ნორმალური კანონით განაწილების ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად მიღებული მონაცემების გაბნევა განპირობებულია შერჩეული მეთოდის აუცილებელი ცდომილებით და კვლევის ობიექტის არაერთგვაროვნებით.

საკვლევო თემის მიზნის მისაღწევად დასმული იყო შემდეგი ამოცანები:

- 1.ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია და დაგეგმვა;
- 2.ადგილობრივი შემავსებლების, შემკვრელი ნივთიერების გამოყენებით საბაზო და დანამატიანი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა;
- 3.დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშების დაყალიბება დატკეპვნის მეთოდით;
- 4.დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცის, წყალშთანთქმის, წყალშეუღწევადობის და ცვეთადობის განსაზღვრა;
- 5.ქვესაგები ფენის დატკეპნის კოეფიციენტის და დრეკადობის მოდულის განსაზღვრა.

არსებობს მრავალი ნაადრევი რღვევის გამომწვევი ფაქტორი, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებენ ბეტონის სტრუქტურაზე. მაგალითად სიმციფე, ფორიანობა, ზედაპირული ბზარები, გარემო ტემპერატურა, წყლის ქიმიური მოქმედება, გამოფიტვა, გაცვეთა და სხვა.

საქართველოში საგზაო ბეტონის მდგრადობის და საექსპლოატაციო მახასიათებლების გაზრდისათვის საჭიროა დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების კვლევა და შესწავლა, რათა შემდგომში მოხდეს მათი დანერგვა საავტომობილო გზებზე მისი ეფექტურობისა და ეკონომიურობის თვალსაზრისით.

### **კვლევის მოსალოდნელი შედეგების სამეცნიერო ღირებულება, პრაქტიკული გამოყენება და კვლევის შედეგების გავრცელების გეგმა**

საქართველოს როგორც ევროპა-აზიის დამაკავშირებელი სატრანსპორტო დერეფნის ფუნქცია მნიშვნელოვნად გაიზარდა, ამიტომ უაღრესად მნიშვნელოვანია მივიღოთ მდგრადი და ეკონომიური საგზაო ინფრასტრუქტურა. საკვლევი თემის განხორციელების შედეგად მივიღეთ მდგრადი დატკეპნილი ბეტონი საავტომობილო გზებისთვის ქიმიური დანამატების გამოყენებით, რომელიც მოგვცემს საგზაო ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესებას და ეკონომიურ ეფექტს საავტომობილო გზების მშენებლობისა და ექსპლოატაციის პროცესში. მოსალოდნელი შედეგები აისახება სამეცნიერო პუბლიკაციებში, სამეცნიერო სემინარებსა და კონფერენციებზე.

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

**პირველ თავში** მოცემულია დატკეპნილი ბეტონების ლიტერატურული მიმოხილვა და მისი გამოყენების ეფექტურობა საავტომობილო გზებზე.

დატკეპნილი ბეტონით საფარის მოწყობა არის ეკონომიური და მისი დაგება წარმოებს სწრაფად. მას ტრადიციულად იყენებენ საფარებისთვის, რომლებმაც უნდა გაუძლოს მძიმე დატვირთვას დაბალი სიჩქარით მოძრავი ტრანსპორტისთვის, მისი შედარებით უხეში ზედაპირის გამო. თუმცა, ბოლო წლებში მისი გამოყენება კომერციულ ტერიტორიებზე, ადგილობრივი ქუჩებისთვის და გზატკეცილებისთვის გაზრდილია.

ქვემოთ ჩამოთვლილია გამოყენების სფეროები:

- სამრეწველო ქარხანის მისასვლელი გზები და პარკირების ადგილები
- ინტერმოდალური გადაზიდვის ეზოები, პორტები და დატვირთვის ნავსადგომები
- სატვირთოს/ტვირთის ტერმინალები, საბითუმო ტვირთის საწყობი და განაწილების ცენტრები
- დაბალი მოცულობის ურბანული და სასოფლო გზები
- თვითმფრინავების პარკირების ადგილები
- სამხედრო გრძელ- ან მოკლევადიანი დატვირთვის ზონები, გადაზიდვის ან გადატანის ბაზები ოპერაციებისთვის და საჰაერო ტრანსპორტის გაჩერების ადგილები
- რეკრეაციული ტრანსპორტის საწყობი
- სატრანსპორტო საშუალებების ტექნიკური მომსახურების ადგილები ან დასაწყობების ადგილები
- დიდი კომერციული პარკინგის ადგილები
- გზები საჯარო პარკებში
- გზები ხე-ტყის მასალის და ხერხვის ოპერაციებისთვის
- გზატკეცილების შესახვევები
- დროებითი სამგზავრო ბილიკები, რომლებიც უნდა აშენდეს სწრაფად საგზაო მოძრაობის მიმართულების შესაცვლელად.
- ტკეპნილი ბეტონის გამოყენება განსხვავდება საბაზო მასალის გამოყენებისგან, ზედაპირის გარეშე, ალმასით გაპრიალებული გზატკეცილის საფარისგან. გამოყენების ტიპი ხშირად გვკარნახობს სიზუსტეს, რომელიც საჭიროა პროექტირებაში და მშენებლობაში.

სატკეპნით დაგებული ბეტონის სხვა უპირატესი მახასიათებლები მოიცავს შემდეგს:

- დატკეპნილ ბეტონში წყლის მასის ნაკლები შემცველობა იწვევს ბეტონის მცირე შეკუმშვას და დაბზარვას, კუმშვისგან გამომდინარე დატვირთვის გამო;

