



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი რობაქიძე

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დამზადება

ადგილობრივი შემკვებების ბაზაზე

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

0175 თბილისი

2019 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

სამშენებლო ფაკულტეტი

სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიისა და საშენი მასალების #103
დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ლიანა უგულავა

რეცენზენტები: პროფესორი შახი ბაქანიძე

პროფესორი ოთარ ჩაკვეტაძე

დაცვა შედგება 2019 წლის „06„ ივლისს, 14:00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის

სადისერტაციო კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი I, აუდიტორია 508

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა -
ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: დ. ტაბატაძე

Abstract

In the XXI century the concrete still remains the number one building material. According to recent research, the most consumed mass of drinking water is the cement and the products made of it: concrete, fermentation, various types of solutions, etc. The development of humanity is undergoing a very rapid pace and this process will be directly reflected on the construction and consequently on concrete as the number one and the most demanding building materials.

The dissertation aims to make architectural-decorative concrete using local fillings. To achieve this goal, the following tasks were implemented:

- ✓ Information was found and the market demand for architectural-decorative concrete was studied;
- ✓ Research plan and methodology was developed;

As a result of the research, the most important issues were made to get the architectural-decorative concrete and recommendations and specifications on the concrete type of concrete were developed.

- ✓ Study of local heavy and light fillings was carried out and was selected for the construction of architectural-decorative concrete;
- ✓ Prepared tested concrete and samples are presented for presentations;
- ✓ Selection and efficiency of surface protecting material was carried out;
- ✓ We have created several large-scale projects with the composition we have developed and some more are in the mode of waiting;
- ✓ The economic effect was studied and compared to the standard concrete in terms of price and the difference between the prices was determined.
- ✓ Different types of architectural-decorative concrete, such as architectural-self-compacting concrete, are planned for the future.
- ✓ As research and results have shown, our goal was to successfully prepare an arctic-decorative concrete using local filling; We have worked out the specification (requirements) of this type of concrete and the product obtained successfully and utilize the implementation of the projects.

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

მშენებლობის განვითარებამ, მთელი რიგი ტექნოლოგიური პროცესების განვითარებიდან გამომდინარე, დასვა უამრავი საკითხი, რომლებიც მოითხოვს ძირეულ შესწავლას, კვლევას და ყოველივე ამის საფუძველზე სწრაფ გადაწყვეტილებას.

განვითარების დღევანდელ ეტაპზე რა თქმა უნდა, რომ საზოგადოებაც განიცდის განვითარებას და დღითი დღე იზრდება მათი მოთხოვნილება ლამაზ, გემოვნებიან და ხარისხიან შენობა-ნაგებობებზე, რომელთაც უყენებენ დამატებით სხვა მოთხოვნებს (არქიტექტურული გადაწყვეტა, ფასადის დიზაინი, თანამედროვე ტექნოლოგიებით შესრულება).

დღითი დღე მატულობს უკვე ისეთი პროექტების რაოდენობა, სადაც მოთხოვნები მოდის „სპეციალურ ბეტონებზე“ და მათ შორისაა თანამედროვეობის ერთ-ერთი ყველაზე მოთხოვნადი სამშენებლო მასალა - არქიტექტურული (დეკორატიული) ბეტონი. დღევანდელ საზოგადოებას სურს რომ ახალ შენობა-ნაგებობებს ჰქონდეს ლამაზი, დახვეწილი და მარავლფეროვანი ფორმები და ამავედროულად ეს ყველაფერი ძალიან არ უნდა აძვირებდეს მშენებლობის ხარჯებს.

მშენებლობაში ყველაზე მოთხოვნადი, გამოყენებადი ერთ-ერთი ღირებული მასალა არის ბეტონი. ზემოთ როგორც ავღნიშნეთ, მოთხოვნებიც იზრდება სპეციალური ტიპის ბეტონებზე და ეს ყველაფერი უნდა იწვევდეს მშენებლობის ხარჯების ცოტათი მაინც გაძვირებას.

თემის აქტუალობა: არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონების გამოყენების ისტორია არც თუ ისე დიდია საქართველოში. ბოლო 8-10 წლის წინ გაჩნდა პირველი მოთხოვნები მსგავსი ტიპის ბეტონებზე და დღეს უკვე ბაზრის 5-7% წარმოადგენს. დღითი დღე იზრდება ამ ბეტონზე მოთხოვნები: თუ გადავხედავთ შპს „ჰაიდელბერგცემენტ კავკასუსის“ (ლიდერი კომპანია ცემენტის და ბეტონის წარმოებაში) სტატისტიკას, 2016 წელს ამ ტიპის ბეტონის წარმოებამ შეადგინა 13258 მ³, ხოლო 2017 წელს ამ 33582 მ³ შეადგინა, რაც დაახლოებით 2.5-ჯერ მეტია.

სწორედ ამიტომ გადავწყვიტეთ ამ საკითხის უკეთ შესწავლა, დახვეწა და განვითარება.

რადგან მატულობს მოთხოვნილება, აუცილებელია რომ მოთხოვნადი პროდუქტი, ჩვენს შემთხვევაში არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი, დამზადებული იყოს ადგილობრივი მასალებით, რაც ჩვენს პირობებში შესაძლებელია, მაგრამ იმის გათვალისწინებით რომ ამ ბეტონს აქვს სპეციალური მოთხოვნები ბეტონის შემვსებებზე, აუცილებელია დეტალურად და სრულყოფილად იქნეს შესწავლილი ინერტული მასალების თვისებები, გრანულომეტრიული ანალიზი და მოხდეს კომპლექსური გადანაწილება წვრილი და მსხვილი შემვსებლის. (ეს უკანასკნელი განსაზღვრავს ბეტონის ზედაპირის ხარისხის შესრულებას და არქიტექტურულ ბეტონებში სწორედ რომ ესაა ყველაზე მნიშვნელოვანი თვისება) ასევე სამომავლო გათვლებისთვის აუცილებელია შემავსებლების შემოწმება ქიმიურ რეაქციებზე, რათა დადგინდეს არის თუ არა მასალა ქიმიურად აქტიური ან არააქტიური; ამის მიხედვით უნდა მოხდეს ცემენტის ტიპისა თუ ქიმიური დანამატის შერჩევა და ამ ყველაფრის შემდეგ მოხდეს ოპტიმალური რეცეპტის დაანგარიშება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები: კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ადგილობრივ შემვსებებზე დამზადებული არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი. ამ მიზნით შემუშავებულია კვლევის მეთოდები:

- ადგილობრივი მძიმე შემვსებების კვლევა და შერჩევა
- ადგილობრივის მსუბუქი შემვსებების კვლევა და შერჩევა
- ცემენტის და ცემენტისებრი შემავსებლის კვლევა და შერჩევა
- ქიმიური დანამატების კვლევა და შერჩევა
- პიგმენტებისა და ფერადი ნარევების კვლევა და შერჩევა

მასალების შერჩევის შემდგომ, მეორე ეტაპი გახლავთ, ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება, რომელიც გეგმის სახით ასე გამოიყურება:

- საჭირო ნედლეულის არჩევა
- ბეტონის შედგენილობის დაანგარიშება

- მსუბუქი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობის დაანგარიშება
- საცდელი ანარეგების მომზადება
- ბეტონის ნარევის თვისებების შესწავლა
- გამყარებული ბეტონის თვისებების შესწავლა
- ნიმუშების პრეზენტაცია

გეგმის მესამე ეტაპის შემადგენელი ნაწილები კი ასე გამოიყურება:

- არქიტექტურული ბეტონის კონსტრუქციების და ზედაპირების მოვლა და დაცვითი საშალებების წარმოჩენა
- არქიტექტურულ დეკორატიული ბეტონის ტრანსპორტირება
- კონსტრუქციებისთვის ყალიბების მოწყობა
- ბეტონირების პროცესი და კომპაქტირების მეთოდები
- არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობის ეკონომიკური ეფექტი.

