



**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი**

გიორგი რობაქიძე

**არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დამზადება ადგილობრივი**

**შემგსებების ბაზაზე**

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

შიფრი: 131601

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

0175 თბილისი, საქართველო

2019 წელი

საავტორო უფლება, 2019 წელი, გიორგი რობაქიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი რობაქიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დამზადება ადგილობრივი შემვსებების ბაზაზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

3 მაისი, 2019 წელი.

ხელმძღვანელი: პროფესორი ლიანა უგულავა

რეცენზენტი: პროფესორი შახი ბაქანიძე

რეცენზენტი: პროფესორი ოთარ ჩაკვეტაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019 წელი

ავტორი: გიორგი რობაქიძე

დასახელება: „არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დამზადება

ადგილობრივი შემგებების ბაზაზე“

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

ხარისხი: ინჟინერიის დოქტორი მშენებლობაში

სხდომა ჩატარდა: 3 მაისი, 2019 წელი.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტის მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

გიორგი რობაქიძე -----

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

XXI საუკუნეში ბეტონი კვლავ რჩება ნომერ პირველ სამშენებლო მასალად. ბოლო კვლევების თანახმად სასმელი წყლის შემდეგ ყველაზე მოხმარებადი მასალა გახლავთ ცემენტი და მისგან დამზადებული პროდუქცია: ბეტონები, დუღაბები, სხვადასხვა სახის სამშენებლო ხსნარები და სხვა. კაცობრიობის განვითარება ძალზედ სრწაფი ტემპტებით მიმდინარეობს და ეს პროცესი პირდაპირ მნიშვნელოვნად აისახება მშენებლობაზე და შესაბამისად ბეტონზე, როგორც ნომერ პირველ და ყველაზე მოთხოვნად სამშენებლო მასალაზე.

დისერტაციის მიზანია ადგილობრივი შემვსებების გამოყენებით არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დამზადება. აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დაისვა და განხორციელდა შემდეგი ამოცანები:

- ✓ მოძიებულ იქნა ინფორმაცია და შესწავლილ იქნა ბაზრის მოთხოვნა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შესახებ;
- ✓ შემუშავდა კვლევის გეგმა და მეთოდიკა;

კვლევის შედეგად გადაწყვეტილ იქნა მეტად მნიშვნელოვანი საკითხები არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მისაღებად და შემუშავებულ იქნა რეკომენდაციები და სპეციფიკაციები აღნიშნული ტიპის ბეტონზე.

- ✓ განხორციელდა ადგილობრივი მძიმე და მსუბუქი შემვსებების შესწავლა და შერჩეულ იქნა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად;
- ✓ მომზადდა საცდელი ბეტონები და ნიმუშები წარმოდგენილია პრეზენტაციისთვის;
- ✓ განხორციელდა ზედაპირის დამცავი მასალის შერჩევა და ეფექტურობის დადგენა;
- ✓ ჩვენს მიერ შემუშავებული შედგენილობით შესრულებულ იქნა რამოდენიმე მასშტაბური პროექტი და მოლოდინის რეჟიმშია კიდევ რამოდენიმე;
- ✓ შესწავლილ იქნა ეკონომიკური ეფექტი და შედარდა სტანდარტულ ბეტ-

ონს ფასის კუთხით და დადგინდა ფასთა შორის სხვაობები.

- ✓ სამომავლოდ დაგეგმილია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის სხვადასხვა ტიპების დამზადება, როგორცაა არქიტექტურულ-თვითვებ-რირებადი ბეტონების დამზადება.

როგორც კვლევებმა და შედეგებმა გვაჩვენა, წარმატებით განხორციელებულ იქნა ჩვენი მიზანი, რომ დაგვემზადებინა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი ადგილობრივი შემსრულებლების გამოყენებით; შეგვემუშავებინა აღნიშნული ტიპის ბეტონისთვის სპეციფიკაცია (მოთხოვნები) და მიღებული პროდუქტი წარმატებით დაგვეწერა და გამოგვეყენებინა პროექტების განხორციელებაში.

## 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.

## შინაარსი

შესავალი -----	11
1. საკვლევი თემის აქტუალურობა, სიახლე და დისერტაციის მიზანი -----	16
2. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დეფინიცია და ტიპები -----	19
2.1 არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის გამოყენების არეალი და უპირატესობანი -----	24
3. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კვლევის მეთოდების შედგენა -----	27
4. ბეტონისთვის საჭირო ნედლეულის შერჩევა და შედგენილობების გაანგარიშება -----	29
4.1 მძიმე, მსუბუქი და ცემენტისებრი შემკვებების შერჩევა არქიტექტურული ბეტონის დასამზადებლად -----	31
4.2 ცემენტის შერჩევა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად -----	47
4.3 ბეტონის ქიმიური დანამატების და პიგმენტების შერჩევა -----	49
4.4 არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება -----	51
4.4.1 მძიმე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება და თვისებები -----	52
4.4.2 მსუბუქი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება და თვისებები -----	72
5. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მომზადების და ტრანსპორტირების თავისებურებანი -----	80
6. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციების მოვლა და ზედაპირების დაცვითი საშუალებები -----	82
7. სამშენებლო ყალიბების მოწყობა, ბეტონირების და კომპაქტირების თავისებურებანი -----	84
8. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ეკონომიკური ეფექტი -----	88
9. დასკვნა -----	89
10. გამოყენებული ლიტერატურა -----	91
11. დანართი 1 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობის რეკომენდაციები -----	93

## ცხრილების და ნახაზების ნუსხა

ცხრილი №1 - ქვიშა 0-2 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი -----	33
ცხრილი №2 - ქვიშა 0-2 მმ-ის (ყვითელი) ქიმიური შედგენილობა -----	33
ცხრილი №3 - ქვიშა 0-5 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი -----	34
ცხრილი №4 - ქვიშა 0-5 მმ-ის ქიმიური შედგენილობა -----	34
ცხრილი №5 - წვრილი შემვსებების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები -----	35
ცხრილი №6 - ღორღი 5-10 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი -----	37
ცხრილი №7 - ღორღი 5-10 მმ და ღორღი 10-20 მმ -ის ქიმიური შედგენილობა -----	37
ცხრილი №8 - ღორღი 10-20 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი -----	38
ცხრილი №9 - მსხვილი შემვსებების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები -----	40
ცხრილი №10 - კირქვის მტვრის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები -----	41
ცხრილი №11 - კირქვის მტვრის ქიმიური შედგენილობა -----	41
ცხრილი №12 - სულდას ვულკანური წიდების ქიმიური შედგენილობა -----	42
ცხრილი №13 - სულდას ვულკანური წიდების ფ/მ მახასიათებლები -----	42
ცხრილი №14 - ცემენტის ქიმიურ-ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები -----	48
ცხრილი №15 - ქიმიური დანამატების დეტალური სპეციფიკაცია -----	50
ცხრილი №16 – SikaCem Color-ის პარამეტრები -----	50
ცხრილი №17 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მოთხოვნები -----	51
ნახაზი №1 - არქიტექტურული ბეტონის საერთო გრანულომეტრიული მრუდი -----	53
ცხრილი №18 - საერთო გრანულომეტრიული ანალიზი -----	54
ცხრილი №19 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობა -----	54
ცხრილი №20 - არქიტექტურული ბეტონის ნარევის და გამყარებული ბეტონის თვისებები -----	56



ცხრილი №21 - არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა საწარმოსთვის -----	58
ცხრილი №22 - ფერადი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა -----	61
ცხრილი №23 - თეთრი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა და შედეგები-----	67
ცხრილი №24 - მსუბუქი ბეტონის შედგენილობა -----	73
ცხრილი №25 - დეკორატიული მსუბუქი ბეტონის შედგენილობა და თვისებები-----	76

## მადლიერების გვერდი

გვინდა მადლიერება გამოვხატოთ კომპანია ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯიას მიმართ, რადგან კომპანიას უდიდესი წვლილი მიუძღვის ნაშრომის შესრულებასთან დაკავშირებულ უამრავ საკითხთან: ყველა ექსპერიმენტი, ტესტირება და გამოცდა განხორციელდა მის კუთვნილ სამშენებლო მასალების საგამოცდო ლაბორატორიაში, რომელიც აკრედიტირებულია სახელმწიფო სტანდარტი ISO 17025:2010 მოთხოვნების შესაბამისად.

მინდა მადლიერება გამოვხატო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის მიმართ და განსაკუთრებით №91 მიმართულების მიმართ, რომელთა წვლილი უდიდესია ნაშრომის შესრულებაში მათი გამოცდილების, მათგან შეძენილი ცოდნის და გამოცდილების გამო.

## შესავალი

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 მრავალფეროვანი ფორმები და ამავდროულად ეს ყველაფერი ძალიან არ უნდა აძვირებდეს მშენებლობის ხარჯებს.