- დატკეპნილი ბეტონი შეიძლება დააგოთ ისე, რომ მიიღოთ ძალიან მტკიცე საფარი, რომელიც იძლევა საშუალებას გაუძლოს მძიმე დატვირთვებს ჩავარდნის გარეშე - როგორცაა მძიმე ინდუსტრიული, სამთო, და სამხედრო დანიშნულების გზები;
- დაბალი შეღწევადობის გამო, სატკეპნით დაგებული ბეტონი უზრუნველყოფს შესანიშნავ გამძლეობას და ამტანობას აგრესიული გარემოს მიმართ, ცივი კლიმატის პირობებშიც კი;
- დატკეპნილ ბეტონს არ უჩნდება ნატეხები და არ საჭიროებს შემდგომ შეკეთებას, გარდა იმ ადგილებისა სადაც მუშაობს მძიმე მუხლუხებიანი ტექნიკა ან საბურღები;
- მრეწველობაში გამოყენებისთვის - როგორცაა ნაგავსაყრელები, ხის გადამუშავების ობიექტები და ავზების სადებები - დრო და ხარჯები, რომლებიც უკავშირდება ერთობლივ ტექნიკურ მომსახურებას, შესაძლებელია თავიდან იქნეს აცილებული ვინაიდან როგორც წესი არ არის საჭირო დეფორმაციული ნაკერები;
- დატკეპნილი ბეტონი უზრუნველყოფს ავარიული გარემოს და ბზარების მიმართ გამძლეობას ინდივიდუალურ ადგილებში, სადაც ადგილი აქვს წერტილოვან დატვირთვას მისაბმელიანი მანქანებით;
- დატკეპნილი ბეტონის საფარი ამტანია ცვეთადობის მიმართ, სტანდარტული ბეტონის საფარის მსგავსად, მძიმე დატვირთვის და დიდი ოდენობის მოძრაობის დროსაც კი;
- დატკეპნილი ბეტონის საფარების ღია ფერის ზედაპირის გამო, მცირდება განათების მოთხოვნები პარკირების და სასაწყობე ტერიტორიებზე;
- გამვლელ მსუბუქ სატრანსპორტო საშუალებებს, როგორცაა მანქანები და მსუბუქი სატვირთოები, შეუძლიათ გადაადგილდნენ ძალიან დაბალი სიჩქარით სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარზე დამთავრებიდან მალევე, მისი დაზიანების გარეშე;
- წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები, რომლებიც არ გამოდგება ასფალტის საფარებისთვის, შეიძლება გამოყენებულ იქნას დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოსაწყობად;



- ნარევიდან გამომდინარე, მაღალი სიმკვრივის საფარების გამოყენებისას, დატკეპნილი ბეტონი შეიძლება დაიგოს (25.0 სმ) სისქის ფენებად;
- დატკეპნილი ბეტონის საფარს აქვს მზის არეკვლის მაჩვენებელი (SRI), რომელიც აღემატება მინიმუმ 29-ს, რომელიც მოითხოვება ენერგო და გარემოს დაცვის პროექტირების მართვაში (LEED), LEED კრედიტის 7 შესაბამისად: „სითბოს კუნძულის ეფექტი“ (დამატებითი ინფორმაციისთვის, იხ. <http://www.usgbc.org>);
- დატკეპნილი ბეტონის ყინვა-მედეგობის პატამეტრები მაღალია, წყლით გაჯერების გამოყენების შემთხვევაშიც კი. ათწლეულების მანძილზე, სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარები ცივ რეგიონებში კანადაში და ჩრდილოეთ შეერთებულ შტატებში ავლენდნენ შესანიშნავ გამძლეობას გაყინვა-გალღობაზე;

*მეორე თავში* წარმოდგენილია დატკეპნილი ბეტონის საფარის ზოგადი გამოყენება

დატკეპნილი ბეტონის გამოყენება განსხვავდება ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონის გამოყენებისგან, ზედაპირის გარეშე, ალმასით გაპრიალებული გზატკეცილის საფარისგან. გამოყენების ტიპი ხშირად გვკარნახობს სიზუსტეს, რომელიც საჭიროა პროექტირებაში და მშენებლობაში.

**2.1 პორტები, ინტერმოდალური ობიექტები და მძიმე სამრეწველო ობიექტები.** პორტებში და სხვა მძიმე სამრეწველო ობიექტებზე საფარები უნდა იყოს ძლიერი და გამძლე, იმიტომ რომ კონტეინერის გადასატან ტექნიკას შეიძლება ჰქონდეს დატვირთვა (14,0-დან 27,0-მდე ტ/კვ/მ) ან მეტი ერთ საბურავზე. იქ სადაც სასურველი სისქე (25.0 სმ) მეტია, საჭიროა ორი ფენა.

**2.2 მსუბუქი სამრეწველო ტერიტორიები** მძიმე სამრეწველო ტერიტორიების მსგავსად, მსუბუქი სამრეწველო ტერიტორიები, როგორცაა სასაწყობო ობიექტები და ავტომატური საწარმოო ობიექტები, წარმოადგენს დიდ უწყვეტ ტერიტორიებს, რომლებიც იდეალურია სატკეპნით დაგებული ბეტონისთვის. ამ მიზნით გამოყენებისთვის, მოძრაობის სიჩქარე როგორც წესი (45,0 კმ/სთ) ნაკლებია. ამასთანავე, არ არის საჭირო ზედაპირის დამუშავება. ტრანსპორტის მოძრაობის

დატვირთვა ნაკლებია ვიდრე პორტებში და სხვა მძიმე ტექნიკის მუშაობის ობიექტებზე; ამასთანავე, იშვიათად გამოიყენება მრავალშრიანი კონსტრუქცია. მისასვლელი გზები სამრეწველო კომპლექსებში წარმოადგენს დატკეპნილი ბეტონის კიდევ ერთ გამოყენებას.

**2.3 აეროპორტის მომსახურება** აეროპორტები როგორც წესი იყენებენ იდეალური ზედაპირის გარეშე დატკეპნილი ბეტონის საფარს ტექნიკური მომსახურების ტერიტორიებისთვის, პარკირების ადგილებისთვის და თოვლის დაგროვების ადგილებისთვის. საფარმა უნდა გაუძლოს დიდ დატვირთვას, როგორცაა თოვლის გაწმენდა და მძიმე სატვირთოების მოძრაობა თოვლის გაწმენდისას. ამასთანავე, დატკეპნილი ბეტონის საფარი არ დაირღვევა თოვლის დნობით გამოწვეულ ტენიანობის პირობებში.

**2.4 მაგისტრალური ქუჩები** მაგისტრალური ქუჩების დაგებისას საგზაო მოძრაობას ყოველთვის ძირითადი ყურადღება ეთმობა. საგზაო მოძრაობის შეზღუდვებისა და მრავალშრიანი ასფალტის დაგებისთვის საჭირო დროის გამო, ზოგიერთი კომპანია არჩევს სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარს მაგისტრალური გზებისთვის. სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარის დაგება შესაძლებელია სწრაფად, პროექტის და მომხმარებლის ხარჯების დაზოგვით.

**2.5 ადგილობრივი ქუჩები** მშენებლობის სიჩქარე, ეკონომიურობა და საგზაო მოძრაობის შეუფერხებლობა მთავარი მიზეზებია ტკეპნილი ბეტონის დაგების გამოყენებისთვის, ქუჩებში და ადგილობრივ გზებზე. ამასთანავე, ბეტონის სატკეპნით დაგება ახალი საცხოვრებელი უბნებისთვის უზრუნველყოფს ძლიერ სამუშაო პლატფორმას ობიექტზე მუშაობისა და მშენებლობის დროს. ზედაპირების დამუშავება შესაძლებელია როდესაც სამუშაო დასასრულს უახლოვდება.

*მესამე თავში* განხილულია დატკეპნილი ბეტონის მახასიათებლები და მასალები.