კვლევის მიზანი: კვლევის მიზანია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მიღების შესაძლებლობა ადგილობრივი შემსვებებით და მისი პრაქტიკული გამოყენება მშენებლობაში, რადგან აღნიშნული ტიპის ბეტონით მშენებლობა ძალზედ მზარდი ტემპებით მიმდინარეობს ჩვენს ქვეყანაში და საჭიროებს ძირეულ კვლევას, რათა მივიღოთ უმაღლესი ხარისხის სამშენებლო მასალა, რომელიც დააკმაყოფილებს მისდამი წაყენებულ ყველა მოთხოვნას.

თემის მეცნიერული სიახლე: სადისერტაციო ნაშრომის მეცნიერული სიახლე შემდეგში მდგომარეობს:

- ✓ ადგილობრივ ბაზარზე მოვიძიეთ და შევამოწმეთ ბეტონის შემსვებები და დავადგინეთ მათი ტიპები არქიტექტურული ბეტონის დასამზადებლად. მოვახდინეთ შემსვებების შემოწმება ქიმიურ რეაქციულობაზე ASTM 1260 სტანდარტის მოთხოვნების გათვალისწინებით. დავადგინეთ შემსვებების ოპტიმალური გადანაწილების სქემა ბეტონისთვის, რომელიც სრულად აკმაყოფილებს ST2 კლასის არქიტექტურული ბეტონის მოთხოვნებს.

- ✓ ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მინიმალური მოთხოვნები და ამ მოთხოვნების შესაბამისად 7 სახეობის ბეტონის დაპროექტება, რომლებიც აკმაყოფილებენ არქიტექტურული ბეტონის მოთხოვნებს: 6 სხვადასხვა ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი (რუხი, თეთრი, წითელი, ყვითელი, მწვანე და ლურჯი ფერის ბეტონები) და 1 მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონი, რომელიც დამზადებული იქნებოდა ვულკანური წიდის ბაზაზე სიმტკიცის კლასით B22.5.
- ✓ შეირჩა 2 ტიპის ცემენტი (თეთრი და რუხი ფერის) არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად. შერჩეულ იქნა 3 ტიპის ქიმიური დანამატი სხვადასხვა თვისებების მისანიჭებლად. შეირჩა 4 სახის პიგმენტი. შეირჩა ბუნებრივი მსუბუქი ფორიანი შემვსებები, მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად. შეირჩა ბეტონის ცემენტისებრი შემვსებები კირქვის მტვრის სახით. ნათლად წარმოვაჩინეთ შემვსებების როლი არქიტექტურული ბეტონებში.
- ✓ შევადგინეთ არქიტექტურული ბეტონით მშენებლობის რეკომენდაციები, როგორც სამშენებლო კომპანიისთვის, ასევე ბეტონის მწარმოებელისთვის.

კვლევის ძირითადი შედეგები: ჩვენს მიერ შესწავლილ და შერჩეულ იქნა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად საჭირო შემვსებები, ცემენტები, ქიმიური დანამატები, პიგმენტები და ბეტონის დაცვითი საშუალებები. ჩვენს მიერ შემუშავებული ბეტონის შედგენილობებით უკვე განხორციელდა რამოდენიმე ათეული პროექტი თბილისსა თუ სხვა რეგიონებში; მშენებლობის პროცესშია ასევე რამოდენიმე ათეული პროექტი. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი გამოყენებულ იქნა საწარმოო ნაგებობებში. შემუშავებულია მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონი, რომელიც მხოლოდ ადგილობრივი მასალების ბაზაზეა დამზადებული.

ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა: სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევის შედეგები და რეკომენდაციები მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს საქართ-

ველოში არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის, როგორც მაღალ ტექნოლოგიური სამშენებლო მასალის, განვითარებას, გაზრდის ამ ტიპის ბეტონით მშენებლობას, ხარისხის ამაღლებას და „უსაფრთხო“ შენობა-ნაგებობების აშენებას. იგი ამავე დროს დაეხმარება ამ სფეროს მეცნიერებს გააღრმავონ და გააფართოვონ კვლევა ამ მიმართულებით.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 101 გვერდს. იგი შედგება შესავლის, რვა თავისა, დასკვნითი ნაწილისა და ერთი დანართისგან. ნაშრომს თან ერთვის 25 ცხრილი, 1 ნახაზი და 40 ფოტო მასალა. გამოყენებული ლიტერატურის სია წარმოდგენილია 18 დასახელებით.

ნაშრომის შინაარსი ასეთია:

შესავალი

1. საკვლევი თემის აქტუალურობა, სიახლე და დისერტაციის მიზანი
2. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დეფინიცია და ტიპები
- 2.1 არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის გამოყენების არეალი და უპირატესობანი
3. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კვლევის მეთოდების შედგენა
4. ბეტონისთვის საჭირო ნედლეულის შერჩევა და შედგენილობების გაანგარიშება
- 4.1 მძიმე, მსუბუქი და ცემენტისებრი შემცველების შერჩევა არქიტექტურული ბეტონის დასამზადებლად
- 4.2 ცემენტის შერჩევა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად
- 4.3 ბეტონის ქიმიური დანამატების და პიგმენტების შერჩევა
- 4.4 არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება
- 4.4.1 მძიმე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება და თვისებები
- 4.4.2 მსუბუქი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება და თვისებები
5. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მომზადების და ტრანსპორტირების თავისებურებანი

6. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციების მოვლა და ზედაპირების დაცვითი საშუალებები
7. სამშენებლო ყალიბების მოწყობა, ბეტონირების და კომპაქტირების თავისებურებანი
8. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ეკონომიკური ეფექტი
9. დასკვნა
10. გამოყენებული ლიტერატურა
11. დანართი 1 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობის რეკომენდაციები

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

სადისერტაციო ნაშრომი „არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დამზადება ადგილობრივი შემსვებების ბაზაზე“ ეძღვნება თანამედროვე მშენებლობის მეტად აქტუალურ თემას - არქიტექტურული პროექტების განხორციელება არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით, რომელიც დამზადებული იქნება ადგილობრივი შემსვებების ბაზაზე და რომელიც სრულად დააკმაყოფილებს მისადამი წაყნებულ მოთხოვნებს: ხანმედეგობა, მაღალი ხარისხი, შუქმედეგობა, წყალ-ნესტ შეუღწევადობა და სხვა.

შესავალში განხილულია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით, როგორც მაღალ ტექნოლოგიური სამშენებლო მასალით, მშენებლობის ტემპების მატება, მსოფლიოში და საქართველოში განხორციელებული პროექტები.

სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში განხილულია კვლევის აქტუალობა, ნაშრომის სიახლე და მიზანი. მოცემულია ამ ტიპის ბეტონის გამოყენების სტატისტიკა, საიდანაც ნათლად ჩანს რომ ძალზედ დიდი ტემპებით მიმდინარეობს ამ ტიპის ბეტონებით მშენებლობა და სულ იზრდება მოთხოვნა. დეტალურადაა განხილული ჩვენს მიერ დაპროექტებული ბეტონის შედგენილობით განხორციელებული რამოდენიმე პროექტი.