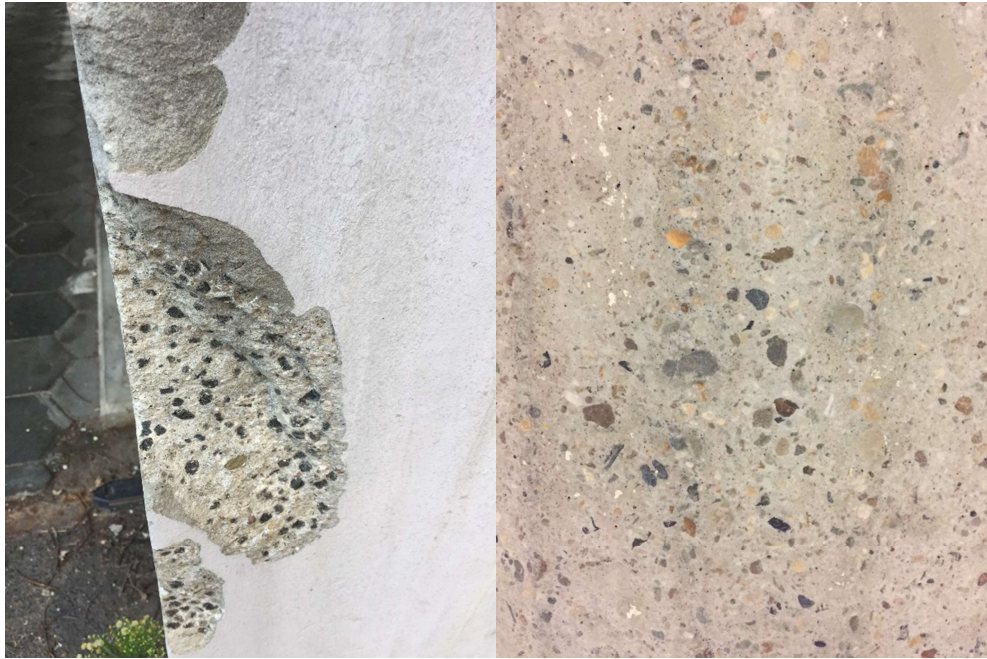
მშენებლობაში ყველაზე მოთხოვნადი, გამოყენებადი ერთ-ერთი ღირებული მასალა არის ბეტონი. ზემოთ როგორც ავლინშნეთ, მოთხოვნებიც იზრდება სპეციალური ტიპის ბეტონებზე და ეს ყველაფერი უნდა იწვევდეს მშენებლობის ხარჯების ცოტათი მაინც გაძვირებას.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ისტორია მსოფლიოში ბოლო 25-30 წლის წინ გამოჩნდა და მალევეო ჰპოვა დიდი გამოხმაურება და დღემდე მაღალი ტემპებით მიმდინარეობს ამ პროდუქტის დახვეწა, განვითარება, ოპტიმალური შედგენილობების დადგენა და ასე შემდეგ. სურათი №1,2,3-ზე იხილეთ მსოფლიოს სხვადასხვა ქალაქებში განხორციელებული პროექტები, რომელთა გადაწყვეტა სწორედ არქიტექტურული ბეტონებით მოხდა. [1]



სურათი №1 - საცხოვრებელი სახლი ეპელჰაიმშიმ გერმანია (ზედა ფოტო)

- საოფისე შენობა ჰაიდელბერგში, გერმანია (ქვედა ფოტო)



სურათი №2 - მსუქბუქი არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ელემენტები,  
ამსტერდამი, ნიდერლანდების სამეფო.



სურათი №3 - მეტრო სადგურის ინტერიერი გადაწყვეტილი არქიტექტურულ-  
დეკორატიული მძიმე ბეტონით. ამსტერდამი, ნიდერლანდების სამეფო.

საქართველოშიც დღით-დღე იზრდება მსგავსი პროექტებისადმი მოთხოვნილება და შესაბამისად იზრდება მოთხოვნილება სპეციალური სამშენებლო მასალის -არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის განვითარებაზე. ერთ-ერთი უდიდესი მსგავსი პროექტი, რომელიც საქართველოში არის განხორციელებული, გახლავთ საოფისე შენობა კახეთის გზატკეცილზე (სურათი №4). ეს შენობა მთლიანად აგებულია თეთრი დეკორატიული ბეტონის გამოყენებით, ანუ ამ შენობის კონსტრუქციული ელემენტები (საყრდენი კოლონები, გადახურვის ფილები, მზიდი კედლები, დიაფრაგმები) დამზადებულია თეთრი დეკორატიული ბეტონის გამოყენებით. გარდა სიმტკიცისა, ამ ბეტონს მოთხოვნიან ჰქონდა ფაქტურასა და ხანმედეგობაზე. ამ ბეტონის შედგენილობა შემუშავებულია საქართველოში ევრო სტანდარტის მოთხოვნების დაცვით.



სურათი №4 - საოფისე შენობა თბილისში, საქართველო.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონების ისტორია საქართველოში არც თუ ისე დიდი ხნის ისტორიას ითვლის. შეიძლება თამამად ითქვას რომ ბოლო

რამოდენიმე წლის წინ გაჩნდა პირველი მოთხოვნები სამშენებლო ბაზარზე და დღეს თამამად შეიძლება ითქვას რომ მზარდი ტემპებით ვითარდება ეს პროცესი, რაც რაღა თქმა უნდა ასევე სწრაფი ტემპებით მოითხოვს საფუძვლიან შესწავალს და განვითარებას. სურათი №5-ზე შეგიძლიათ იხილოთ თბილისში განხორციელებული ერთ-ერთი პირველი პროექტი, რომლის გადაწყვეტა სწორედ რომ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით განხორციელდა.



სურათი №5 - ეროვნული ბანკის ფულის საცავი, თბილისი.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი უკვე განხორციელებული პროექტებისა უკვე მიმდინარეობს რამოდენიმე ათეული პროექტი თბილისში, სადაც მოთხოვნას წარმოადგენს არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობა. ყოველივე აქედან გამომდინარე გადავწყვიტეთ უფრო დეტალურად შეგვესწავალა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი.

## 1. საკვლევი თემის აქტუალურობა, სიახლე და დისერტაციის მიზანი

შესავალშიც ავნიშნეთ რომ 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 მ<sup>3</sup>, ხოლო 2017 წელს ამ 33582 მ<sup>3</sup> შეადგინა, რაც დაახლოებით 2.5-ჯერ მეტია. სწორედ ამიტომ გადავწყვიტეთ ამ საკითხის უკეთ შესწავლა, დახვეწა და განვითარება. [2]

ძალიან ბევრი არქიტექტორი და არქიტექტურული კომპანია საქართველოში ცდილობა უკვე მხარი აუბას თანამედროვეობას და მეტი პროექტი განახორციელონ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით, რისი ნათელი მაგალითიც გახლავთ კომპანია ხმალაძე და არქიტექტორების მიერ განხორციელებული საოფისე შენობის პროექტი, რომლის ერთ-ერთი მოთხოვნა სწორედ რომ აქტიტექტურულ ბეტონზე იყო. სურათი №6-ზე მოცემულია აღნიშნული პროექტი.



სურათი №6 - „ხმალაძე და არქიტექტორები“ - საოფისე შენობა



აღნიშნულ კომპანიას ეკუთვნის ასევე ბათუმის McDonald's-ის დიზაინი (მსოფლიოს ერთ-ერთი ულამაზეს შენობათა ნომინაციაში გამარჯვებული), რომელის ფასადის მცირე ნაწილი ასევე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონია, თუმცა იმ განსხვავებით რომ ფასადზე სპეციალური მასალით მიკრობილია წინასწარ გამზადებული დეკორატიული ბეტონის თხელი და შედარებით მცირე ზომის ფილები, ექსტერიერის სრულყოფილებისთვის.

დღითი-დღე მატულობს იმ ადამიანებისა თუ კომპანიების რაოდენობა, რომლებიც თავიანთი პროექტის განხორციელებას მსგავსი მეთოდით აპირებენ, რაც ქმნის იმის საფუძველს რომ დეტალურად იქნეს ესეთი ტიპის ბეტონები შესწავლილი და მოხდეს ოპტიმალური შედგენილობების გაანგარიშება გადახარჯვების გარეშე.

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. [3]

აქამდე, რაც შესავალსა თუ ჩვენს მიერ მომზადებულ თემატურ სემინარებში ვისაუბრეთ, მხოლოდ დადებით მხარეებს ვახსენებდით არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონისა. როდესაც ვსაუბრობთ ბეტონზე, რომელსაც მრავალი წლის განმავლობაში პირდაპირი შეხება უნდა ჰქონდეს გარემო პირობებთან, ისმის

კითხვა: გაუძლებს კი მრავალი წლის განმავლობაში ყინვას? მზის პირდაპირ მოქმედებას? ჰაერში არსებულ ამა თუ იმ ნივთიერებების (ქლორიდები) ზემოქმედებას? ბეტონი კი წარმოადგენს უნიკალურ სამშენებლო მასალას, რომელიც როგორც ჰაერზე ასევე წყალში, მაგრამ წლების განმავლობაში რამდენად უძლებს ის გარემოს ზემოქმედებას? სწორედ იმ საკითხების ზედმიწევნით შესწავლა, რომელიც წინა აბზაცში იყო ნახსენები (შემვსებების თვისებები, გარემოს პირობები, შემკვრელის და ქიმიური პლასტიფიკატორების თვისებები) მოგვცემს იმის საშუალებას რომ სტანდარტული (დღეს ბაზარზე არსებული მასალები) მასალებით მოხდეს მაღალი ხარისხის და არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის წარმოება, რაც თავის მხრივ არ გამოიწვევს ფასის ზრდას და პროდუქტი იქნება ევროსტანდარტების მოთხოვნების დაცვით წარმოებული.

## 2. 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 აყმაყოფილებს როგორც კონსტრუქციული დატვირთვების მოთხოვნებს, ასევე ასრულებს შენობა-ნაგებობების მხატვრულ-ესთეტიკურ მოთხოვნებსა და ღირებულებებს და იძლევა შესაძლებლობების დიდ სპექტრს.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის პირველი ტექნოლოგია 1960-იან წლებში ამერიკის შეერთებულ შტატებში შეიქმენა. ამ პერიოდში პირველად დაიწყო „დაბეჭდილი ბეტონით“ ზედაპირების მოწყობა და ფერადი ბეტონის ზედაპირები. ნელ-ნელა უფრო პოპულარული ხდებოდა აღნიშნული ტექნოლოგია, რადგან გამოირჩეოდა დაბალი ფასით, ვიდრე ბუნებრივი შედარებით ძვირფასიანი მასალები, როგორცაა გრანიტი, მარმარილო და ამავდროულად ესთეტიკური მხარე რიგ შემთხვევებში უკეთესი ჰქონდა ვიდრე ბუნებრივი მასალებით შესრულებულს.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონმა ყველაზე დიდი განვითარება გერმანიაში ჰპოვა, რადგან დღემდე გერმანიაა ყველაზე დიდი მომხარებელი აღნიშნული პროდუქტის. შემუშავებულ იქნა სპეციალური მასალა, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნებოდა რთული გეომეტრიული ფორმებისა და კონსტრუქციების მიღება და ამავდროულად ექნებოდა ესთეტიკური დანიშნულება, როგორც შიდა, ასევე გარე სივრცეებისთვის.