დატკეპნილი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, როგორცაა, სიმტკიცე - დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუშვისას, სტანდარტულ ბეტონთან შედარებით როგორც წესი მერყეობს 28-დან 41 მპა-მდე. ზოგიერთი პროექტი აღწევს

48 მპა-ზე მეტ სიმტკიცეს კუმშვაზე; თუმცა, პრაქტიკული და სამშენებლო ხარჯების გათვალისწინებით შესაძლებელია მოთხოვნილი იყოს საფარის მეტი სისქე.

დატკეპნილი ბეტონი შეიცავს იგივე ძირითად მასალებს, რასაც სტანდარტული ბეტონი - მსხვილმარცვლოვანი და წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები, (ქვიშა, ნაცარი, ღორღი), შემკვრელი მასალები (პორტლანცემენტი და მისი ნაირსახეობა), წყალი, ქიმიური დანამატები - თუმცა ისინი გამოიყენება სხვადასხვა პროპორციებით. დატკეპნილ ბეტონში გამოყენებული მასალების ფასი ზოგადად სტანდარტული ბეტონისაზე დაბალია. ტკეპნილ ბეტონს როგორც წესი ცემენტის ნაკლები შემცველობა აქვს სტანდარტულ ბეტონთან შედარებით. ცემენტის დაბალი შემცველობა მასალების თანხების დანაზოგს განაპირობებს.

მასალების სწორად შერჩევა მნიშვნელოვანია დატკეპნილი ბეტონის ნარევებისთვის. ნარევების რეცეპტების ცოდნა სამშენებლო მოთხოვნებთან და სპეციფიკაციებთან ერთად მნიშვნელოვანია იმისთვის, რომ დატკეპნილმა ბეტონმა დააკმაყოფილოს პროექტირების და დაგების შედეგები.

დანამატების შერჩევა ძირითადად მოიცავს დანამატების განსაზღვრული რაოდენობების და ტიპების ეფექტურობას, რომლებიც გამოყენებულ უნდა იქნეს ნარევეში. ქიმიური ნივთიერებების დანამატები რომლებიც ჩვეულებრივ გამოიყენება სტანდარტულ ბეტონში - როგორცაა წყლის ხარჯის შემცირება, წყლის შეკავება, გამაგრების დაჩქარება და ადგილის გაზრდა - შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას სატკეპნით დაგებულ ბეტონში.

*მოთხე თავში* მოცემულია ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების თეორიული კვლევა. დატკეპნილი ბეტონის ნარევის პროპორციები ხარისხიანი დატკეპნილი ბეტონის ნარევის მისაღებად. მასალების შერჩევასთან ერთად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მასალების სწორ პროპორციებს. ნარევის შექმნის პროცესში ჩატარდა ლაბორატორიული ცდები და გამოყენებულ იქნა სამეცნიერო და სისტემური მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს სასურველ საიჟინრო გადაწყვეტებს, სამშენებლო მოთხოვნებს და ეკონომიას.

*მეხუთე თავში* განვიხილავთ ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების ექსპერიმენტალურ კვლევას.

ბეტონის საფარის სატკეპნით დაგება როგორც წესი მოიცავს შემდეგ პროცესებს: დოზირება და შერევა; პირველი ფენის და ქვედა ფენის მომზადება; ტრანსპორტირება; დაგება; დატკეპვნა; ნაკერების მოწყობა; გასწორება და დაცვა.

პირველი ფენა უნდა დაიტკეპნოს ერთგვაროვნად მაქსიმალური სიმკვრივის სულ მცირე 95 პროცენტამდე, სტანდარტის ASTM D1557 შესაბამისად. პირველი ფენა, ქვედა ფენა და ძირითადი რიგი დატკეპნილი ბეტონის საფარისთვის უნდა უძლებდეს და საკმარისად მტკიცე იყოს რათა შევძლოთ დაგებული ბეტონის საფარის დატკეპვნა. სანამ დატკეპნილი ბეტონის დამუშავება დაიწყება, დასაგები ტერიტორია უნდა დაიყოს სეგმენტებად და ფორმა მიეცეს გეგმებში ნაჩვენებ ხაზებად და დონეებად ან ინჟინრის მიერ მითითების შესაბამისად. საფარის დაგების პროცესის დროს, ნებისმიერი გამოუსადეგარი ნიადაგი ან მასალა უნდა გავიტანოთ და ჩავანაცვლოთ ხარისხიანი მასალით.

ქვედა ფენა ხშირად გამოიყენება საფარის უკანა ნაწილიდან წყლის დასაწრეტად და ბეტონის წყილს წყლით გაჟღენთვის თავიდან ასაცილებლად ადგილებში, სადაც საფარის ფსკერი ექვემდებარება ცივი დანით ციკლირებას.

დატკეპნილი ბეტონის დაგებისას დატკეპვნის ეტაპი მნიშვნელოვანია ბეტონის საფარის სიმკვრივისთვის, სიმტკიცისთვის, გამტარიანობისთვის და ზედაპირის სისწორისთვის, მისი ძლიერი გავლენის გამო. დატკეპნილი ბეტონი როგორც წესი იტკეპნება 10 ტონიანი ორმაგდოლურიანი ვიბრატორული სატკეპნით, დაგებისთანავე. რეზინის ბორბლებიანი სატკეპნები ასევე წარმატებით გამოიყენება, განსაკუთრებით საბოლოო გადატარებისთვის, ზედაპირის ბზარების და ხარვეზების მოსაშორებლად და სწორი, მკვრივი ზედაპირის მისაღებად. ფოლადის ერთდოლურიანი ვიბრაციული სატკეპნების კომბინაცია უკან დაკიდულ მრავალსაბურავიანთან უპირატესია ორივე ტიპის სატკეპნებისთვის.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში ჩატარდა ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების (წვრილი შემვსები: 4.75 –0.075 მმ ფრაქციის; მსხვილი შემვსები ღორღი:

37.5 – 4.75 მმ ფრაქციის) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ლაბორატორიული ანალიზი.

საქართველოში ადგილობრივი ინერტული მასალების ბაზაზე, შესაძლებელია მივიღოთ მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონი. ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებულ იქნა იმირის კარიერის ინერტული მასალები, კვარცის ქვიშა, ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნის ღუმელებში გამოყენებული ქვანახშირის ნაცარი, ამავე ქარხნის საკვამლე მილებში დაგროვილი მტვერი და უცხოური წარმოების მიკროსილიკა.