სადისერტაციო ნაშრომის მეორე თავში მოცემულია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დეფინიცია და ტიპები. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი წარმოადგენს სამშენებლო ნარევს, რომელიც იწარმოება ქვიშა-ცემენტის ბაზაზე, სხვადასხვა მინერალური და არაორგანული დანამატების დამატებით და შემდგომი გამკვრივებით.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი თვისობრივად მიეკუთვნება მაღალ ტექნოლოგიური საშენ მასალათა ჯგუფს, რომელიც სრულად აკმაყოფილებს როგორც კონსტრუქციული დატვირთვების მოთხოვნებს, ასევე ასრულებს შენობა-ნაგებობების მხატვრულ-ესთეტიკურ მოთხოვნებსა და ღირებულებებს და იძლევა შესაძლებლობების დიდ სპექტრს.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი ძირითადად 3 მიმართულებისაა:

- კონსტრუქციების და საფუძვლების შესაქმნელად (მონოლითური, რკინაბეტონის კონსტრუქციები) – „არქიტექტურული ბეტონი“ ამ მიმართულებას აიგივებენ კონსტრუქციულ-დეკორატიული თვისებების მქონე არქიტექტურულ ბეტონთან რომლის ფორმა არსებითად ერთიანია ტექსტურით, ფერით და ფაქტურით.
- დეკორატიული მიზნების მისაღწევად - „დეკორატიული ბეტონი“; მზა დეკორატიული ზედაპირების მისაღებად.
- მხატვრული მოცულობითი ობიექტების შესაქმნელად, რომელსაც ასევე ექნება მზიდი უნარი - „სკლუპლტურული ბეტონი“.

მეორე თავში ასევე მოცემულია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ისტორიული მონაცემები და განვითარების ისტორია. განხილულია ამ ბეტონით მშენებლობის უპირატესობანი, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს:

- ✓ შესაძლებელია ნებისმიერი გეომეტრიული ფორმის ესთეტიკური მოთხოვნების გათვალისწინება;
- ✓ ამცირებს მშენებლობის ვადებს;
- ✓ ამცირებს მშენებლობის ხარჯებს;
- ✓ გამოირჩევა გარანტირებულად მაღალი ხარისხით უამრავი აგრესიული გარემოს მიმართ. (ყინვამედეგობა, წყალგაუმტარობა, ცეცხლმედეგობა, მექანიკური დაზიანების მიმართ მედეგობა, ჰაერში არსებული კარბონატების და ქლორიდების მიმართ მედეგობა)
- ✓ შესაძლებელია თითქმის ნებისმიერი ფერთა პალიტრის ბეტონის ერთგვაროვანი კონსტრუქციების მიღება.
- ✓ შესაძლებელია სხვადასხვა იმიტაციის შექმნა
- ✓ გამოირჩევა გლუვი ზედაპირით, რომელიც ადვილად გასაწმენდია
- ✓ მედეგია ულტრაისფერი სხივების მიმართ
- ✓ გამოირჩევა ზედაპირის მაღალი და ერთგვაროვანი ხარისხით.

მოცემულია ასევე ჩვენს მიერ დაპროექტებული ბეტონით განხორციელებული ორი პროექტის მოკლე აღწერა.

სადისერტაციო ნაშრომის მესამე თავში განხილულია კვლევის მეთოდების შედგენა, რომელიც ასე გამოყურება:

- ✓ ბეტონისთვის საჭირო ნედლეულის მოძიება და კვლევა
- ✓ შესაბამისი შედგენილობების დაპროექტება და შემდგომი კვლევა ხარისხობრივი პარამეტრების დასადგენად.
- ✓ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციების მოვლის და დაცვითი საშუალებების შერჩევა.

სადისერტაციო ნაშრომის მეოთხე თავში განხილულია ბეტონისთვის საჭირო ნედლეულის მოძიება და კვლევა:

- შემკვრელი ნივთიერება - ცემენტი
- ბეტონის წვრილი და მსხვილი შემვსებები
- ბეტონის ცემენტისებრი და მსუბუქი ფოროვანი შემვსებები
- ბეტონის მოსამზადებელი წყალი
- ბეტონის ქიმიური დანამატები
- ბეტონისთვის საჭირო პიგმენტები

შემკვრელ ნივთიერებად შერჩეულ იქნა 2 ტიპის ცემენტი:

პარამეტრები	CEM I 42.5R	CEM I 52.5R White
SiO ₂ , %	22.50	21.60
Al ₂ O ₃ , %	5.50	4.05
Fe ₂ O ₃ , %	4.09	0.26
CaO, %	62.50	65.70
MgO, %	1.50	1.30
SO ₃ , %	3.10	3.30
ხურებითი დანაკარგი, %	2.85	3.20
K ₂ O, %	0.12	0.35
Na ₂ O, %	0.31	0.30
Chloride (Cl), %	0.017	0.01
Free CaO, %	1.75	1.60
სიმკვრივე, გ/სმ ³	3.10	3.06
ხვედრითი ზედაპირი, სმ ² /გ	4430	4600
სითეთრე, %	-	85.0
შეკვრის დასაწყისი, წუთი	120	100
შეკვრის დასასრული, წუთი	140	130

ცომის ნორმალური სისქელე, %	29.0	30.0
სიმტკიცე 2 დღეზე, მპა	27.0	37.0
სიმტკიცე 7 დღეზე, მპა	44.0	50.0
სიმტკიცე 28 დღეზე, მპა	52.5	60.0

ბეტონის წვრილ შემდგომად შერჩეულია ორი ტიპის ქვიშა:

№	ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები	ქვიშა 0-2 მმ (ყვითელი)	ქვიშა 0-5 მმ
1	ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ ³	2.638	2.617
2	ნაყარი სიმკვრივე, გ/სმ ³	1.395	1.503
3	მასალის ცარიელობა, %	47.1	42.6
4	მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა, %	2.17	1.13
5	ქვიშის სიმსხოს მოდული (ГОСТ 8735-2000)	2.24	2.88
6	ქვიშის წყალმოთხოვნილება, %	0.85	1.14
7	ქვიშის ტენიანობა, %	5-10	3-8

ბეტონის ცემენტისებრ შემსვებად შერჩეულია კირქვის მტვერი:

№	ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები	კირქვის მტვერი LSP
1	ფერი	თეთრი
2	ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ ³	2.72
3	ნაყარი სიმკვრივე, გ/სმ ³	984
4	ხვედრითი ზედაპირი, სმ ² /გ	4150
5	სრული ნარჩენი 0.008 მმ საცერზე, %	12.5
6	წყალმოთხოვნილება, %	97.8

ბეტონის მსხვილ შემვსებებად შერჩეულია ორი ტიპის ღორღი:

№	ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები	ღორღი 5-10 მმ	ღორღი 10-20 მმ
1	ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ ³	2.631	2.638
2	ნაყარი სიმკვრივე, გ/სმ ³	1.413	1.462
3	მასალის ცარიელობა, %	46.3	44.6
4	მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა, %	0.87	0.65
5	ღორღის მარკა მსხვრევადობაზე	M800	M800
6	ღორღის წყალმოთხოვნილება, %	1.08	0.90
7	ღორღის ტენიანობა, %	1-3	0-2
8	ნემსისებრი მასის შემცველობა, %	4.23	2.25
9	ფირფიტოვანი მასის შემცველობა, %	9.85	6.52

ბეტონის მსუბუქ ფოროვან შემვსებებად შერჩეულია სამი ტიპის ვულკანური წარმოშობის მასალა:

№	ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები	ვულკანური წიდის ქვიშა 0-5 მმ	ვ/წ ღორღი 5-10 მმ	ვ/წ ღორღი 10-20 მმ
1	ფერი	მუქი წითელი	მუქი წითელი	მუქი წითელი
2	ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ ³	2.52	2.55	2.55
3	ნაყარი სიმკვრივე, გ/სმ ³	950	635	570
6	წყალმოთხოვნილება, %	3.3	10.5	12.9

ბეტონის მოსამზადებლად შერჩეულია სასმელი წყალი.