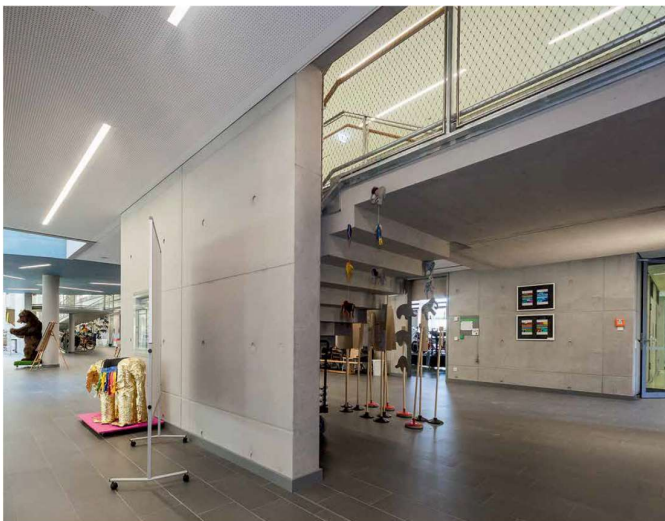
დროთა განმავლობაში არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი გერმანიაში ისეთი მოთხოვნადი მასალა გახდა რომ დაპატენტდა სპეციალური სახელით - “SichBeton” (ზიხტბეტონი). ზიხტბეტონი არის ბეტონი, რომლის ზედაპირიც არ არის შელესილი და დაფარული სხვა სამშენებლო მასალით და რომელიც ასევე

ასრულებს მხატვრულ-შემოქმედებით ფუნქციებს. ზიხტბეტონს აქვს თავისი სტანდარტი (DIN 18127), რომელიც ითვლება საუკეთესო სახელმძღვანელოდ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მოთხოვნების შესასრულებლად.

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 - „სკლუპტურული ბეტონი“.

ბეტონმა თვისობრივი მნიშვნელობით „არქიტექტურული ბეტონი“ დიდი განვითარება და გამოყენება ჰპოვა გერმანიაში, როგორც მაღალ ტექნოლოგიურმა სამშენებლო მასალამ, რომლის საშუალებითაც უამრავი თანამედროვე არქიტექტურული ამოცანების გადაჭრა იქნებოდა შესაძლებელი. მას გერმანიაში ზიხტბეტონს (SichtBeton) უწოდებენ (ე.წ. „გამოკვეთილი ბეტონი“) [4,5]



სურათი №7 - ზიხტბეტონით შესრულებული პროექტები გერმანიაში

არქიტექტურული ბეტონის წარმოება, დღევანდელ მსოფლიოს ბაზარზე ერთ-ერთი პოპულარული და ტენდენციური ტექნოლოგიაა, რომელიც გამოირჩევა მშენებლობის სისწრაფით, განსაკუთრებულად მაღალი ხარისხით და საშუალებას იძლევა შეიქმნას არსებითად ერთგვაროვანი და ერთიანი თანამედროვე არქიტექტურული ზედაპირები თუ სივრცეები.

საქართველოშიც დიდი ნახტომებით მიმდინარეობს აღნიშნული ტექნოლოგიების დანერგვა და გამოყენება როგორც სამრეწველო, ასევე სამოქალაქო თუ საგზაო მშენებლობაში. ამ კუთხით გვხვდება შემდეგი ტიპის არქიტექტურული ბეტონები:

- სტანდარტული მასალებით და სპეციალური ბეტონის შედგენილობით მიღებული არქიტექტურული ბეტონი, რომელიც იგივეა რაც საერთაშორისო ნორმებით I კლასი - არქიტექტურული ბეტონი.
- ბუნებრივი ფერადი შემავსებლებით მიღებული დეკორატიული ბეტონი (ამ ტიპის ბეტონი, რიგ შემთხვევებში დამატებით მოითხოვს ზედაპირის მოხეხვას და სპეციალური ლაქით დამუშავებას)
- სპეციალური მძიმე ბეტონი დამზადებული სხვადასხვა სახის პიგმენტებით.
- სტანდარტული ბეტონის ზედაპირების დამუშავება სხვადასხვა სახისა და ფერის მაღალ მარკიანი შემკვრელი ნივთიერებების გამოყენებით.
- ფერადი ცემენტების გამოყენებით მიღებული დეკორატიული ბეტონები.
- ბექდურ-დეკორატიული ბეტონი.

თითოეულ ამ ჯგუფში არსებობს უამრავი ვარიაცია დეკორატიულ-არქიტექტურული ბეტონებისა, რადგან თანამედროვე მშენებლობა დღითიდღე ვითარდება და ბაზარზე შემოდის ახალი ტიპის ესა თუ ის მასალა, რაც საშუალებას იძლევა დიდი განვითარების და შესაძლებლობების ფართო არჩევანს.

ხშირ შემთხვევაში არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი საუკეთესო გადაწყვეტილებაა საინჟინრო, ეკონომიკური და ესთეტიკური საშუალებების გადასაწყვეტად, რომლის ნათელი მაგალითი თბილისში განხორციელებული მასშტაბური ყავის ქარხნის პროექტია. (სურათი №7)



სურათი №7 - ყავის ქარხანა თბილისში, კახეთის გზატკეცილზე.

სურათი №7-ზე მოცემული პროექტიც ჩვენს მიერ შემუშავებული არქიტექტურულ დეკორატიული ბეტონით განხორციელდა, რომელიც დამზადებული იყო ადგილობრივ შემკვებებზე. ბეტონის დასახელება: SichtBeton B30 W6 F200.



სურათი №8 – Ferrari-ის შოურუმი მიუნხენში, გერმანია

სურათი №8-ზე მოცემული პროექტი განხორციელებულია „ჰაიდელბერგცემენტ გერმანიის მიერ, რომლის კონსტრუქციებისთვის გამოიყენეს არქიტექტურული ბეტონი, კლასით: SichtBeton C30/37 SV D8.

## 2.1 არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის გამოყენების არეალი და უპირატესობანი

დეკორატიულ-არქიტექტურული ბეტონის გამოყენების არეალი არის უსაზღვრო და ფაქტიურად თითქმის ნებისმიერი სამოქალაქო თუ სამრეწველო მშენებლობის განხორციელებაა შესაძლებელი, კერძო და მრავალსართულიანი საცხოვრებელი შენობა ნაგებობები, ქარხნები, ველო ბილიკები, სასაერნო ბილიკები, წინასწარგამზადებული სხვადასხვა ფორმისა თუ ფერის პანელები, სამრეწველო თუ საპარკინგე იატაკები და ა.შ.

დეკორატიულ-არქიტექტურული ბეტონით მშენებლობის უპირატესობას წარმოადგენს პირველ რიგში ის რომ ეს თუ ის შენობა ნაგებობა თუ კონსტრუქციული ელემენტი, რომელიც ამ ბეტონითაა განხორციელებული, შემდგომში აღარ საჭიროებს არავითარ დამუშავებას: ზედაპირის სხვა მასალით მოპირკეთებას, შეღებვას, შეფუთვის და ა.შ. გთავაზობთ საქართველოში განხორციელებული რამოდენიმე პროექტის ჩამონათვალს, სადაც ბეტონის სამუშაოთა უმეტესი ნაწილი განხორციელდა დეკორატიულ-არქიტექტურული ბეტონების გამოყენებით: ბათუმის ბულვარის საფეხმავლო ბილიკი, რიყის პარკის საფეხმავლო ბილიკები, ლონდონის პარკის საფეხმავლო ბილიკები, სავაჭრო ცენტრ გუდვილის სამრეწველო იატაკი, საოფისე შენობა კახეთის გზატკეცილზე, ყავის ქარხანა კახეთის გზატკეცილზე, კერძო დანიშნულების სახლები წყნეთსა და წავკისში და მრავალი სხვა..

არქიტექტურული ბეტონით მშენებლობა ნიშნავს არა მხოლოდ მზიდ უნარიანი კარკასების მშენებლობას, არამედ მზიდუნარიანი და გაფართოებული ესთეტიკური უნარების მქონე მაღალტექნოლოგიური სამშენებლო მასალით მშენებლობას, რომლის გამოყენებითაც შესაძლებელია თითქმის ნებისმიერი მხატვრულ-დეკორატიული ამოცანების გადაწყვეტა და ამავდროულად იტვირთოს მზიდუნარიანობა და იყოს გაცილებით ეკონომიკური.

არქიტექტურული ბეტონი, ან როგორც მას ხშირად უწოდებენ, დეკორატიული ბეტონი გამოირჩევა მისი მაღალი ხარისხით ბეტონისთვის ნეგატიური აგრესიების მიმართ, ისეთი აგრესიებისა, როგორცაა გარემო ტემპერატურის



ხშირი ცვალებადობა, ჰაერის ტენიანობის მომატება, ჰაერში არსებული ნესტის ზემოქმედება და სხვა მრავალი.

სწორედ რომ, მისი მაღალი ხარისხი განაპირობებს ზემოთ ჩამოთვლილი აგრესიული გარემოების მიმართ მედეგობას და ეს რა თქმა უნდა დიდ უპირატესობას აძლევს სხვა ძვირად ღირებულ მასალასთან შედარებით.

არქიტექტურული ბეტონით მშენებლობა უამრავი უპირატესობით გამოირჩევა, რომელთაგან გამოვყოფდით რამოდენიმეს:

- ✓ 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.

სურათი №9-ზე მოცემულია ჩვენს მიერ შემუშავებული არქიტექტურული ბეტონის სახეობით-„ბეჭდური ბეტონით“, სასტუმრო ამბასადორ კაჭრეთის შიდა ტერიტორიის გზებისა და ბილიკების მოწყობა. გამოყენებული ბეტონის კლასი: FloorCrete C32/40 S3 D10 W6 F200. შეიქმნა გზის იმიტაცია, რომელიც თითქოს ბუნებრივი მოყავისფრო ქვის წინასწარ გამოთლილი ფილებით არის მოწყობილი.