შემკვრელის სახეობაა: „ჰაიდელბერგცემენტის“ წარმოების პორტლანდცემენტი 500მ, რომელსაც ფართოდ იყენებენ მშენებლობაში. მას ღებულობენ წმინდად დაფქული კლინკერისა და 3-5 % თაბაშირის ნარევისაგან. აგრეთვე უმატებენ აქტიურ მინერალურ ნივთიერებებს. პორტლანდცემენტის უმნიშვნელოვანესი თვისებებია: სიმტკიცის გაზრდა გამყარებისას, წყალმედევობა, ყინვამედევობა და სხვა.

ასევე ამზადებენ პორტლანდცემენტის სხვადასხვა სახეობებს: სწარაფადმყარებადს, პლასტიფიცირებულს, ჰიდროფობურს, სულფატმედევს, პუცოლანიანს, წიდაპორტლანდცემენტს, თეთრს, ფერადს და სხვა. მათი მარკებია: M300, M400, M500 და M600.

ჩვენს შემთხვევაში დანამატად გამოვიყენეთ მიკროსილიკა. აქვე მოგვყავს დანამატის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები:

#### **მიკროსილიკას ტექნოლოგია:**

სილიკა წარმოადგენს ძალიან წვრილ ბუშტის მაგვარ ამორფულ კაჟმიწის ნაწილაკებს, რომლის საშუალო ხვედრითი ზედაპირია 20კვმ/გრ გრანულომეტრიული ზომა 0,1მიკრონი. იყენებენ სილიკის მტვერსაც. ანუ ფხვნილისებრი წვრილად დაფქვილი დომენის წიდა. სილიკა არის ერთ-ერთი ეფექტური ქიმიკატი ბეტონის ჰიდროიზოლაციის და დაცვისთვის. სილიკას მთავარი და ყველაზე აღსანიშნავი მოქმედების თვისებაა მისი უნიკალური შესაძლებლობა წარმოქმნას არაგადამუშავებადი კრისტალის ფორმაცია, ბეტონის ფორებსა და კაპილარების

სიღრმეში. ბეტონში წარმოიქმნება კრისტალური სტრუქტურა, რომელიც ლუქავს ბეტონს ყველანაირი წყლისა და სითხის შეღწევისაგან.

ჩატარდა ამ სფეროში არსებული მდგომარეობის კვლევები და ანალიზი. პროექტის მთავარ მიზანს წარმოადგენს ისეთი თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონის შექმნა, რომელიც წარმატებით იქნება გამოყენებული საავტომობილო გზების საფარის მოწყობაში. მოძიებული იქნა და კრიტიკულად გაანალიზდა აშშ არმიის ინჟინერთა კორპუსის ნორმატული დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონის შესახებ - „Roller-Compacted concrete”, Engineering and Design. U.S. Army Corps of Engineers, DC 20314-1000, Manual No. 1110-2-2006. ეს დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონების შესახებ ყველაზე ავტორიტეტულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მასშტაბით. მასში გაანალიზებულია მსოფლიოში სხვადასხვა პერიოდში გამოყენებული (მათ შორის კაშხლებში, საავტომობილო გზებში), დატკეპნილი ბეტონების მრავალფეროვანი შემადგენლობები (რეცეპტები), რომლის საფუძველზეც შემოთავაზებულია თანამედროვე რეცეპტების შექმნის სქემა. გავითვალისწინეთ რა საქართველოში ხელმისაწვდომი ადგილობრივი წარმოების შემკვრელების და შემავსებლების არსებობა, ჩვენ მიერ დასახულ გეგმაში შეტანილი იქნა ხსენებული ნორმატიული დოკუმენტთან შედარებით რეცეპტის შექმნის ახლებური მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს მიკროსილიკის დამატებას ცემენტის მასიდან 5-10%-ს ან ნაცრის მტვრის გარკვეული რაოდენობის ჩანაცვლებით.

### ***5.8. დატკეპნილი ბეტონის დამზადების ტექნოლოგიის შემუშავება და***

#### ***ოპტიმალური ნარევის მიღება***

ჩატარდა ამ სფეროში არსებული მდგომარეობის კვლევები და ანალიზი. პროექტის მთავარ მიზანს წარმოადგენდა ისეთი თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონის შექმნა, რომელიც წარმატებით იქნება გამოყენებული საავტომობილო გზების საფარის მოწყობაში. მოძიებული იქნა და კრიტიკულად გაანალიზდა აშშ არმიის ინჟინერთა კორპუსის ნორმატული დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონის შესახებ - „Roller-Compacted concrete”, Engineering and Design. U.S. Army Corps of Engineers, DC 20314-1000, Manual No. 1110-2-2006. ეს დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონების შესახებ ყველაზე ავტორიტეტულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მასშტაბით. მასში

განალიზებულია მსოფლიოში სხვადასხვა პერიოდში გამოყენებული (მათ შორის კაშხლებში, საავტომობილო გზებში), დატკეპნილი ბეტონების მრავალფეროვანი შემადგენლობები (რეცეპტები), რომლის საფუძველზეც შემოთავაზებულია თანამედროვე რეცეპტების შექმნის სქემა. გავითვალისწინეთ რა საქართველოში ხელმისაწვდომი ადგილობრივი წარმოების შემკვრელების და შემავსებლების არსებობა, ჩვენ მიერ დასახულ გეგმაში შეტანილი იქნა ხსენებული ნორმატიული დოკუმენტთან შედარებით რეცეპტის შექმნის ახლებური მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს მიკროსილიკის დამატებას ცემენტის ან ნაცრის მტვრის გარკვეული რაოდენობის ჩანაცვლებით.

საბაზო ბეტონის ნარევის რეცეპტი

ცხრილი 21

საბაზო ბეტონის ნარევის რეცეპტი	მოცულობა, გ <sup>3</sup>	სიმკვრივე, გრ/სმ <sup>3</sup>	წონა	
			ტ	კგ
ცემენტი, კგ	0.0329	3.15	0.1036	103.63
ნაცარი, კგ	0.022	2.26	0.0497	49.72
წყალი, მლ	0.107	1.0	0.107	107
ღორღი 37.5-19.0 მმ, კგ	0.143	2.77	0.3961	396.11
ღორღი 19.0-4.75 მმ, კგ	0.186	2.76	0.5133	513.36
ქვიშა 4.75-1.18 მმ, კგ	0.249	2.77	0.6897	689.73
ქვიშა 0.15 მმ, კგ	0.0351	2.77	0.0972	97.227
შემავსებლების მოცულობითი მასა, მ <sup>3</sup>	0.8321	-	-	-

შენიშვნა: რეცეპტი დაანგარიშებულია მშრალ ინერტულ მასალებზე

სილიკას დამატება ცემენტის 5%

ცხრილი 22

საბაზო ბეტონის ნარევის რეცეპტი	მოცულობა, გ <sup>3</sup>	სიმკვრივე, გრ/სმ <sup>3</sup>	წონა	
			ტ	კგ
ცემენტი, კგ	0.0313	3.15	0.0985	98.59
სილიკა, კგ	0.0016	2.22	0.0035	3.552