ბეტონის ქიმიურ დანამტებად შერჩეულია 2 ტიპის ქიმიური პლასტიფიკატორი:

დანამატის დასახელება	დანამატის კლასი	სიმკვრივე, გ/სმ ³	მყარი მასალის შემცველობა, %	PH მაჩვენებელი	ქლორიდის შემცველობა, %
წყალდამკლები, შეკვრის მასტაბილიზირებელი	Gantre 3041	1.08	31.5	4.0-6.0	<0.1
წყალშეუღწევადობის დანამატი	Centro 147WP	1.10	39.8	4.0-6.0	<0.1

ბეტონის პიგმენტებად შერჩეულია 4 ტიპის პიგმენტი:

№	პიგმენტის დასახელება	პიგმენტის ფერი	სიმკვრივე, გ/სმ ³
1	SikaCem Color Red	წითელი - 417	0.85
2	SikaCem Color Yellow	ყვითელი - 231	0.45
3	SikaCem Color Green	მწვანე - 125	1.05
4	SikaCem Color Blue	ლურჯი - 617	0.75

მეოთხე თავში მოცემულია ასევე დეტალური მოთხოვნები არქიტექტურულ-დეკორატიულ ბეტონზე, რომელიც ასე გამოიყურება:

№	პარამეტრები	მნიშვნელობა
1	ბეტონის სიმტკიცის მინიმალური კლასი	B30
2	ბეტონის ექსპოზიციური კლასი (ექსპლუატაციის კლასი)	XC4 ¹
3	შემსებების მაქსიმალური ზომა, მმ	20
4	მაქსიმალური წყალცემენტის ფარდობა	0.50
5	რეკომენდირებული ცემენტის ტიპი ²	CEM I
6	0.25 მმ საცერში გასული მასალის შემცველობა, კგ/მ ³	550
7	ბეტონის ნარევის კონსისტენციის კლასი	S3-S4 ³
8	შერევის დრო ქარხანაში თითო ანარევისთვის, წამი	45

9	წყალშეუღწევადობის კლასი EN 12350-8 ნორმით	WP1 ⁴
10	ყინვამედეგობის კლასი EN1397	100 ციკლი

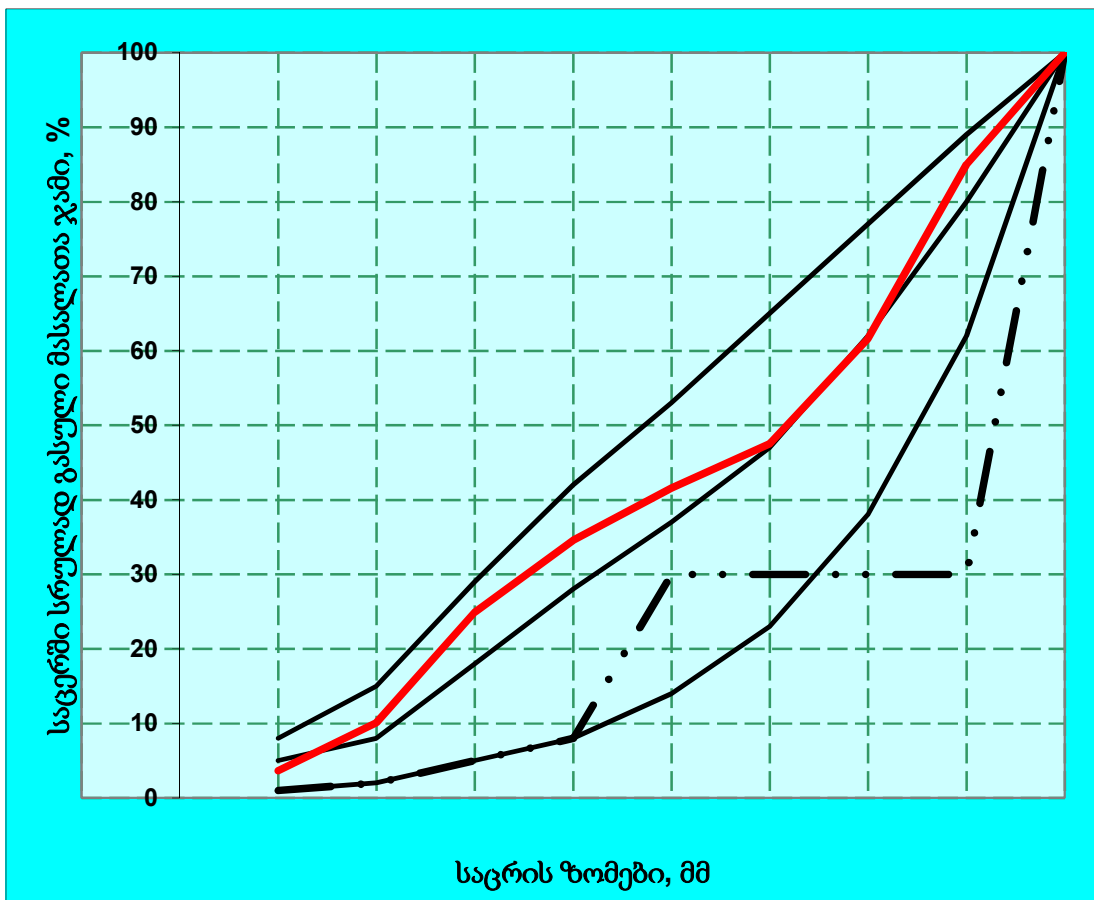
1 - ბეტონის კოროზია, გამოწვეული ჰაერში არსებული კარბონატების ზემოქმედებით. (EN 206:2017)

2 - ინერტული მასალების რეაქციულობის შემთხვევაში, სავალდებულოა CEM III/A, ან CEM III/B ცემენტის გამოყენება;

3 - ბეტონის ნარევის კონსისტენცია ყალიბებში მოთავსებამდე უნდა იყოს 140-180 მმ-ის ფარგლებში.

4 - გულისხმობს წყლის შეღწევის მაქსიმალურ მაჩვენებელს, რომელიც 30 მმ-ზე მეტი არ უნდა იყოს.

მეოთხე თავში მოცემულია ასევე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის საერთო გრანულომეტრიული მრუდი:



მოცემულია ჩვენს მიერ დაპროექტებული ბეტონის შედგენილობები:

SichtBeton B30 S4 D20 W6 F100	
მასალის დასახელება	ხარჯი 1მ³, კგ
ცემენტი CEM I 42.5N, კგ	375
ქვიშა 0-2, კგ	214
ქვიშა 0-5, კგ	619
ღორღი 5-10, კგ	284
ღორღი 10-20, კგ	659
Fosroc Gantre 3041, კგ	3.75
Fosroc Centro 147-WP, კგ	0.50
მთლიანი წყალი, კგ	185
1 მ ³ ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ ³	2338
წ/ც-ის ფარდობა	0.49
ბეტონის ნარევიში ჰაერის შემცველობა, %	1.5

B40 S4 D20 LLT (Long lifetime)	
მასალის დასახელება	ხარჯი 1მ³, კგ
ცემენტი CEM I 42.5N, კგ	420
ქვიშა 0-2, კგ	207
ქვიშა 0-5, კგ	598
ღორღი 5-10, კგ	275
ღორღი 10-20, კგ	638
Fosroc Gantre 3041, კგ	4.62
Fosroc RP264, კგ	2.10
მთლიანი წყალი, კგ	190
1 მ ³ ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ ³	2335
წ/ც-ის ფარდობა	0.45
ბეტონის ნარევიში ჰაერის შემცველობა, %	1.50

Colored SichtBeton B30 S4 D20 W6 F100	
მასალის დასახელება	ხარჯი 1მ³, კგ
ცემენტი CEM I 42.5N, კგ	375
ქვიშა 0-2, კგ	207
ქვიშა 0-5, კგ	599
ღორღი 5-10, კგ	275
ღორღი 10-20, კგ	638
Fosroc Gantre 3041, კგ	3.75
Fosroc Centro 147-WP, კგ	1.88
SikaCem Color, კგ	18.75
მთლიანი წყალი, კგ	185
1 მ ³ ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ ³	2301
წ/ც-ის ფარდობა	0.49
ბეტონის ნარევიში ჰაერის შემცველობა, %	1.5