სურათი №9 - ბექდური ბეტონი FloorCrete C32/40 S3 D10 W6 F200, კაჭრეთი

### 3. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კვლევის

#### მეთოდების შედგენა

როგორც შესავალსა და პირველ თავში ავლინებთ, ჩვენი კვლევების მიზანს წარმოადგენს არქიტექტურული ბეტონის დამზადება საქართველოში მოპოვებული შემვსებების გამოყენებით. მიზნის მისაღწევად დავისახეთ გეგმა, რომლის მიზანი პროდუქტის საფუძვლიანი შესწავლა, სიახლეების წარმოჩენა და საბოლოოდ მაღალტექნოლოგიური კომპლექსური სამშენებლო მასალის მიღებაა.

არქიტექტურული ბეტონის და ზოგადად ნებისმიერი ტიპის ბეტონის ძირითად შემადგენელ მასალას წარმოადგენს შემვსებები. აქედან გამომდინარე ჩვენი გეგმის საწყის შემადგენელი პუნქტებში, შემვსებებს ნომერ პირველი და ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია.

- 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 ანარევების 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.

აღნიშნული გეგმის განხორციელება, საშუალებას მოგვცემს გავაკეთოდ უმნიშვნელოვანესი დასკვნები და აღმოჩენები არქიტექტურული ბეტონში. დავადგინოთ ბეტონის ოპტიმალური შედგენილობები, მივიღოთ მაღალი ხარისხის, თანამედროვე და ტენდენციური სამშენებლო მასალა - არქიტექტურული ბეტონი, რომელიც დამზადებული იქნება ადგილობრივი შემკვრებით და შემკვრელი ნივთიერებებით.

#### 4. ბეტონისთვის საჭირო ნედლეულის შერჩევა

##### და შედგენილობების გაანგარიშება

როგორც სტანდარტული მძიმე და მსუბუქი ბეტონი, ასევე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონიც წარმოადგენს ბეტონს, რომლის დამზადებამდე და შედგენილობის შერჩევამდე აუცილებელია საჭირო ნედლეულის მოძიება ადგილობრივ ბაზარზე, მათი თვისებების შესწავლა და საბოლოოდ 1 მ<sup>3</sup> კუბ ბეტონზე ხარჯების დადგენა.

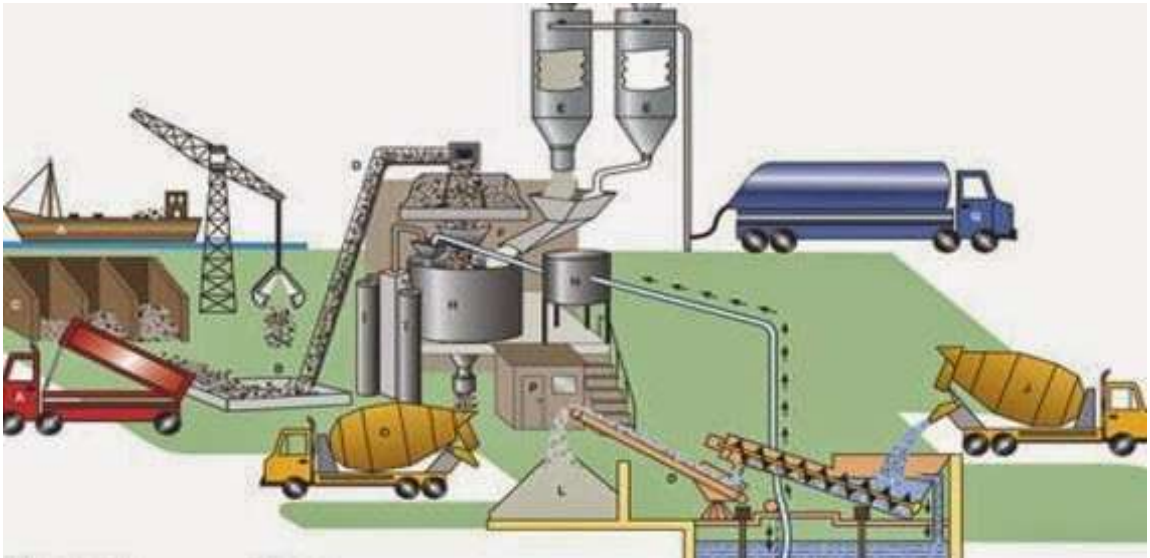
ბეტონის შემადგენელ ყველაზე მნიშვნელოვან მასალად შემკვრელი ნივთიერების შემდეგ არის ბეტონის შემვსებები, რადგან შემვსებები ქმნიან ხელოვნური ქვის სტრუქტურას, რომელიც ერთაშენთან დაკავშირებულია შემკვრელი ნივთიერებით - ცემენტით. აქედან გამომდინარეა, რომ ჩვენ სადისერტაციო თემაში ყურადღება გამახვილებულია სწორედ რომ შემვსებებზე, მათი თვისებების შესწავლაზე და ოპტიმალური პროპორციების შესწავლაზე. არქიტექტურული ბეტონი დამზადებული უნდა იყოს სწორედ რომ ადგილობრივი მასალებით, რაც ჩვენს პირობებში შესაძლებელია, მაგრამ იმის გათვალისწინებით რომ ამ ბეტონს აქვს სპეციალური მოთხოვნები ბეტონის შემვსებებზე, აუცილებელია დეტალურად და სრულყოფილად იქნას 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. [6,7]

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონისთვის საჭიროა მოძიებულ იქნას შემდეგი სახეობების ნედლეული:

- შემკვრელი ნივთიერება - ცემენტი
- ბეტონის წვრილი და მსხვილი შემვსებები

- ბეტონის ცემენტისებრი და მსუბუქი ფოროვანი შემცველები
- ბეტონის მოსამზადებელი წყალი
- ბეტონის ქიმიური დანამატები
- ბეტონისთვის საჭირო პიგმენტები

მასალების მოძიების, არჩევის თვისებების შესწავლის შემდგომ განხორციელდება ბეტონის შედგენილობების გაანგარიშება, საცდელი ანარეგების მომზადება და საპრეზენტაციო ნიმუშების დამზადება.



სურათი №10 - ბეტონის მომზადების სქემა ქარხნულ პირობებში.

#### 4.1 მიმე, მსუბუქი და ცემენტისებრი შემვსებების შერჩევა არქიტექტურული ბეტონის დასამზადებლად

ქართულ სამშენებლო ბაზარზე ბეტონის შემვსებები წარმოდგენილია 4 ძირითად ჯგუფად:

1. ბეტონის წვრილი შემვსებები; ეს ჯგუფი აერთიანებს ქვიშებს, რომლის მარცვლის ნომინალური ზომა 0-დან 5 მმ-მდეა. (ქვიშა 0-2 მმ, ქვიშა 0-5მმ, ქვიშა 0-3 მმ, ქვიშა 0-1 მმ). აღნიშნული ტიპის ქვიშები ძირითადად წარმოადგენს მინდვრის შპატოვანი ქანებიდან წარმოქმნილ ბუნებრივ მასალას, რომლის მოპოვება წარმოებს ძირითადად მდინარის კალაპოტიდან ამოღებული ქვიშა-ხრეშოვანი ნარევის გადამუშავებით. შესაძლებელია ასევე ბუნებრივი მთის მასივებში წარმოქმნილი მასალის გადამუშავების შედეგად სამშენებლო ქვიშების მიღება და წარმოება (ე.წ. „ყვითელი ქვიშა“)
2. ბეტონის მსხვილი შემვსებები; ეს ჯგუფი აერთიანებს ღორღებს, რომლის მარცვლის ნომინალური ზომა 5 მმ-დან 40 მმ-მდეა. (ღორღი 5-10 მმ, ღორღი 10-20 მმ, ღორღი 5-20 მმ, ღორღი 20-40 მმ, ღორღი 5-8 მმ, ღორღი 5-16მმ, ღორღი 16-32 მმ და ასე შემდეგ). აღნიშნული ტიპის ღორღები ძირითადად წარმოადგენს მინდვრის შპატოვანი ქანებიდან წარმოქმნილ ბუნებრივ მასალას, რომლის მოპოვება წარმოებს ძირითადად მდინარის კალაპოტიდან ამოღებული ქვიშა-ხრეშოვანი ნარევის შემდგომი გადამუშავებით. შესაძლებელია ასევე ბუნებრივი კლდოვანი მასივების გადამუშავების შედეგად ღორღების მიღება და წარმოება.
3. ბეტონის ცემენტისებრი შემვსებები; ეს ჯგუფი აერთიანებს წვრილ ცემენტისებრ შემვსებებს, რომელთა ნომუნალური ზომა 0-დან 0.1 მმ-მდეა და რომელთა ხვედრითი ზედაპირი 2800-4500 სმ<sup>2</sup>/გ-ს შეადგენს. აღნიშნული ტიპის შემავსებლების დამზადება წარმოებს ცემენტის მსგავს წისქვილებში ბუნებრივი მასალების (კირქვა, დოლომიტი, ბაზალტი, ტუფი და სხვა) დაფქვით ცემენტის მსგავსად.
4. ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემვსებები; ეს ჯგუფი აერთიანებს მსუბუქ (ჰემარიტი სიმკვრივე ნაკლები ან ტოლი 1800 კგ/მ<sup>3</sup>) წვრილ და მსხვილ

შემგვსებებს. აღნიშნული ტიპის მასალების მოპოვება წარმოებს მსუბუქი ბუნებრივი ქანების მასივების შემდგომი გადამუშავებით. საქართველოს უამრავი რეგიონი მდიდარია მსუბუქი ბუნებრივი მასალის არსებობით და მათგან გამოსაყოფია „ვულკანური წიდა“, ასევე ბუნებრივი პერლიტი, ტუფი და სხვა. ჩვენი ყურადღება სწორედ რომ ვულკანურმა წიდამ მიიქცია, რადგან მისი ბუნებრივი ფერი არის მუქი წითელი და იდეალური მასალაა წითელი დეკორატიული მსუბუქი ბეტონის დასამზადებლად. აღნიშნული საკითხი დეტალურად გვაქვს შესწავლილი ჩვენს სამაგისტრო ნაშრომში და კვლევები და მონაცემები აღებულია სამაგისტრო ნაშრომიდან. [8]

- 1. ბეტონის წვრილი შემგვსებები:** არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის წვრილ შემგვსებებად ავირჩიეთ ბაზარზე წარმოდგენილი 2 ტიპის ქვიშა: 1. ქვიშა 0-2 მმ (ყვითელი შეფერილობის, სურამის მიმდებარე მთის მასივების გადამუშავების შედეგად მიღებული ქვიშა); 2. ქვიშა 0-5 მმ (მუქი ყავისფერი, მოშავო შეფერილობის, მდინარე ხრამიდან ამოღებული ქვიშა-ხრეშოავნი ნარევების გადამუშავების შედეგად მიღებული ქვიშა).