ნაცარი, კგ	0.022	2.26	0.0497	49.72
წყალი, მლ	0.107	1.0	0.107	107
ღორღი 75-37.5 მმ, კგ	0.219	2.79	0.6110	611.01
ღორღი 37.5-19.0 მმ, კგ	0.143	2.77	0.3961	396.11
ღორღი 19.0-4.75 მმ, კგ	0.186	2.76	0.5133	513.36
ქვიშა 4.75-1.18 მმ, კგ	0.249	2.77	0.6897	689.73
ქვიშა 0.075 მმ, კგ	0.0351	2.77	0.0972	97.227
შემავსებლების მოცულობითი მასა, მ <sup>3</sup>	0.8321	-	-	-

**პროცესის აღწერა:** ბეტონის ნიმუშებს გამოცდამდე ერთი დღე-ღამით ადრე გამოვიღეთ გასაორთქლი კამერიდან და ვაყოვნებთ ჩვეულებრივ ლაბორატორიულ პირობებში გასაშრობად. კუმშვაზე გამოსაცდელად ნიმუშებს ათავსებენ ჰიდრავლიკურ წნეხში ცენტრალურ ადგილზე. წნეხში შეჰყავთ მონაცემები (ნიმუშის დასახელება, ზომები, ასაკი) და ახდენენ დატვირთვის ზემოქმედებას ( $0.6 \pm 0.4$  მპა/წმ) მანამ, სანამ ბეტონის სტრუქტურა არ დაიწყებს რღვევას. გამოსაცდელ ნიმუშებს შორის დრო არ უნდა იყოს 30 წმ-ზე მეტი. წნეხი ავტომატურად საზღვრავს მრღვევ ძალას P (კნ) და სიმტკიცეს კუმშვისას  $R_{კომ}=P/F$  (მპა) სიზუსტით 0.1 მპა, სადაც ნიმუშის განივკვეთის ფართობია F (სმ<sup>2</sup>).

მიღებული შედეგები შეიტანება ცხრილში



საბაზო დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას, კლასის დადგენა															
№	დამზადების თარიღი	ნომერი	ასაკი	კონუსის	ჰერმეციფიკაცია, %	ზომები	ფართობი, S სმ²	მოცულობა,	მასა, M გ	სიმკვრივე,	ნომურის სერიის	მრღვევი	სიმტკიცე,	სიმტკიცე, კგმ/სმ²	ნომურის სერიის საშუალო სიმტკიცე მზა/კგმ.სმ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	10.02.2017	1	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12231	2,308	2.342	648,12	36,7	373,97	35,07/357,41
2	10.02.2017	2	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12781	2,412		609,27	34,5	351,55	
3	10.02.2017	3	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12301	2,321		586,31	33,2	338,30	
4	10.02.2017	4	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12344	2,329		633,99	35,9	365,82	

დანამატანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე

კუმზვისას, კლასის დადგენა ცხრილი 24.

დანამატანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუმზვისას, კლასის დადგენა															
№	დამზადების თარიღი	ნიმუში	ასაკი	კონუსის დიამეტრი	ჰაერშემცველობა, %	ზომები	ფართობი, S სმ <sup>2</sup>	მოცულობა, V სმ <sup>3</sup>	მასა, M გ	სიმკვრივე	ნიმუშის სერიის საშუალო სიმკვრივე	მრღვევი	სიმტკიცე, მპა	სიმტკიცე კგმ/სმ <sup>2</sup>	ნიმუშის სერიის საშუალო სიმტკიცე მპა/კგმ.სმ <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	10.02.2017	1	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12799	2.415	2.350	708,16	40,1	409,63	39,5/402,75
2	10.02.2017	2	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12381	2.336		694,03	39,3	400,46	
3	10.02.2017	3	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12299	2.321		404,54	39,7	404,54	
4	10.02.2017	4	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12344	2.329		686,97	38,9	396,39	

**ცდის აღწერის პროცედურა:** ნიმუშები გამკვრივების შემდეგ დაყოვნებული იქნა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში ლაბორატორიის სარეჟიმო ოთახში ( $20\pm 2$ ) ტემპერატურაზე, რის შემდეგაც მოხდა ნიმუშების გასუფთავება, პარაფინით დამუშავება და მათი წყალშეუღწევადობის გამოსაცდელ სპეციალურ სტენდზე STZHSJ-4 გამოცდა. ერთდროულად სტენდზე მოთავსებული იქნა 6 ნიმუში. ნიმუშების ქვედა ზედაპირზე სპეციალური აპარატის საშუალებით განხორციელდა წყლის მიწოდება, საწყისი დაწნევით 0.1 მპა. დაწნევის მომატება ხდებოდა ავტომატურად 0.1 მპა ყოველ 8 საათის შემდეგ.

მიღებული შედეგები შეტანილ იქნა საგამოცდო ოქმში №2.

**საბაზო დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშებში წყალშეუღწევადობის  
განსაზღვრა**

ცხრილი №25

ბეტონის საპროექტო მარკა W5				
№	ნიმუშის სიმაღლე, h×d მმ	წყლის მაქსიმალური დაწნევა,მპა	დაწნევის ხანგრძლივობა წთ, სთ	წყალშეუღწევადობა, მმ
1	2	3	4	5
1	სიმაღლე 170.00  ზედა შიდა დიამეტრი 174.00  ქვედა შიდა დიამეტრი 185.00	0.500	8 სთ	ნიმუში №1 - 8
2		0.500	8 სთ	ნიმუში №2 - 9
3		0.500	8 სთ	ნიმუში №3 - 8
4		0.500	8 სთ	ნიმუში №4 - 7
5		0.500	8 სთ	ნიმუში №5 - 8
6		0.500	8 სთ	ნიმუში №6 - 5

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

ჩვენ შემთხვევაში, წყლის გამოჟონვა დაფიქსირდა  $W=0.600-0.100\text{მპა}=0.500\text{მპა}$ . აქედან გამომდინარე დადგინდა, რომ საბაზო ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი  $W=5$ -ს.

**დანამატანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი  
 ბეტონის ნიმუშებში წყალშეუღწევადობის განსაზღვრა**

ცხრილი №26

ბეტონის საპროექტო მარკა W8				
№	ნიმუშის სიმაღლე, h×d მმ	წყლის მაქსიმალური დაწნევა, მპა	დაწნევის ხანგრძლივობა წთ, სთ	წყალშეუღწევადობა, მმ
1	2	3	4	5
1	სიმაღლე 170.00 ზედა შიდა დიამეტრი 174.00 ქვედა შიდა დიამეტრი 185.00	0.800	8 სთ	ნიმუში №1 - 5
2		0.800	8 სთ	ნიმუში №2 - 6
3		0.800	8 სთ	ნიმუში №3 - 6
4		0.800	8 სთ	ნიმუში №4 - 5
5		0.800	8 სთ	ნიმუში №5 - 4
6		0.800	8 სთ	ნიმუში №6 - 5

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

ჩვენ შემთხვევაში, წყლის გამოჟონვა დაფიქსირდა  $W=0.900-0.100$  მპა= $0.800$  მპა. აქედან გამომდინარე დადგინდა, რომ დანამატიანი (მიკროსილიკა ცემენტის მასის 5%) ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი  $W=8$ .

**მეექვსე თავში** განხილულია საკვლევი თემის პრაქტიკული გამოყენება და დანერგვა.

შპს „ახალ გზა“-თან კოლაბორაციის პერიოდში ქ. ბათუმში მესხეთის ქუჩის კეთილმოწყობის პროექტით გათვალისწინებული იყო  $5600$  მ<sup>2</sup> საერთო ფართობით, გზის მონაკვეთის მოწყობა  $16$  სმ სისქის ტკეპნილი ბეტონის საფარით. აღნიშნული თანამედროვე მეთოდით გზის საფარის მოწყობა ითვალისწინებს ფუძის გრუნტის სტაბილიზაციას  $30$  სმ სიღრმეზე ცემენტის (5%) და ნაცარის (15%) დამატებით და საფუძვლის მოწყობას  $0-40$  ფრაქციული ღორღით (სისქით  $20$  სმ).

მოწყობილი ზედა ფენის ტესტირება შესრულებულია ZFG 3000 მარკის დინამიკური დეფლექტორის გამოყენებით. ტესტირების შედეგები მოყვანილია ცხრილებში. მიღებული შედეგების თანახმად მოწყობილი დინამიკური დეფორმაციის მოდული იცვლება დიაპაზონში  $E_{vd}=(58-65)$  მპა, ხოლო სტატიკური დეფორმაციის მოდული -  $E_{v2}=(115-130)$  მპა, აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს ( $100$  მპა) და აკმაყოფილებს ევროპული სტანდარტის (TP BF-STB Part B, პ 8.3) მოთხოვნებს.

დადგენილი იქნა, ქ. ბათუმში მესხეთის ქუჩის კეთილმოწყობის პროექტით გათვალისწინებული გზის, ტკეპნილი ბეტონის საფარის სისქე და მისი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები. გზის საფარიდან ამოიზურდა სამი ცილინდრული ნიმუში, „HUSQVARNA“-ს ფირმის „DM 230“ მოდელის სპეციალური ბურღის გამოყენებით (სურათი 7).



სურ.6.1 ნიმუშების ამოზურღვა საექსპერიმენტო გზის საფარიდან

ამოზურღული ნიმუშების სიმაღლეები იცვლება დიაპაზონში  $17 \div 21$  სმ. რაც აღემატება მის საპროექტო სისქეს 16 სმ-ს.

ტკეპნილი ბეტონის სიმტკიცის დასადგენად კუმშვაზე, ადგილზე გამოყენებული იქნა ურღვევი კონტროლის მეთოდი „proceq“-ის ფირმის „silver schmidt“ სკლერომეტრის გამოყენებით (სურათი 8).

ურღვევი კონტროლის შედეგად მიღებული მონაცემები მოყვანილია შესაბამის ცხრილში მიღებული შედეგებიდან ჩანს რომ სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე იცვლება დიაპაზონში  $25 \div 32$  მპა. გასათვალისწინებელია, რომ ანათვლები აღებულია 5 დღის ასაკის ბეტონზე, აღნიშნული ბეტონი 28-ე დღეს აჭარბებს მის საპროექტო მაჩვენებელს  $32,7$  მპა-ს (B 25).



სურ. 6.2 სიმტკიცის დადგენა ურღვევი კონტროლის მეთოდით

დატკეპნილი ბეტონის გზის საფარის საშუალო სიმტკიცის დასადგენად კუმშვაზე გამოცდილი იქნა როგორც გზის საფარიდან ამოღებული ცილინდრული ნიმუშები, ასევე გზის საფარის მოწყობის პროცესში დაყალიბებული ცილინდრული ნიმუშები



სურ. 6.3 გზის საფარიდან ამოღებული ცილინდრული ნიმუშები



სურ. 6.4. ლაბორატორიაში დამზადებული დატკეპნილი ცილინდრული ნიმუშები

ნიმუშები დაყალიბება განხორციელდა 5-5 სანტიმეტრიან ფენებად, თითოეული ფენის ჩატკეპვით, „ROLLER-COMPACTED CONCRETE“ საერთაშორისო დოკუმენტის სრული წესების დაცვით.

ნიმუშები გადმოტანილი იქნა სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო, საგამოცდო ლაბორატორიაში და გამოცდილი იქნა STYE-2000C მარკის წნეხის გამოყენებით.

ამობურღული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიღებული საშუალო სიმტკიცე ტოლია 42.9 მპა, ხოლო დაყალიბებული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიღებული საშუალო სიმტკიცე ტოლია 42.1 მპა.

მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ ჩვენ მიერ შემუშავებული რეცეპტი და მისი პრაქტიკული გამოყენება იყო მიზანშეწონილი და ორივე შემთხვევაში მიღებული შედეგები აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს 32,7 მპა ( B 25).



ქ. ბათუმში, მესხეთის ქუჩაზე, საველე პირობებში უშუალოდ ობიექტზე მოპოვებული მასალების და მათი ლაბორატორიაში გამოცდით მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთებული იქნას შემდეგი დასკვნები:

1. ფუძის გრუნტის სტაბილიზაციის შედეგად მიღებული სტატიკური დეფორმაციის მოდული- Ev2 იცვლება დიაპაზონში 115÷130 მპა, აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს (100 მპა) და აკმაყოფილებს ევროპული სტანდარტის (TP BF-STB Part B, პ 8.3) მოთხოვნებს.
2. ტკეპნილი ბეტონის გზის საფარიდან ამობურღული ნიმუშების სიმაღლეები იცვლება დიაპაზონში 17 ÷ 21 სმ და აღემატება პროექტით გათვალისწინებულ გზის საფარის სისქეს 16 სმ.
3. როგორც ტკეპნილი ბეტონის გზის საფარიდან ამობურღული ნიმუშების საშუალო სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე 42.9 მპა, ასევე საფარის მოწყობის პროცესში დაყალიბებული ცილინდრული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიღებული საშუალო სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე 42.1 მპა, აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს 32.7 მპა (B 25).