№	მასალების დასახელება	ხარჯის 1 მ³-ზე
1	ცემენტი CEM I 52.5R White, კგ	400
2	კირქვის მტვერი (LSP), კგ	150
3	სასმელი წყალი, კგ	180
4	Fosroc Gantre 3041, კგ	4.50
5	Fosroc Centro 147-WP, კგ	2.00
6	ქვიშა 0-2 მმ (ყვითელი), კგ	194
7	ქვიშა 0-5მმ, კგ	562
8	ღორღი 5-10მმ, კგ	258
9	ღორღი 10-20 მმ, კგ	598
10	ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ ³	2349
11	წყალცემენტის ფარდობა	0.45
12	კონუსის ჯდენა, მმ (5 წუთი)	200
13	კონუსის ჯდენა, მმ (60 წუთი)	170

14	სიმტკიცე 7 დღე-ღამეზე, მპა	39.5
15	სიმტკიცე 28 დღე-ღამეზე, მპა	52.5
16	წყლის შესვლის სიღმრე 8.0 ბარ წყლის წნევაზე, მმ	15.0

მოცემულია ასევე მსუბუქი-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობა და თვისებები:

№	მასალების დასახელება	ხარჯის 1 მ ³ -ზე
1	ცემენტი CEM I 42.5R, კგ	450
2	სასმელი წყალი, კგ	250
	Fosroc Gantre 3041, კგ	4.95
	SikaCem Color Red (417), კგ 0.85	4.50
3	ვულკანური წიდის ქვიშა 0-5მმ, კგ	650
4	ვულკანური წიდის ღორღი 5-10მმ, კგ	206
5	ვულკანური წიდის ღორღი 10-20 მმ, კგ	310
6	ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ ³	1876
7	თეორიული წყალცემენტის ფარდობა	0.56
8	კონუსის ჯდენა, მმ (5 წუთი)	160
9	კონუსის ჯდენა, მმ (60 წუთი)	85
10	სიმტკიცე 7 დღე-ღამეზე, მპა	28.1
11	სიმტკიცე 28 დღე-ღამეზე, მპა	35.6
12	გამყარებული ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ ³	1805

მეხუთე თავში განხილულია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მომზადების, ტრასპორტირების და სამშენებლო ყალიბში მოთავსების თავისებურებანი:

1. ბეტონის ქარხნის სასწორ-დოზატორები უნდა მუშაობდეს გამართულად და აჩვენებდეს ზუსტ და სწორ მაჩვენებლებს.
2. ქარხანა აღჭურვილი უნდა იყოს შემვსებების ტენიანობის დამთვლელი სენსორებით, რათა ბეტონის მომზადებისას მოხდეს ზუსტად იმ რაოდენობა წყლის დოზირება, რაც შედგენილობაშია მითითებული. აღნიშნული სენსორები უნდა მუშაობდეს ავტომატურ რეჟიმში და პერიოდულად (3 თვეში ერთხელ) ხდებოდეს მისი კალიბრაცია.
3. არქიტექტურულ დეკორატიული ბეტონის დამამზადებელი ქარხანა აღჭურვილი უნდა იყოს ვერტიკალური შერევის ორლერძიანი შემრევით, რადგან აღნიშნული ტიპის შემრევში ყველაზე კარგად წარმოებს ბეტონის შემადგენელი მასალების შერევა, რადგან ეს პროდუქტი წარმოადგენს მრავალი კომპონენტისგან შემდგარ მაღალტექნოლოგიურ სამშენებლო მასალას და კომპონენტების ერთგვაროვნად შერევას დიდი და გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება.
4. შერევის დრო თითოეული ანარევისთვის უნდა შეადგენდეს მინიმუმ 45 წამს, სასურველია 60 წამი.
5. წარმოების დაწყებამდე უნდა მოხდეს დოზატორების და შემრევის იდეალური გარეცხვა, რათა თავიდან ავიცილოთ სხვა მასალების შერევა.
6. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ტრანსპორტირება უნდა განხორციელდეს მხოლოდ ბეტონმზიდების საშუალებით, მაქსიმუმ 6.0 მ³ პორციებად.
7. დაუშვებელია ბეტონის ნარევის ტრანსპორტირება მაშინ, როდესაც ჰაერის ტემპერატურა აღემატება 35 გრადუსს.
8. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მოთავსება ყალიბებში უნდა განხორციელდეს სპეციალური ტიპის “ბაიოკით“. (სურათი №34)
9. არ შეიძლება არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ნარევის მოთავსება ყალიბებში ბეტონოტუმბოთი, რადგან არის დიდი ალბათობა იმის რომ კონსტრუქციაში მოხდეს განშრევება და ზედაპირის ხარისხი გაფუჭდეს და არ იყოს პროექტების მოთხოვნის შესაბამისი.

10. კონსტრუქციების დაბეტონების შემდგომ აუცილებლად უნდა განხორციელდეს მათი მოვლა საბოლოო გამყარებამდე (მოვლის მეთოდოლოგია, იგივეა რაც სტანდარტული ბეტონის).
11. მშენებლობის პროცესში არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციები დაცული უნდა იყოს სხვა მასალებთან კონტაქსიგან, რათა არ მოხდეს მიღებული ზედაპირების დაჭუჭყიანება თუ დაზიანება.

სადისერტაციო ნაშრომის მეექვსე თავში განხილულია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციების მოვლის და დაცვითი საშუალებები. ამ საკითხის გადასაწყვეტად ჩვენს მიერ მოძიებულ და შერჩეულ იქნა გერმანული კომპანია „Baumerk“-ის მიერ წარმოებული სპეციალური თხევადი დანამატი-SILOX, რომელიც უზრუნველყოფს ბეტონის ზედაპირის მიერ გარემოდან წყლის და ნესტის არ შეწოვას და ასევე მტვრის და ნადების არ დადებას ზედაპირებზე. აღნიშნული დანამატი ესმება ერთჯერადად მზა ბეტონის ზედაპირზე 0.2 მმ სისქის ფენა სახით და აღარასდროს ის ზედაპირი არ შეიწოვს არც წყალს, არც ნესტს და არც მტვრის დადება ხდება, შესაბამისად მიღებული ზედაპირის ფერი, ტონალობა და ფაქტურა მუდმივად არის ერთგვაროვანი. ამასთან ერთად კონსტრუქციაში არსებული არმატურაც დაცულია მცირე ნესტისგანაც კი. აღნიშნული დანამატის დოზირება 1მ^2 ფართობზე შეადგენს 0.60 კგ-ს.

სადისერტაციო ნაშრომის მეშვიდე თავში განხილულია სამშენებლო ყალიბების მოწყობის და კომპაქტირების თავისებურებანი: მომზადებული სამშენებლო ყალიბები 100%-ით ჰერმეტიკული უნდა იყოს დაბეტონებამდე, რადგან ჰერმეტიკულობის დარღვევის შემთხვევაში მოსალოდნელია ნარევიდან დუღაბის მცირე რაოდენობის გადმოღვრა, რასაც აუცილებლად მოჰყვება ზედაპირის დეფექტი. ასევე აუცილებელია, რომ ყალიბებში ბეტონის ნარევის მოთავსებამდე, დარწმუნებულები ვიყოთ რომ ყალიბები არის იდეალურად გაწმენდილი, გარეცხილი და დამუშავებული სპეციალური საყალიბე ზეთით, რადგან თუკი რაიმე ზედმეტი ნაწილაკი დარჩა ყალიბზე, ბეტონის ტიპიდან გამომდინარე, ის

აუცილებლად აისახება საბოლოო ზედაპირზე. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მოთავსებისას და ვიბრაციისას სამშენებლო ყალიბებში, აუცილებელია გავითვალისწინოდ შემდეგი მოთხოვნები:

- ✓ ყალიბში ბეტონის მოთავსებას უნდა ანხორციელდეს გამოცდილი და შესაბამისი განათლების მქონე სპეციალისტი.
- ✓ კომპაქტირება (ვიბრაცია) უნდა განხორციელდეს ერგვაროვნად, როგორც ადგილის, ისე დროის მიხედვით, რადგან თუ დააკლდა ვიბრაცია ზედაპირი იქნება ფორებით და სიცარიელებით დახასიათებული, ხოლო თუ ზედმეტი ვიბრაცია მოუვიდა, მოხდება სხვადასხვა ფერის მიღება: რომელ ადგილზედაც ბევრი იქნება ვიბრაცია, ის ადგილი იქნება ღია ფერის, ხოლო სადაც ნორმირებულად გაუკეთდა ვიბრაცია, ის ადგილი იქნება მუქი ფერის.
- ✓ კომპაქტირება/ვიბრაციის დროს დაუშვებელია სიღრმული ვიბრო ხელსაწყოს შეხება დიდი დროის განმავლობაში კონსტრუქციაში არსებულ არმირების ღეროებთან და ბადესთან, რადგან გამყარების შემდგომ, ბეტონის ზედაპირზე მივიღებთ მკვეთრად გამოხატულ არმირების ბადის ნახატს.
- ✓ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით კონსტრუქციების მოწყობისას, სასურველია ბეტონმზიდების დაცლა განხორციელდეს მაქსიმუმ 45 წუთში, რადგან თუ გაიწელა დროში, ბეტონიდან წარმოებს თავისუფალი წყლის აორთქლება და შესაბამისად ბეტონის ნარევი იცვლება წყალ-ცემენტის ფარდობა. აქედან გამომდინარე 1 ბეტონმზიდის მიერ მიტანლი ბეტონით შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა ფერის და ტონალობის კონსტრუქციები, რაც სასურველი არაა.

სადისერტაციო ნაშრომის მერვე თავში კონკრეტული მაგალითის საფუძველზე ნათლად არის წარმოჩენილი არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობის ეკონომიკური ეფექტი: არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობა ნიშნავს საუკეთესო, მაღალტექნოლოგიური და მაღალი ხარისხის სამშენებლო მასალით მშენებლობას, თუმცა საინტერესოა ეკონომიკური

თვალსაზრისით რა ეფექტს იძლევა, ძვირდება, მცირდება თუ იგივე ჯდება მშენებლობა. ეკონომიკური თვალსაზრისით ჩვენ მოვახდინეთ შედარება ჩვენს მიერვე განხორციელებულ ყავის ქარხნის პროექტზე.

პროექტის მოთხოვნებით აღნიშნული პროექტი უნდა განხორციელებულიყო B30 W6 F200 კლასის სტანდარტული ბეტონით. ბეტონის ჯამურმა მოცულობამ შეადგინა 8000 მ³. აღნიშნული ბეტონის 1 მ³-ის საბაზრო ღირებულება გახლავთ 145 ლარი. შესაბამისად პროექტს ესაჭიროებოდა 1.160000 ლარის ღირებულების ბეტონი. პროექტის ავტორების და დამკვეთების გადაწყვეტილებით აღნიშნული პროექტი განხორციელდა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით, კლასით SichtBeton B30 S3 D20 W6 F200, რომლის საბაზრო ღირებულება შეადგენს 155 ლარს. შესაბამისად ბეტონის საერთო ღირებულებამ შეადგინა 1.240000 ლარი, ანუ დაახლოებით 7%-ის გაძვირდა მხოლოდ სამშენებლო მასალის ღირებულება. [2]

მაგრამ თუ შევხედავთ მეორე კუთხით, ადვილი მისახვედრია, არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობამ შეამცირა მშენებლობის ხარჯები (საჭირო აღარ გახდა დამატებით ზედაპირების შელესვა, შეღებვა, სხვადასხვა სახის დუღაბებისა თუ კაფელის მოთავსება), შეამცირა მშენებლობის დრო (ის დრო, რაც უნდა დახარჯულიყო შეღებვაზე, შელესვაზე და ასე შემდეგ), შენობა-ნაგებობა აგებულია მაღალი ხარისხის სამშენებლო მასალით, შენობა-ნაგებობა დასრულების თანავე გახდა, როგორც თანამედროვე და დახვეწილი და გემოვნებით და ხარისხით შექმნილი კონსტრუქცია, რომელიც რამოდენიმე წელიწადში ჩვენი გათვლებით მოხვდება არქიტექტურული შენობა-ნაგებობების მსოფლიო ასეულში, რაც თავის მხრივ მომგებიანი და ეფექტურია.

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობა არის სპეციფიკური და მცირე შემთხვევებში ხდება მშენებლობის ხარჯის გაძვირება და უმეტეს წილად არ ძვირდება მშენებლობა.

დასკვნა

გამოკვლევა, რომელიც ჩვენ წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომში ჩავატარეთ, საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი შემჯავებელი დასკვნები:

1. შევისწავლეთ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონების ისტორიული მონაცემები და დავადგინეთ რომ ამ ტიპის ბეტონების გამოყენება საქართველოში 2006-2009 წლებიდან დაიწყო მასიურად. არქიტექტურული ბეტონის გამოყენებას მშენებლობაში ხელი შეუწყო ბაზრის ლიდერმა კომპანიამ - ჰაიდელბერგცემენტა და რამოდენიმე სამშენებლო კომპანიამ რომელთაგან აღსანიშნავია პაულ შულერ უნდ ურაო გრუპ, იუნიქს დეველოპმენტი, ხმალაძე და არქიტექტორები. დავადგინეთ რომ ამ ტიპის ბეტონზე მოთხოვნილება ყოველწლიურად 30-40%-ით მატულობს.
2. ნათლად წარმოვაჩინეთ საკვლევი თემის აქტუალურობა და განვსაზღვრეთ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დეფინიცია და ტიპები და მათი განვითარების ისტორია მსოფლიო მასშტაბით. ნაშრომში წარმოვადგინეთ საერთაშორისო და ადგილობრივის პროექტები, რომელთა განხორციელება არქიტექტურული ბეტონით განხორციელდა.
3. შევადგინეთ არქიტექტურული ბეტონის კვლევის გეგმა და მეთოდები, რომლის მიზანს წარმოადგენდა საკითხის სრულყოფილი შესწავლა და ძირითად საკვლევი პარამეტრებისა თუ მასალების წარმოჩენა.
4. ადგილობრივ ბაზარზე მოვიძიეთ და შევამოწმეთ ბეტონის შემვსებები და დავადგინეთ მათი ტიპები არქიტექტურული ბეტონის დასამზადებლად. მოვახდინეთ შემვსებების შემოწმება ქიმიურ რეაქციულობაზე ASTM 1260 სტანდარტის მოთხოვნების გათვალისწინებით. დავადგინეთ შემვსებების ოპტიმალური გადანაწილების სქემა ბეტონისთვის, რომელიც სრულად აკმაყოფილებს ST2 კლასის არქიტექტურული ბეტონის მოთხოვნებს. შეირჩა ასევე 2 ტიპის ცემენტი (თეთრი და რუხი ფერის) ბეტონის დასამზადებლად. შეირჩეულ იქნა 3 ტიპის ქიმიური დანამატი სხვადასხვა თვისებების მისანიჭებლად. შეირჩა 4 სახის პიგმენტი. შეირჩა ბუნებრივი მსუბუქი ფორიანი შემვსებები, მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად.

შეირჩა ბეტონის ცემენტისებრი შემცვენი კირქვის მტვრის სახით. ნათლად წარმოვაჩინეთ შემცველების როლი არქიტექტურული ბეტონებში.

5. ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მინიმალური მოთხოვნები და ამ მოთხოვნების შესაბამისად დავაპროექტეთ 7 სახეობის ბეტონი, რომლებიც აკმაყოფილებენ არქიტექტურული ბეტონის მოთხოვნებს: 6 სხვადასხვა ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი (რუხი, თეთრი, წითელი, ყვითელი, მწვანე და ლურჯი ფერის ბეტონები) და 1 მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონი, რომელიც დამზადებულია ვულკანური წიდის ბაზაზე და რომლის სიმტკიცის კლასი B22.5-ს შეადგენს. მოვახდინეთ საცდელი ანარეგების მომზადება ყველა იმ პარამეტრის შემოწმება, რაც გვექონდა მიზნად დასახული.
6. ნაშრომში დეტალურად წარმოვაჩინედ ჩვენს მიერ შემუშავებული შედგენილობით განხორციელებული პროექტები: კასპის ცემენტის ქარხანაში 65 მ სიმაღლის ჰომოგენურობის სილოსის მშენებლობა რუხი ფერის არქიტექტურული ბეტონით და მწვანე კონცხზე სასტუმროს მშენებლობის პროექტი, რომლის კონსტრუქციული ნაწილი თეთრი ფერის დეკორატიული ბეტონით უნდა განხორციელდეს. ნაშრომში ასევე წარმოჩენილია ჩვენს მიერ შემუშავებული შედგენილობით შესრულებული პროექტების ფოტო მასალა და გამოყენებული არქიტექტურული ბეტონის ტიპები.
7. ნაშრომში წარმოვაჩინეთ არქიტექტურული ბეტონის ტრანსპორტირების თავისებურებანი, ქარხნული წესით მომზადების თავისებურებანი, ყალიბში მოთავსების და კომპაქტირების თავისებურებანი.
8. კონკრეტულ მაგალითზე დაყრდნობით ვაწარმოეთ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ეკონომიკური ეფექტი და დავასკვნით რომ უმეტეს შემთხვევაში არქიტექტურული ბეტონით მშენებლობა ამცირებს მშენებლობის ხარჯებს და ვადებს და მატულობს მშენებლობის ხარისხი. ამ ბეტონით აგებულ შენობა-ნაგებობებსა თუ კონსტრუქციებს ემატებათ ესთეტიკური ღირებულებანი და ეს მხოლოდ დადებითად აისახება ქვეყნის იმიჯზე და რეპუტაციაზე. ვაჩვენთ მისი გამოყენების უპირატესობა სტანდარტულ ბეტონთან შედარებით.

9. შევადგინეთ არქიტექტურული ბეტონით მშენებლობის რეკომენდაციები, როგორც სამშენებლო კომპანიისთვის, ასევე ბეტონის მწარმოებელისთვის.

სადისერტაციო ნაშრომის დანართი-1-ში მოცემულია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობის რეკომენდაციები:

1. ინერტული მასალების განსხვავებული პროპორცია (წარმოადგენს ე.წ. „ფრაქციაამოვარდნილ“ ბეტონს)
2. წვრილი ნაწილაკების მომეტებული რაოდენობა ბეტონში (<0.25 მმ), რომელიც მინიმუმ უნდა შეადგენდეს 550 კგ-ს 1 მ³ ბეტონში.
3. წყლის შემცველობა და ასევე ინერტული მასალები უნდა იყოს მუდმივად ერთგვაროვანი როგორც რაოდენობით, ასევე ფერით და გრანულომეტრიული შედგენილობით.
4. საფასადე (SichtBeton) ბეტონის ნარევის კონსისტენცია ჩასხმის წინ არ უნდა აღემატებოდეს 140-160 მმ-ს. (S3 კლასის კონსისტენცია)
5. საფასადე ბეტონის დამზადება შესაძლებელია როგორც პიგმენტის დამატებით, ასევე პიგმენტის დამატების გარეშე.
6. ყველაზე რთულად მისაღები ფერთა ფაქტურა საფასადე ბეტონში არის ღია/ნათელი ფერები, მაგალითად თეთრი ფერი, ცისფერი, ყვითელი და ა.შ.

ბეტონის მწარმოებლის მიერ გასათვალისწინებელი პროცედურები

საფასადე ბეტონის წარმოებისას

1. ინერტული მასალები უნდა მხოლოდ ერთი მომწოდებლის
2. ცემენტი აუცილებლად უნდა იყოს D0 (დანამატის გარეშე)
3. დანამატი აუცილებლად უნდა იყოს ერთი მომწოდებლის და შერჩეულ იქნეს ისეთი ტიპის დანამატი, რომელიც შედარებით მეტად ინარჩუნებს კონსისტენციას.
4. სასურველია ამ ბეტონს უშვებდეს მხოლოდ 1 ოპერატორი
5. ბეტონის წარმოების წინ ზედმიწევნით გარეცხილი და გასუფთავებული უნდა იყოს ქარხნის ლენტები და შემრევი

6. ამ ბეტონის გაშვება უნდა მოხდეს მაქსიმუმ 6.0 მ³ პორციებად
7. ქარხნის ტენიანობის დაჩიკები და დოზატორები უნდა მუშაობდნენ მაღალი სიზუსტით რომ არ მოხდეს არევა.
8. ბეტონის შერევის დროს მინიმუმ 40 წამი ერთ მორევაზე.
9. თუ ბეტონის წარმოება ხდება პიგმენტის დამატებით, ამ დროს ქარხანა სხვა ბეტონს არ უნდა უშვებდეს, რადგან გამოიწვევს სხვა ფერის ბეტონის მიღებას ერთიდაიგივე რეცეპტზე.
10. პიგმენტის დამატება უნდა მოხდეს ქარხნის შემრევაში რომ კარგად მოხდეს გადარევა, რომელიც მინიმუმ 50 წამი უნდა გრძელდებოდეს.
11. საფასადე ბეტონის წარმოება არ შეიძლება დღე-ღამის ცხელ მონაკვეთში, რადგან ესეთ დროს ბეტონის ნარევის აქვს მაღალი ტემპერატურა, რაც იწვევს ნარევაში არსებული წყლის სწრაფ და არათანაბარ აორთქლებას, რაც საბოლოო ჯამში გამოიწვევს სხვადასხვა ტონალობის ფერის მიღებას.
12. ბეტონშიდები უნდა იყოს ზედმიწევნით გარეცხილი, დატვირთვის წინ უნდა მოხდეს დოლურას გამორცხვა სუფთა სასმელი წყლით და წყალი არ უნდა ჩაიტოვოს დოლურაში. დოლურას ლოპოსტები უნდა იყოს გაუცვეთავი, რათა ტრანსპორტირების დროს დოლურაში მოხდეს სათანადო გადარევა.

მშენებლის მიერ გასათვალისწინებელი პროცედურები

საფასადე ბეტონით კონსტრუქციების მოწყობის დროს

1. ბეტონის მიღება აუცილებელია რომ მოხდეს ამწეს და ბაიოკის საშუალებით.
2. კონსტრუქციებში ბეტონის ჩასხმამდე ყალიბები და არმატურა მაქსიმალურად უნდა იყოს სუფთა და გაწმენდილი ჟანგისგან და სხვა ნივთიერებებისგან.
3. ყალიბები დამუშავებული უნდა იყოს სპეციალური საფასადე ზეთებით, რომლებიც ასევე უზრუნველყოფენ ჰაერის ბუშტების გამოდევნას ზედაპირიდან.