ამჯერად ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა 2 სახეობის ქვიშა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად. კომბინირებულად 2 ქვიშის გამოყენება აუცილებელი გახდა, რადგან ქვიშა 0-5 მმ, შეიცავს შედარებით მცირე რაოდენობით 0.25 მმ ზომის ფრაქციას. აღნიშნული ფრაქციის ზომა ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პარამეტრს წარმოადგენს არქიტექტურულ-დეკორატიულ ბეტონებში, რადგან ფერთა ტონალობაზე, სიმკვეთრეზე და ფორებით შევსების ხარისხზე სწორედ რომ ეს ფრაქცია თამაშობს ყველაზე დიდ როლს. ქვიშა 0-2 მმ-ის გამოყენებას ბეტონის დასამზადებლად ჰქონდა მეორე მიზეზიც - მისი ბუნებრივი ფერი, რომელიც მოთეთრო/მოყვითალოა; ფერადი ბეტონების დამზადებისას, ფერის უკეთესი ტონალობა, ფერის სიმკვეთრე და ფორებით შევსების ხარისხი უკეთესი გამოდის მინიმალური დანახარჯებით და ეკონომიის საშუალებას იძლევა.

ცხრილებში მოცემულია წვრილი შემგვსებების შემოწმების შედეგები და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.



ცხრილი №1 - ქვიშა 0-2 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი

მასალის დასახელება	საცრის ზომები, მმ	5.0	4.0	2.0	1.0	0.50	0.25	0.125	0.063	<0.063
ქვიშა 0-2 მმ (ყვითელი)	სრული ნარჩენი საცერზე, გრამი	0.0	3	59	143	278	515	620	680	680
	სრული ნარჩენი საცერზე, %	0.0	0.44	8.68	21.03	40.88	75.74	91.18	100.0	100.0
	სრულად გასული საცერში, %	100.0	99.56	91.32	78.97	59.12	24.26	8.82	0.0	0.0

ცხრილი №2 - ქვიშა 0-2 მმ-ის (ყვითელი) ქიმიური შედგენილობა

მასალა	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	L.O.I.
ქვიშა 0-2 მმ	81.5	6.22	5.71	2.60	0.10	0.33	0.16	0.01	0.0	3.37

როგორც ცხრილი #2-დან ჩანს ქვიშა 0-2 მმ შეიცავს 82%-მდე სილიციუმის ოქსიდს, რომელიც განაპირობებს კიდევ მის ფერს (მოთეთრო/მოყვითალო) და მისგან დამზადებული ბეტონი არის მედეგი სხვადასხვა აგრესიული გარემოების მიმართ. ამ ქვიშაში 0.25 მმ საცერში მთლიანად გასული მასალის პროცენტული

წილი 25%-მდეა, რაც საშუალებას გვაძლევს შევადგინოთ კომპლექსური და ოპტიმალური საერთო გრანულომეტრიული მრუდი, სადაც მაქსიმალურად იქნება ფორები და სიცარიელები შევსებული შემვსებების გამოყენებით.

ცხრილი №3 - ქვიშა 0-5 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი

მასალის დასახელება	საცრის ზომები, მმ	5.0	4.0	2.0	1.0	0.50	0.25	0.125	0.063	<0.063
ქვიშა 0-5 მმ	სრული ნარჩენი საცერზე, გრამი	0.0	57	212	396	592	788	870	910	910
	სრული ნარჩენი საცერზე, %	0.0	6.26	23.30	43.52	65.05	86.59	95.60	100.0	100.0
	სრულად გასული საცერში, %	100.0	93.74	76.70	56.48	34.95	13.41	4.40	0.0	0.0

ცხრილი №4 - ქვიშა 0-5 მმ-ის ქიმიური შედგენილობა

მასალა	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	L.O.I.
ქვიშა 0-5 მმ	54.33	23.32	7.35	5.43	3.03	0.12	0.14	2.3	0.0	3.98

გრანულომეტრიული ანალიზების და ქიმიური შედგენილობების დადგენის შემ-

დეგ, მოვახდინეთ ქვიშების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა; შედეგები მოცემულია ცხრილი №5-ში.

ცხრილი №5 - წვრილი შემვსებების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

№	ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები	ქვიშა 0-2 მმ (ყვითელი)	ქვიშა 0-5 მმ
1	ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	2.638	2.617
2	ნაყარი სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	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

ჩვენს მიერ შესწავლილი წვრილი შემვსებები მიეკუთვნება საქართველოში ძირითადად არსებულ წვრილ შემვსებებს, რომელთა გამოყენებით წარმოებს თითქმის ნებისმიერი ტიპის ბეტონის წარმოება და მათ შორის არქიტექტურული ბეტონის. სურათი №11-ზე მოცემულია ქვიშა 0-2 მმ-ის საწარმო სურამში.



სურათი №11 - ქვიშა 0-2 მმ-ს საწარმო სურამში, საქართველო.

2. **ბეტონის მსხვილი შემვსებები:** არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მსხვილ შემვსებებად ავირჩიეთ ბაზარზე წარმოდგენილი 2 ტიპის ღორღი: 1. ღორღი 5-10 მმ (მოშავო შეფერილობის, რომლიც ხასიათდება სხვადასხვა სახის ფერადი ქვების შემცველობით; მდინარე ხრამიდან ამოღებული ქვიშა-ხრეშოავნი ნარევების გადამუშავების შედეგად მიღებული ღორღი); 2. ღორღი 10-20 მმ (მოშავო შეფერილობის, რომლიც ხასიათდება სხვადასხვა სახის ფერადი ქვების შემცველობით; მდინარე ხრამიდან ამოღებული ქვიშა-ხრეშო-ვანი ნარევების გადამუშავების შედეგად მიღებული ღორღი).

აღსანიშნავია ერთი ფაქტი: ქვიშა 0-5მმ-ს და ორივე ტიპის ღორღს (5-10 მმ და 10-20 მმ) აწარმოებს ერთი კომპანია (ძირითადად საქართველოში შემვსებების მწარმოებელი ყველა კომპანია აწარმოებს აღნიშნულ ფრაქციებს). ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებულია მარნეულის სოფელ იმირში მდებარე შემვსებების მწარმოებელი კომპანია. სურათი №12-ზე მოცემულია საწარმო სოფელ იმირში.



სურათი №12 - ქვიშა 0-5, ღორღი 5-10 და ღორღი 10-20-ის საწარმო იმირში.

მსხვილი შემვსებების ღორღი 5-10 მმ და ღორღი 10-20 მმ-ის არჩევის შემდგომ მოვახდინეთ მათი წინასწარი შემოწმება და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა. ცხრილი №6-9-ში მოცემულია შემოწმების შედეგები.

ცხრილი №6 - ღორღი 5-10 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი

მასალის დასახელება	საგრის ზომები, მმ	22.4	16.0	11.2	8.0	5.0	4.0	2.0	1.0	<1.0
<b>ღორღი 5-10 მმ</b>	სრული ნარჩენი საცერზე, გრამი	0	0	0	315	1150	1736	1847	1853	1871
	სრული ნარჩენი საცერზე, %	0	0	0	16.84	61.46	92.78	98.72	99.04	100
	სრულად გასული საცერში, %	100	100	100	83.16	38.54	7.22	1.28	0.96	0

ცხრილი №7 - ღორღი 5-10 მმ და ღორღი 10-20 მმ -ის ქიმიური შედგენილობა

მასალა	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	L.O.I.
<b>ღორღი 5-10 მმ</b>	51.03	25.32	6.35	6.73	3.03	0.10	0.18	3.3	0.0	3.96
<b>ღორღი 10-20 მმ</b>	55.27	22.15	5.87	6.54	2.98	0.23	0.41	2.8	0.0	3.75

ღორღი 10-20 მმ-ის გრანულომეტრიული ანალიზი მოცემულია ცხრილი №8-ში.