*მეშვიდე თავში* მოცემულია საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშების ცვეთამდეგობის განსაზღვრა.

ჩვენს მიერ დადგენილი იქნა საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ცვეთამდეგობის კოეფიციენტი. ნიმუშების ცვეთამდეგობა განისაზღვრა EN 1338 (ბეტონის ბლოკები ქვაფენილებისათვის, მოთხოვნები და გამოცდის მეთოდები. დანართი H, ცვეთამდეგობის განსაზღვრა ბიომეს აპარატის ტესტით) სტანდარტის საფუძველზე. გამოცდისათვის გამოყენებული იქნა: ბიომეს ცვეთის აპარატი, ფირმა Matest, მოდელი C 129; ვენტილირებადი საშრობი ლუმელი, Controls, მოდელი 10- D1397 და ელექტრული სასწორი CUW220H, დანაყოფის ფასი 10 მგ, მაქს. დატვირთვა 2200 გრ. თავდაპირველად განხორციელდა ნიმუშების დაჭრა 7\*7სმ ზომის კუბებად

ლაბორატორიის პირობებში, DEWALT-ის სპეციალურ საჭრელ დაზგაზე (იხ. სურათები 1 და 2), ხოლო დაჭრის შემდეგ უსწორმასწორო ზედაპირების გლუვად დამუშავება მოხდა CONTROLS GRINDING MACHINE 55-C0221/B3 დანადგარზე.

EN 1338-ის ცხრილი 5-ს მიხედვით, თუ 5 000 მმ<sup>2</sup>-ზე მოცულობის დანაკარგი <18 000 მმ<sup>3</sup>-ზე, საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშები მიეკუთვნება ბეტონის ცვეთამედეგობის უმაღლეს კლასს 4, მარკით I, რასაც აკმაყოფილებს წარმოდგენილი ბეტონი.

*მერვე თავში წარმოდგენილია ძირითადი დასკვნები:*

1. სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია საქართველოში საავტომობილო გზების მშენებლობაში დატკეპნილი ბეტონების გამოყენების პერსპექტივა და ამ უაღრესად პროგრესული მეთოდის დანერგვისათვის აუცილებელი კვლევის შედეგები;
2. გამოკვლევების აქტუალობა განპირობებულია დატკეპნილი ბეტონებით მოწყობილი საავტომობილო გზების მაღალი საექსპლოატაციო მაჩვენებლებით, მოწყობის სიმარტივით და ამ მეთოდით მოწყობილი გზების ხანგრძლივი საექსპლოატაციო ვარგისიანობით;
3. ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებულ იქნა იმირის კარიერის ინერტული მასალები, კვარცის ქვიშა, ქ.ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნის ღუმელებში გამოყენებული ქვანახშირის ნაცარი, ამავე ქარხნის საკვამლე მილებში დაგროვილი მტვერი, ტყიბულის ქვანახშირის ნაცარი და უცხოური წარმოების მიკროსილიკა. გამოკვლეული და შესწავლილი იქნა ადგილობრივი ინერტული მასალების (ქვიშა 0.15÷4.75 მმ ფრაქციის; ღორღი 4.75÷37.5 მმ ფრაქციის) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და მათი გამოყენების პერსპექტივა დატკეპნილი ბეტონების მომზადების პროცესში;

4. ლიტერატურაში არსებული რეკომენდაციების საფუძველზე შერჩეული იქნა დატკეპნილი ბეტონის ნარევისთვის ცემენტის (Heidelbergcement, CEM II/B-P 32.5 N). კვლევის შედეგად პორტლანდცემენტის სიმკიცემ კუმშვაზე 28-ე დღეს შეადგინა 424.66 კგ/სმ<sup>2</sup>;
5. შერჩეული მასალების გამოყენებით დამუშავებული იქნა დატკეპნილი ბეტონის ნარევის შემადგენლობა და დამზადებული იქნა შესაბამისი ნიმუშები;
6. სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში ბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე ჩატარებულმა ცდებმა დაგვანახა, რომ დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე მეტია საბაზო ბეტონის სიმტკიცესთან შედარებით, კერძოდ, საბაზო ბეტონის სიმტკიცემ 28-ე დღეს შეადგინა 35,07 (მპა) 357,41 (კგ/სმ<sup>2</sup>), ხოლო დანამატიანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცემ 28-ე დღეს 39,5 (მპა) 402,75 (კგ/სმ<sup>2</sup>). სავარაუდოდ, დანამატიან ბეტონის სიმტკიცის მატების მიზეზი ბეტონის სტრუქტურის ერთგვაროვნებაა, რაც გამოწვეულია მიკროსილიკატური დანამატის მიერ ფორებისა და მიკრობზარების კრისტალიზაციით ამოვსების შედეგად;
7. დატკეპნილი ბეტონის წყალშეუღწევადობაზე გამოცდის შედეგად დადგინდა, რომ საბაზო ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი  $W=5$ , ხოლო დანამატიანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი  $W=8$ , რაც გამოწვეულია მიკროსილიკას დამატებით. მიკროსილიკა არის ერთ-ერთი ეფექტური ქიმიკატი ბეტონის ჰიდროიზოლაციის და დაცვისთვის. მიკროსილიკას მთავარი და ყველაზე აღსანიშნავი მოქმედებისთვისებაა მისი უნიკალური შესაძლებლობა წარმოქმნას არაგადამუშავებადი კრისტალის ფორმაცია, ბეტონის ფორებსა და

კაპილარების სიღრმეში. ბეტონში წარმოიქმნება კრისტალური სტრუქტურა, რომელიც ლუქავს ბეტონს ყველანაირი წყლისა და სითხის შეღწევისაგან.