4. ყალიბები იდეალურად ჰერმეტიკულ მდგომარეობაში უნდა იყოს. წყალი რომ ჩაასხათ ყალიბში, არ უნდა გაუვიდეს არც ერთი წვეთი.
5. საფასადე ბეტონის წარმოება არ შეიძლება დღე-ღამის ცხელ მონაკვეთში, რადგან ესეთ დროს ბეტონის ნარევეს აქვს მაღალი ტემპერატურა, რაც იწვევს ნარევეში არსებული წყლის სწრაფ და არათანაბარ აორთქლებას, რაც საბოლოო ჯამში გამოიწვევს სხვადასხვა ტონალობის ფერის მიღებას.
6. საფასადე ბეტონის მიღებას მუდმივად უნდა ანხორციელებდეს ერთი და იგივე ბრიგადა/პიროვნება.
7. დაბეტონებისას ვიბრაციის დრო, სიხშირე და პიროვნება, ვინც უკეთებს ვიბრაციას ბეტონს, უნდა იყოს მუდმივად ერთგვაროვანი.
8. სასურველია გამოყენებულ იქნეს მაღალი სიხშირის ვიბრატორი, რათა მოკლე დროში მაქსიმალურად მოხდეს ჰაერის გამოდევნა ახლად დაყალიბებული ბეტონიდან.
9. საფასადე კონსტრუქციების დაბეტონებისას არ უნდა მოხდეს ზედმეტი ვიბრაციის მიცემა; შესაბამისად აკრძალულია დიდი დროის განმავლობაში ვიბრირება ერთიდაიგივე ადგილის, ეს გამოიწვევს წყლის ამოტანას ზედაპირზე და ის ადგილი დაჯდება სხვა ტონალობაზე.
10. საფასადე ბეტონით ყალიბების მოწყობისას, ბეტონის ვარდნა არ უნდა მოხდეს 50 სმ-ზე მეტად, რადგან არ გამოიწვიოს ყალიბში განშრევა
11. ამ ყველაფერთან ერთად როდესაც საფასადე ბეტონის წარმოება ხდება პიგმენტების დამატებით, სიტუაციაც რთულდება. გართულებაში იგულისხმება შემდეგი:
 - 11.1. ფერთა ტონალობაზე ზემოქმედებს შემდეგი ფაქტორები: წყლის შემცველობა 1 კუბ ბეტონში (1-2 ლიტრა წყლის სხვაობა იწვევს საბოლოო ფასადის სხვადასხვა ტონალობაში გამოსვლას და როცა პიგმენტია გამოყენებული დამატებით ეს სხვაობა ვიზუალურად კიდევ უფრო დიდია და თვალში საცემი.
 - 11.2. პიგმენტის გარეშე ზუსტად იგივე ხდება ტონალობის კუთხით, უბრალოდ სხვაობა ისაა რომ დამატებით სხვა ფერი არ არის ბეტონში და ფერთა სხვაობა ვიზუალურად მცირედ შესამჩნევია და დროის

გასვლის შემდგომ (4-5 თვის შემდეგ) მაინც ერთი და იგივე ტონალობაში ჯდება

- 11.3. ფერთა ტონალობაზე დიდ გავლენას ახდენს ბეტონის და ჰაერის ტემპერატურა. მაგალითად თუ ჩავასხით ბეტონი ჰაერის ტემპერატურაზე 30 გრადუსი და მეორე დღეს იგივე ბეტონი ჩავასხით და ჰაერის ტემპერატურა იყო 25 გრადუსი, მაინც განსხვავებული ფერებ ექნებათ ამ ორ ჩასხმულს, რადგან ბეტონს შრობა მოუწია პირველ შემთხვევაში 30 გრადუსზე და მეორე შემთხვევაში 25 გრადუსზე.
- 11.4. ამ ფაქტორებთან ერთად ფერზე ზემოქმედებას ახდენს 1 კუბ ბეტონში წყლის შემცველობა. ± 5 ლიტრა წყალიც კი მისცემს სხვაობას ფერში, უბრალოდ პიგმენტის გარეშე როდესაც ხდება დამზადება, ეს სხვაობა თვალში აღსაქმელად ძალიან რთული იქნება და დროთა განმავლობაში მაინც დაჯდება ერთიდაიგივე ფერზე. წყლის ცვალებადობა იწვევს ბეტონის სიმკვრივის ცვლილებას. სხვადასხვა სიმკვრივის ბეტონს აქვს სხვადასხვა ტონალობა. როდესაც პიგმენტი გამოყენებული ეს ტონალობა კიდევ უფრო შესამჩნევი გამოდის და დროთა განმავლობაშიც რჩება უცვლელი.
- 11.5. ფერთა ტონალობაზე გავლენას ახდენს ასევე ვიბრაციის დროს. მაგალითად თუ ერთი კოლონა ვიბრირდება 2 ეტაპად და თითო ეტაპზე 40 წამი და მეორე კოლონაც ვიბრირდებოდა 2 ეტაპად და თითო ეტაპზე 45 წამი, მეორე კოლონა უფრო ღია ფერის გამოვა რადგან 5 წამით მეტი ვიბრაცია გაუკეთდა, რაც იწვევს დამატებით წყლის და ფორების ამოტანას ზედაპირზე და გამოვა სხვა ტონალობის. ამ დროს თუ გამოყენებულია პიგმენტი (პიგმენტის მარცვლის ზომა 100000-ჯერ უფრო წვრილია ვიდრე ცემენტის მარცვალი და ვიბრაციის დროს ზედაპირზე მარტივად ამოიტანს ამ მარცვლებს, შესაბამისად თუ ზედმეტად მოხდა ვიბრირება ბევრ მარცვალს ამოიტანს და ის ადგილი იქნება განსხვავებული ტონალობის, ხოლო თუ ნაკლებად გაუკეთდა ვიბრაცია ნაკლებ მარცვალს ამოიტანს ზედაპირზე და მაინც განსხვავებული ფერის გამოვა. პიგმენტის გარეშეც იგივე პროცესი

ხდება, უბრალოდ ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს უკვე ცემენტის მარცვლებთან და სხვაობა ფერებში მაინც იქნება, ოღონდ ბევრად უფრო ნაკლებად შესამჩნევი და 4-5 თვის შემდეგ მაინც ერთ ფერში დაჯდება.

11.6. როგორც ვხედავთ საქმე გვაქვს ისეთი ტიპის ბეტონთან, რომელიც საჭიროებს ყველა პარტიაზე მუდმივად ერთგვაროვანი მასალების ქონას, მუდმივად მსგავსი შედგენილობით ბეტონის მომზადებას, მუდმივად ერთიდაიგივე პირობებში დაყალიბებას, მუდმივად ერთიდაიგივე ბრიგადის მიერ ერთიდაიგივე პროცედურებით ბეტონის მიღებას და ყალიბში მოთავსებას. ბეტონის ქარხნის დოზატორები გათვლილია 2-3 კუბი ბეტონის შერევაზე ერთ ეტაპზე, შესაბამისად საქმე გვაქვს ისეთ დოზატორებთან, რომლთა ცვალებადობა დაახლოებით 1%-ია. 1%-იანი ცვალებადობით საფასადე ბეტონში კი ვღებულობთ ფერთა სხვადასხვა ტონალობას, რაც უპიგმენტო ბეტონებში ასე თუ ისე დროთა განმავლობაში სწორდება, მაგრამ პიგმენტთან ბეტონის კონსტრუქციებში რჩება უცვლელი და ფერთა სხვაობა დროთა განმავლობაშიც არის უცვლელი და კონსტრუქცია აჭრელებული.

სადისერტაციო თემაზე ავტორის მიერ გამოქვეყნებულია შემდეგი ძირითადი შრომები:

№ № პ.რ	სამეცნერო შრომების დასახელება	ნაბეჭდი ან ხელ- ნაწერი	გამომცემლობა, ჟურნალი (ნომერი, წელი) ან საავტორო მოწმობის ნომერი	ნაბეჭდი თაბახის ან გვერდების რაოდენობა	თანაავტორის გვარი
I	II	III	IV	V	VI
1	ბუნებრივი ფოროვანი შემვსებების გამოყენება სხვადასხვა დანიშნულების კონსტრუქციებში	ნაბეჭდი	ჟურნალი „ენერჯია“, #2(50), 2009, გვ. 104-107	4	ლ. უგულავა

2	მსუბუქი დეკორატიული ბეტონი	ნაბეჭდი	სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, #2(45), 2017, გვ. 29-31	3	ლ. უგულავა
3	Декоративный Бетон на основе вулканических шлаков	печатный	ჟურნალი „ენერჯია“, #2(82), 2017, გვ. 113-115	3	ლ. უგულავა
4	დეკორატიული ბეტონის გამოყენება საწარმოო ნაგებობებში	ნაბეჭდი	სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, #2(49), 2018, გვ. 34-36	3	ლ. უგულავა

ავტორის მიერ მომზადებულია და დაცულია სამი კოლოქეიუმი და 2 სემინარი.