ცხრილი №8 - ღორღი 10-20 მმ-ის გრანულომეტრიული ანაზლი

მასალის დასახელება	საცრის ზომები, მმ	31.5	22.4	16.0	11.2	8.0	5.0	4.0	2.0	<2.0
ღორღი 10-20 მმ	სრული ნარჩენი საცერზე, გრამი	0	14	948	1875	2256	2319	2325	2328	2340
	სრული ნარჩენი საცერზე, %	0	0.60	40.51	80.13	96.41	99.10	99.36	99.49	100
	სრულად გასული საცერში, %	100	99.40	59.49	19.87	3.59	0.90	0.64	0.51	0

შემვსებების შერჩევის და შემოწმების შემდეგ დავიწყეთ ინერტული მასალების რეაქციულობის შემოწმება ტუტე-სილიციუმის რეაქციაზე (ASR – Alkali-Silica Reaction), რადგან როგორც შესავალში ავღნიშნეთ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციებს პირდაპირი შეხება აქვთ გარემოსთან და შესაბამისად გარემოში არსებულ აგრესიულ ნივთიერებებთან; მუდმივ რეჟიმში მიმდინარეობს მზის და ყინვის ზემოქმედება, ჰაერში არსებული კარბონატების და ქლორიდების მოქმედება კონსტრუქციაში არსებულ არმატურაზე. ASR ტესტის შედეგებით დადგინდეს რეაქციულია თუ არა ესა თუ ის მასალა, რომელიც შერჩეულია ბეტონის კონსტრუქციების მოსაწყობად. აღნიშნული ტესტი განხორციელდა ამერიკული სტანდარტი ASTM C1260-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ტესტი მიმდინარეობდა 16 დღე-ღამის განმავლობაში. წინასწარ შერჩეული შემვსებებით ხორციელდება ძელაკების მომზადება და

მომზადებული ძელაკები მომზადებიდან მე-2 დღეს, 15 დღე-ღამის განმავლობაში თავსდება 80 გრადუსის მქონე NaOH-ხსნარში. მომზადებიდან მე-16 დღეს წარმოებს ნიმუშების სიგრძეში წაგრძელების გაზომვა. სტანდარტის მიხედვით თუ ძელაკების წაგრძელება არ აღემატება 0.20%-ს, ითვლება რომ მასალა არ არის ქიმიურად რეაქციული და მისი გამოყენებით შესაძლებელია ნებისმიერი ბეტონის კონსტრუქციების მოწყობა. ხოლო თუ წაგრძელება აღემატება 0.20%-ს, მაშინ ითვლება რომ მასალა ქიმიურად რეაქციულია და მისი გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ ისეთი ბეტონის კონსტრუქციების მოსაწყობად, რომელთაც პირდაპირი და უშუალო შეხება არ აქვთ გარემოსთან და გარემოში არსებულ აგრესიულ გარემოებთან. (0.20%-ზე მეტი შედეგის დაფისირების შემთხვევაში უნდა განხორციელდეს შემვსებების სრული და გრძელვადიანი კვლევა ქიმიურ რეაქციულობაზე). [8]

ASTM C1260 სტანდარტის მოთხოვნების დაცვით მოვახდინეთ, ჩვენს მიერ შერჩეული შემვსებებით, საცდელი ძელაკების მომზადება და მომზადებიდან მეორე დღეს მოვათავსეთ 80 გრადუსის მქონე NaOH-ხსნარში (სურათი №13). ძელაკების მომზადებიდან მე-16 დღეს მოვახდინეთ ძელაკების ფარდობითი წაგრძელების გაზომვა, რომელმაც შეადგინა 0.135%. სტანდარტის მიხედვით, მიღებული შედეგი იძლეოდა იმის შესაძლებლობას რომ ჩვენს მიერ შერჩეული შემვსებებით, დამატებითი კვლევების გარეშე, დაგვეწყო არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის ანგარიში.



სურათი №13 – ASR ტესტი ბეტონის შემვსებებისთვის.

რეაქციულობის ტესტის შემდგომ დავიწყეთ ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა, შედეგები მოცემულია ცხრილი №9-ში.

ცხრილი №9 - მსხვილი შემვსებების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები

№	ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები	ღორღი 5-10 მმ	ღორღი 10-20 მმ
1	ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	2.631	2.638
2	ნაყარი სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	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

**3. ბეტონის ცემენტისებრი შემვსებები:** არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის გასაუმჯობესებლად და შემვსებების გასამდიდრებლად გადავწყვიტეთ გამოგვეყენებინა ცემენტისებრი შემავსებელი - კირქვის მტვერი, რომლის წარმოება ბოლო 3-5 წელიწადში გაიზარდა მთელ საქართველოში, რადგან კირქვის მარაგები დიდია (შესაბამისად ფასი დაბალი) და ამავდროულად შესაძლებლობას იძლევა კუბზე 40-150 კგ-ის დამატებით თხევადი ბეტონის კონსისტენციის გაზრდა 2-4 სმ-ით, რაც თავის მხრივ დადებითად აისახება სიმტკიცის მატებასა და განვითარებაში. ჩვენს შემთხვევაში კირქვის მტვერის - LSP (Limestone Powder) გამოყენებას მეორე დანიშნულებაც ჰქონდა - უკეთესი და სტაბილური ფერის მიღება საბოლოო პროდუქტში - არქიტექტურულ-დეკორატიულ ბეტონში, რადგამ ბუნებრივი



კირქვაც და მისგან დამზადებული მტვერიც არის თეთრი ფერის და ფერად ბეტონებში და არაფერად ბეტონებში იძლევა მკვეთრ და ნათელ ფერებს. კირქვის მტვერის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილი №10-ში.

ცხრილი №10 - კირქვის მტვერის (LSP) ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები

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

ცხრილი №11 - კირქვის მტვერის ქიმიური შედგენილობა

მასალა	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	L.O.I.
ქვიშა 0-2 მმ	10.18	5.05	1.07	65.62	0.24	0.05	0.07	0.07	0.03	17.69

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ კირქვის მტვერის საწარმოების რაოდენობა დღითიდღე იმატებს საქართველოში (ზესტაფონი, ზუგდიდი, გორი, ხაშური). ჩვენს მიერ გამოყენებული კირქვის მტვერი დამზადებულია ქალაქ რუსთავში. კირქვის მტვერი ასევე გამოიყენება ასვალტის წარმოებაში როგორც მტვერისებრი შემვსები.

4. ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემცველები; ჩვენი სამაგისტრო ნაშრომი შეეხებოდა ვულკანური წიდით დამზადებულ მსუბუქ ბეტონს. ამ ნაშრომში კვლავ აქტუალურია ვულკანური წიდის როლი, როგორც ბუნებრივი დეკორატიული შემცველები, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია მსუბუქი-დეკორატიული ბეტონის წარმოება, რომელსაც ექნება მუქი წითელი ფერი.

ვულკანური წიდა წარმოადგენს ვულკანიდან ამოფრქვეულ, მსხვილფოროვან, ფხვიერ მუქი წითელი ფერის მასას, რომლის ძირითად შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ვულკანური მინა. პემზისგან განსხვავებით წიდა წარმოიქმნება უმეტესწილად ადვილდნობადი მაგმისგან, რომელიც თავის მხრივ შედგება ამოფრქვეული, უმეტესწილად კი თხევადი კონსისტენციისგან. ჩვენს ქვეყანაში არსებობს ვულკანური წიდების 10-მდე საბადო (მოდეგა, დელიფი, ოკამი, ტაშკალა და სხვა), რომელთა ჯამური მარაგი დაახლოებით 100 მილიონი ტონაა. ახალქალაქის რაიონი - სოფელ სულდაში მოპოვებული ვულკანური წიდის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილი №12-ში. [9,10]

მასალა	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	L.O.I.
ვულკანური წიდა	59.9	23.85	7.08	0	4.01	0.82	0.51	0.24	0.18	3.41

ვულკანური წიდის ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები პირდაპირ ამოღებულია სამაგისტრო ნაშრომიდან და მოცემულია ცხრილი №13-ში.

№	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 <sup>3</sup>	2.52	2.55	2.55
3	ნაყარი სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	950	635	570
6	წყალმომთხოვნილება, %	3.3	10.5	12.9

ქვემოთ მოცემულ ფოტოებზე ნაჩვენებია ჩვენს მიერ შერჩეული შემვსებები.



სურათი №14 - ქვიშა 0-2მმ (ზედა ფოტო), ქვიშა 0-5 მმ (ქვედა ფოტო)



სურათი №15 - ღორღი 5-10მმ (ზედა ფოტო), ღორღი 10-20 მმ (ქვედა ფოტო)



სურათი №16 - კირქვის მტვერი (ზედა ფოტო), ვ/წ ქვიშა 0-5 მმ (ქვედა ფოტო)



სურათი №17- ვ/წ ღორღი 10-20მმ (ზედა ფოტო), ვ/წ ღორღი 5-10 მმ (ქვედა ფოტო)

#### 4.2 ცემენტის შერჩევა არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა კლასის ცემენტი, თუმცა სასურველია არ იქნას გამოყენებული პუცოლანური დანამატების შემცველი ცემენტი, რადგან ის ხასიათდება სიმტკიცის ნელი ტემპით აკრეფვით და წყალმოთხოვნილებაც შედარებით მაღალი აქვს. ჩვენი რეკომენდაციით არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად გამოყენებულ უნდა იქნას D0 (უდანამატო) კლასის პორტლანდცემენტიცემენტი - CEM I, რადგან ამ კლასის ცემენტში დანამატის დოზირება არის 0%, შესაბამისად არ არსებობს რისკი იმისა, რომ ცემენტში არსებულმა დანამატებმა რაიმე გავლენა მოახდინონ ბეტონის ფერზე და ფერთა ცვალებადობაზე.

საქართველოში ცემენტის ერთ-ერთი უმსხვილესი მწარმოებელი კომპანია გახლავთ „ჰაიდელბერგცემენტი“, რომელიც თავის 3 საწარმოში (რუსთავი, კასპი, ფოთი) აწარმოებს სხვადასხვა კლასის და ტიპის ცემენტებს EN ნორმების ხელმძღვანელობით.

ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა ჰაიდელბერგცემენტის მიერ დამზადებული პორტლანდცემენტი კლასით - CEM I 42.5R. აღნიშნული ცემენტი არის უდანამატო ცემენტი, სიმტკიცის კლასით 42.5R. ამ ცემენტს მომწოდებელი კომპანია აწარმოებს თავის სამივე საწარმოში და აქედან გამომდინარე ქვეყნის ნებისმიერ წერტილში მისი ტრანსპორტირება არავითარ სირთულეს არ წარმოადგენს. ამავდროულად, CEM I 42.5R ცემენტი, ბოლო წლებში ყველაზე მოხმარებადი და პოპულარული ცემენტია მისი სტაბილურობის, ხარისხის და ერთგვაროვნების გამო.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის დამზადება შესაძლებელია ასევე დეკორატიული ცემენტით. ისევე როგორც პორტლანდცემენტს, დეკორატიული ცემენტსაც აქვს კლასები მარკები. საქართველოს ბაზარზე უკვე მასიურად არის გავრცელებული თეთრი ფერის დეკორატიული ცემენტი კლასით CEM I 52.5R White. აღნიშნული კლასის ცემენტი მზადდება ჩვენს მეზობელ ქვეყანა თურქეთში და ამ ეტაპისთვის ყველაზე ახლოს მდებარეა გეოგრაფიულად და მისი ტრანს-

პორტირება არ წარმოადგენს სირთულეს; დიდი მანძილის გამო მისი თვითღირებულება გაცილებით მაღალია ვიდრე ადგილობრივი წარმოების სტანდარტული, არადეკორატიული ცემენტი.

ამჯერად, ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა 2 ტიპის ცემენტი: CEM I 42.5R და CEM I 52.5R White, რათა დავამზადოთ როგორც სტანდარტული რუხი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი, ასევე თეთრი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი, რომელიც დამზადებული იქნება თეთრი ფერის დეკორატიული ცემენტით. ცხრილი №14-ში მოცემულია ორივე ტიპის ცემენტის ქიმიურ-ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

ცხრილი №14 - ცემენტის ქიმიურ-ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

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

თეთრი ფერის დეკორატიული ცემენტის მწარმოებელი კომპანია გახლავთ CIMSA Ltd, რომელიც ოპერირებს თურქეთის რესპუბლიკაში. უახლოესი ქარხანა მდებარეობს ქალაქ ანკარაში. ამ ცემენტის მოწოდება შესაძლებელია ასევე რუსეთის ქალაქ ნოვოროსიისკიდან, სადაც ასევე ოპერირებს იგივე კომპანია.



### 4.3 ბეტონის ქიმიური დანამატების და პიგმენტების შერჩევა

როგორც, შესავალში ავღნიშნეთ ბეტონი კვლავ რჩება XXI საუკუნის ყველაზე მოთხოვნად სამშენებლო მასალად და აქედან გამომდინარე მისი თვისებების გაუმჯობესება და ხარისხის ამაღლება შეუძლებელია ბეტონის ქიმიური დანამატების და ე.წ. „პლასტიფიკატორების“ გარეშე. [10]

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი არ წარმოადგენს გამონაკლისს და მის დასამზადებლადაც საჭიროა სხვადასხვა სახის ქიმიური დანამატები. როგორც 2.1 თავშიც ავღნიშნეთ, ეს ბეტონი წარმოადგენს მაღალტექნოლოგიურ სამშენებლო მასალას, რომელსაც მთელი თავისი ექსპლუატაციის პირობებში უწევს სხვადასხვა სახის გრძელვადიან აგრესიულ გარემოებში ყოფნა, როგორიცაა: ჰაერში არსებული ტენის მიმართ მედეგობა, ყინვამედეგობა, წყალშეუღწევადობა, ცეცხლმედეგობა და მრავალის სხვა. შესაბამისად რეცეპტის შემუშავებისას უნდა გაგვეთვალისწინებინა, რომ გაგვეუმჯობესებინა გამყარებული ბეტონის ის პარამეტრები, როგორიცაა: ყინვამედეგობა, წყალგაუმტარობა, ხანმედეგობა (დამოკიდებულია წყალცემენტის ფარდობაზე). ამ და სხვა მიზნების მისაღწევად და განსახორციელებლად არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშებისას გავითვალისწინეთ ინგლისური კომპანია „Fosroc“-ის მიერ წარმოებული სხვადასხვა სახის დანამატები.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ნარევის სიცოცხლისუნარიანობის გასაზრდელად (ბეტონის ნარევის შეკვრის ვადების გაზრდა), ასევე წყლის რაოდენობის შესამცირებლად და ბეტონის ნარევის კონსისტენციის (კონუსის ჯდენა) გასაზრდელად გამოვიყენეთ კომბინირებული დანამატი “Fosroc Gantre 3041”, რომელიც დამზადებულია ლიგინო-სულფონატის და პოლიკარბოქსილატის ბაზაზე.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციებში ბეტონის წყალშეუღწევადობის კლასის და ყინვამედეგობის ციკლების გასაზრდელად გამოვიყენეთ ასევე კომბინირებული დანამატი “Fosroc Centro 147-WP. ეს დანამატი უზრუნველყოფს ბეტონში ღია კაპილარული არხების და ფორების დახურვას და

ბეტონის ნარევი შეჰყავს 3.0-3.5% ჰაერი, რაც უზრუნველყოფს ბეტონის ყინვამდეგობის ციკლების ზრდას. დანამატების შესახებ დეტალური ინფორმაცია მოცემულია ცხრილი №15-ში.

ცხრილი №15 - ქიმიური დანამატების დეტალური სპეციფიკაცია

დანამატის დასახელება	დანამატის კლასი	სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	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

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონთა ჯგუფში გადის ასევე სხვადასხვა სახის ფერადი ბეტონი. მას შემდეგ რაც დავადგინეთ არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა, უკვე არავითარ სირთულეს წარმოადგენდა სხვადასხვა სახის ფერადი ბეტონის დამზადება ცემენტო-ბეტონის პიგმენტების დამატებით. ჩვენს შემთხვევაში მიზნად დავისახეთ დაგვეზადებინა 4 ყველაზე გავრცელებული ფერის ბეტონი კომპანია “SIKA”-ს მიერ წარმოებული პიგმენტების SikaCem Color დამატებით. ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა წითელი (417), ყვითელი (231), მწვანე (125) და ლურჯი (617) პიგმენტი. პიგმენტების შესახებ ინფორმაცია მოცემულია ცხრილი №16-ში.

ცხრილი №16 – SikaCem Color-ის პარამეტრები

№	პიგმენტის დასახელება	პიგმენტის ფერი	სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>
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

#### 4.4 არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება

ისევე როგორც ყველა ბეტონს, არქიტექტურულ-დეკორატიულ ბეტონსაც აქვს თავისი მინიმალური მოთხოვნები და სპეციფიკაციები. ცხრილი №17-ში მოცემულია არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშებისას გასათვალისწინებელი მინიმალური მოთხოვნები.

ცხრილი №17 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მოთხოვნები

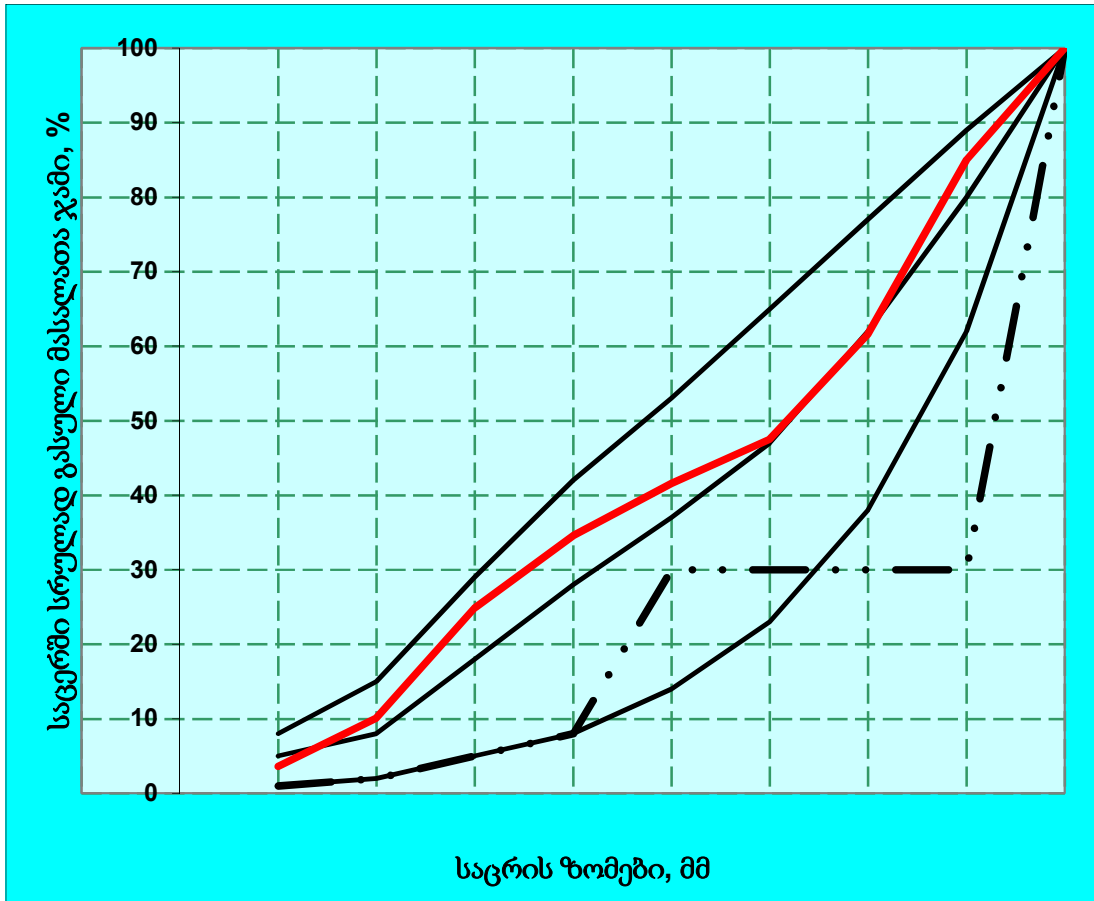
№	პარამეტრები	მნიშვნელობა
1	ბეტონის სიმტკიცის მინიმალური კლასი	B30
2	ბეტონის ექსპოზიციური კლასი (ექსპლუატაციის კლასი)	XC4 <sup>1</sup>
3	შემსებების მაქსიმალური ზომა, მმ	20
4	მაქსიმალური წყალცემენტის ფარდობა	0.50
5	რეკომენდირებული ცემენტის ტიპი <sup>2</sup>	CEM I
6	0.25 მმ საცერში გასული მასალის შემცველობა, კგ/მ <sup>3</sup>	550
7	ბეტონის ნარევის კონსისტენციის კლასი	S3-S4 <sup>3</sup>
8	შერევის დრო ქარხანაში თითო ანარევისთვის, წამი	45
9	წყალშეუღწევადობის კლასი EN 12350-8 ნორმით	WP1 <sup>4</sup>
10	ყინვამდეგობის კლასი EN1397	100 ციკლი
<p><b>1</b> - ბეტონის კოროზია, გამოწვეული ჰაერში არსებული კარბონატების ზემოქმედებით. (EN 206:2017)</p> <p><b>2</b> - ინერტული მასალების რეაქციულობის შემთხვევაში, სავალდებულოა CEM III/A, ან CEM III/B ცემენტის გამოყენება;</p> <p><b>3</b> - ბეტონის ნარევის კონსისტენცია ყალიბებში მოთავსებამდე უნდა იყოს 140-180 მმ-ის ფარგლებში.</p> <p><b>4</b> - გულისხმობს წყლის შეღწევის მაქსიმალურ მაჩვენებელს, რომელიც 30 მმ-ზე მეტი არ უნდა იყოს.</p>		