8. იმისათვის, რომ ბეტონი გახდეს მაღალი წყალშეუღწევადობის, მიკროსილიკა როგორც აქტიური ქიმიკატი უნდა გახდეს ბეტონის მასის განუყოფელი ნაწილი. ბეტონი ფორიანი (კაპილარული სისტემის) მასალაა და მიკროსილიკა ბეტონის სტრუქტურაში ტენიანობის და წყლის მიგრაციის მეშვეობით ავსებს მის ფორებსა და სიცარიელებს. ეს პროცესი ქმნის რეაქციას მიკროსილიკასა და ბეტონში მყოფ სინოტივეს შორის. საბოლოო შედეგად ვიღებთ ბეტონში წარმოქმნილ კრისტალურ მესერს, რომლებიც ავსებენ ფორებსა და კაპილარებს რის შედეგადაც ბეტონი ხდება სითხე გაუმტარი. თუ წყალი მაინც შეაღწევს ბეტონის სტრუქტურაში, მიკროსილიკას კრისტალები განაახლებენ კრისტალების ზრდას და ამოავსებენ დარჩენილ ფორებს.
9. ლაბორატორიაში მიღებული შედეგები წარმატებით იქნა დანერგილი საქართველოში, დატკეპნილი ბეტონებით მოწყობილი ნორიოს ნაგავსაყრელთან მისასვლელი გზის მონაკვეთზე და ქ. ბათუმში მესხეთის ქუჩაზე გზის საფარის მოწყობის პროცესში;
10. აღნიშნული ობიექტებიდან აღებული ნიმუშების გამოცდის შედეგები კარგ შესაბამისობაშია ლაბორატორიული კვლევების შედეგებთან;
11. აქედან გამომდინარე ჩვენს მიერ მიღებული კვლევების შედეგები წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული საქართველოში საავტომობილო გზების მშენებლობაში დატკეპნილი ბეტონების დანერგვის პროცესში;
12. EN 1338-ის ცხრილი 5-ს მიხედვით, თუ 5 000 მმ<sup>2</sup>-ზე მოცულობის დანაკარგი < 18 000 მმ<sup>3</sup>-ზე, საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშები

მიეკუთვნება ბეტონის ცვეთამდეგობის უმაღლეს კლასს 4, მარკით I, რასაც აკმაყოფილებს წარმოდგენილი ბეტონის ნიმუშები;

13. ჩვენ მიერ ჩატარებული ცდების და მოძიებული ლიტერატურის საფუძველზე შეგვიძლია დარწმუნებით ვთქვათ, რომ აღნიშნული საკითხი უაღრესად მნიშვნელოვანია საავტომობილო გზების მშენებლობაში, გამომდინარე მისი ეკონომიურობის, საფარის მოწყობის სიმარტივის და ეფექტურობის თვალსაზრისით.

## Abstract

Georgia's economic development largely depends on its effective use of its transit country potential. The value of Georgia as the part of Europe-Asia corridor has increased; this increases the interest of western and eastern countries to Georgia as to the country that laid on the transit axes that implies transit infrastructure creation and development in Georgia. It is important to use compacted concrete with additive in modern road construction industry.

Even in the 21 century concrete is remained as the vital constructive building material, therefore innovative, economic and environmentally protected technologies are needed. Georgian construction market requires use of concrete of new generation, adaptation of nanotechnologies to the local realities that will give the ability to create multifunctional, nano-technological high effective materials. It is highly important to research their physical and mechanical states. For to increase the road resistance in Georgia study of compacted concrete with the additives is necessary to implement the latter in the future for roads construction. The aim of the research is study of physical-mechanical properties of the compacted concrete with the additives based on the local materials.

Any experimental study needs large number of experiments from one side in order to achieve high accuracy and optimal number of the experiments with minimal charges and in the shortest period of time from the other side. To solve this problem in practice it is possible to use experiments planning static and mathematical methods. For to research physical-mechanical properties of the materials we will use distribution hypothesis, measurements results by normal law according to which divergence of the obtained results is caused by the error of method and inhomogeneity of the object.

It will be obtained resistable compacted concrete with additives for the motor roads that will improve roads infrastructure and give us saving rate while construction of the roads and their exploitation.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. ა. ნადირაძე; ბეტონის შემდგომი ტექნოლოგია. თბილისი, 1998.
2. ა. ჩიქოვანი; ბეტონის ტექნოლოგია. თბილისი, 2015.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва. 1993.
4. David R. Luhr, PhD, Portland Cement Association;
5. [www.cement.org/pavements](http://www.cement.org/pavements);
6. ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens;
7. ASTM C42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete;
8. ASTM C78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading);
9. ASTM C94 Specification for Chemical Admixtures for Concrete;
10. ASTM C666 Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing;
11. ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures;
12. ASTM C1602 Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete;
13. AASHTO TP60 Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete;
14. Boethius, A. and Ward1-Perkins, J. B. (1970). Etruscan and roman Architecture, Penguin Books, Middlesex, England.
15. Cassie, W. F. (1965). "The First Structural Reinforced Concrete," Structural Concrete, 2(10).
16. Collins, P. (1959). Concrete, The Vision of a New Architecture, Faber and Faber, London.
17. Condit, C. W. (1968). American Building, Materials and Techniques from the First Colonial Settlements to the Present, University of Chicago Press.
18. Drexler, A. (1960). Ludwig Miles van der Rohe, George Braziller, New York.

19. Farebrother, J. E. C. (1962). "Concrete - Past, Present, and Future," The structural Engineer, October.
20. Mainstone, R. J. (1975). Developments in Structural Form, The MIT Press, Cambridge.
21. National Concrete Pavement Technology Center Institute for Transportation Iowa State University;
22. [www.cptechcenter.org](http://www.cptechcenter.org);
23. ВСН 16-95 Ведомственные строительные нормы. Инструкция по применению укатываемого малоцементного бетона в конструкциях дорожных одежд. МОСКВА-1997;
24. Савицкий В.В., Петрович П.П., Дмитричев А.В. Лабораторные исследования укатываемого сталефибробетона // Науч.-техн. сб. / Воен.-техн. ун-т при Спецстрое России. - Балашиха, 2003. - Вып. 7. - С. 122-124;
25. Инструкция по применению укатываемого малоцементного бетона в конструкциях дорожных одежд: ВСН 16-95 / Департамент стр-ва Москвы. - М., 1995. - 31 с;
26. Пинус Э.Р. Об упрочнении зоны контакта между заполнителем и вяжущим в бетоне. - Балашиха, 1969. - С. 14-28. - (Тр. / Союздорнии);
27. Методические рекомендации по устройству оснований дорожных одежд из «тощего» бетона: ОДМД / Мин-во трансп. РФ, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). - М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2003. - 35с.
28. Qhw S., Update of ICOLD Bulletin 126 on RCC Dams. The 7th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, September 24-25. 2015. Chengdu. China. 2015.
29. PCA, Portland Cement Association. Production of Roller-Compacted Concrete, Canada, 2006.
30. ACI 309.5R-00 Compaction of Roller-Compacted Concrete. Reported by ACI Committee 309, Chairman R.E.Viller, 2000.
31. Roller-Compacted Concrete. US Army Corps of Engineers. Manual No. 110-2-2006. 2000



32. Chonggang S., RCC dams in China, Proceeding of the 5th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, Spain
33. . Abdo F.Y., Roller-Compacted Concrete Dams: Design and Construction Trends. Hydro Review, November 2008.
34. EN 1338:2003 - ბეტონის ბლოკები ქვაფენილებისათვის, მოთხოვნები და გამოცდის მეთოდები. დანართი H, ცვეთამედეგობის განსაზღვრა ბიომეს აპარატის ტესტით.