#### 4.4.1 მძიმე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება და თვისებები

წინა თავებში განვიხილეთ ყველა ის მასალა თუ დანამატი, რომლის საშუალებითაც გადავწყვიტეთ დეკორატიული მძიმე ბეტონის შედგენილობის გაანგარიშება ცხრილი №17-ში მოცემული მოთხოვნების გათვალისწინებით.

როგორც ავღნიშნეთ არქიტექტურული ბეტონების ზედაპირის ხარისხზე ყველაზე დიდ გავლენას ახდენს ბეტონის შემცველები, რომელთა ოპტიმალური განაწილება იძლევა ხარისხის მაღალ სტანდარტებსა და გარანტიას. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი თვისობრივად წარმოადგენს ე.წ. „ფრაქცია ამოვარდნილ“ ბეტონს რაც გულისხმობს შემდეგს: იმის გამო რომ ზედაპირი უნდა იყოს იდეალური (იგულისხმება ფორების, განშრევებების, კაპილარების არ არსებობა ზედაპირზე), ბეტონი უნდა შეიცავდეს 0.25 მმ საცერში გასულ მასას ჯამში 550 კგ-ს კუბ ბეტონზე. ბეტონი ასევე უნდა შეიცავდეს მსხვილ შემავსებელს ოღონდ ისე რომ მსხვილი შემავსებლების ხვედრითი ზედაპირი იყოს რაც შეიძლება ნაკლები. შემცველების კომპლექსური გადანაწილების და ოპტიმალური პროპორციების დასადგენად ვიხელმძღვანელებთ EN 12620 (ბეტონის შემცველები) სტანდარტის მიხედვით. ამ სტანდარტის საშუალებით შესაძლებელია რომ შედგინდეს ბეტონის სახეობისთვის ბეტონის გრანულომეტრიული მრუდი და პროცენტული ცვალებადობით დადგინდეს ოპტიმალური პროპორციები ბეტონის შემცველებისთვის.

შემცველების გრანულომეტრიული ანალიზების შედეგები შევიყვანეთ სტანდარტის მიერ მოცემულ ბეტონის გრანულომეტრიულ მრუდში და დავადგინეთ შემცველების ოპტიმალური პროცენტული წილები ბეტონში. ასე გადანაწილდა ფრაქციები: ქვიშა 0-2 მმ - 12%, ქვიშა 0-5 მმ - 35%, ღორღი 5-10 მმ - 16%, ხოლო ღორღი 10-20 მმ - 37%. ნახაზი №1-ზე მოცემულია EN 12620 სტანდარტის მოთხოვნების დაცვით შედგენილი ბეტონის გრანულომეტრიული მრუდი, სადაც წითელი ხაზი არის ჩვენს მიერ დაპროექტებული ბეტონის საერთო გრანულომეტრიული მრუდი, ხოლო შავი ხაზები სტანდარტული ზღვრები.



ნახაზი №1 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის საერთო  
გრანულომეტრიული მრუდი

როგორც ნახაზიდან ჩანს ჩვენს მიერ დაპროექტებული ბეტონის მრუდი ქვედა ნაწილში 0-დან 2-მმდე, მოთავსებულია ზედა ზღვარში, რაც იმას ნიშნავს რომ ბეტონი შეიცავს საკმარისი რაოდენობის წვრილ შემავსებელს არქიტექტურული ბეტონის მოთხოვნების დაცვით ( $550 \text{ კგ/მ}^3$ ), ხოლო 2 მმ-დან მრუდი გადადის გრაფიკის ქვედა ზღვარში 16 მმ-მდე, რაც ნიშნავს იმას რომ ბეტონი შეიცავს შედარებით მცირე რაოდენობით ქვებს 2.0-დან 16 მმ-მდე. 16 მმ-დან მრუდი კვლავ გადადის ზედა ზღვარში, რაც იმას ნიშნავს რომ ბეტონი შეიცავს საკმარისი რაოდენობის ქვებს ზომით 16 მმ-დან 22 მმ-ის ჩათვლით. შემვსებებმა მოგვცა იმის საშუალება რომ ჩვენი არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი გამოსულიყო ე.წ ფრაქცია ამოვარდნილი ბეტონი, რასაც ადასტურებს ჩვენს მიერ დეტალურად განხილული საერთო გრანულომეტრიული მრუდი, რომლიდანაც ნათლად ჩანს რომ ბეტონი შეიცავს ნაკლებ რაოდენობა ქვებს 2-დან 16 მმ-დე, რადგან სწორედ ეს

ფრაქცია ხასიათდება ბეტონებში ყველაზე დიდი ხვედრითი ზედაპირით. ცხრილი №18-ში მოცემულია ინერტული მასალების საერთო გრანულომეტრიული ანალიზი, რომლის გამოყენებითაც დადგინდა ბეტონის ოპტიმალური გადანაწილების მრუდი. [3]

ცხრილი №18 - საერთო გრანულომეტრიული ანალიზი

საცერი	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	5.6	8.0	11.2	16.0	22.4	31.5	45.0	წილი, %
0÷2	4.40	13.41	34.95	56.48	76.70	93.74	100.00	100	100	100	100	100	100	12
0÷5	8.82	24.26	59.12	78.97	91.32	99.56	100.00	100	100	100	100	100	100	35
5÷10				0.96	1.28	7.22	38.54	83.16	100.00	100.00	100.00	100	100	16
10÷20					0.51	0.64	0.90	3.59	19.87	59.49	99.40	100	100	37
ნარჩენი	3.62	10.10	24.88	34.57	41.56	47.51	53.50	61.63	70.35	85.01	99.78	100.00	100.00	505
გასული	96.38	89.90	75.12	65.43	58.44	52.49	46.50	38.37	29.65	14.99	0.22	0.00	0.00	3.95

შემსვებების პროცენტული გადანაწილების დასრულების შემდგომ კი მოხდა მძიმე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის რეცეპტის შემუშავება 1 მ<sup>3</sup> მოცულობისთვის - ცხრილი №19

ცხრილი №19 - მძიმე, არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობა

<b>SichtBeton B30 S4 D20 W6 F100</b>	
მასალის დასახელება	ხარჯი 1მ <sup>3</sup> , 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 <sup>3</sup> ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	2338
წ/ც-ის ფარდობა	0.49
ბეტონის ნარევი ჰაერის შემცველობა, %	1.5

რეცეპტის შემუშავების შემდგომ განვახორციელეთ საცდელი ანარევის მომზადება. სურათი №18-ზე მოცემულია ჩვენს მიერ შედგენილი რეცეპტით არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი.



სურათი №18 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ნარევი

საცდელი ანარევის მომზადების შემდგომ განხორციელდა მიღებული ბეტონის ნარევის დეტალური შემოწმება და განხორციელდა საკონტროლო ნიმუშების აღება, შემდგომში სიმტკიცის დასადგენად. ცხრილი №20-ში მოცემულია ბეტონის ნარევის და გამყარებული ბეტონის თვისებები.

ცხრილი №20 - არქიტექტურული ბეტონის ნარევის და გამყარებული

ბეტონის თვისებები.

№	ბეტონის ნარევის და გამყარებული ბეტონის თვისებები	მაჩვენებლები
1	ბეტონის ნარევის ტემპერატურა, გრადუსი	22.1
2	ბეტონის ნარევის კონუსის ჯდენა, მმ	165
3	ბეტონის ნარევიში ჰაერშემცველობა, %	1.4
4	ბეტონის ნარევის სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	2351
5	ბეტონის სიმტკიცე 3 დღეზე, მპა	25.6
6	ბეტონის სიმტკიცე 7 დღეზე, მპა	34.8
7	ბეტონის სიმტკიცე 28 დღეზე, მპა	46.3
8	ბეტონის სიმტკიცე 56 დღეზე, მპა	50.8
9	ბეტონში წყლის შეღწევის მაქსიმალური სიღრმე, მმ	15
10	ბეტონის ყინვამდეგობის კლასი	F100 <sup>A</sup>
A - ყინვამდეგობის ტესტი შესრულდა დაჩქარებული მეთოდით (EN1397)		

ჩვენს მიერ შემუშავებული რეცეპტის გამოყენებით, განხორციელდა რამოდენიმე ათეული პროექტი თბილისსა თუ მის შემოგარენში. აღნიშნული რეცეპტის ჩაშვება მასიურ წარმოებაში განხორციელდა 2017 წლიდან და უკვე რამოდენიმე მასშტაბურ პროექტს აერთიანებს, რომელთა შორის აღსანიშნავია ყავის ქარხნის მშენებლობა თბილისში (სურათი №19), საცხოვრებელი სახლი წავკისის ველზე , საცხოვრებელი სახლი დაბა წყნეთში, საოფისე შენობა არქიტექტორთათვის (სურათი №6), საცხოვრებელი სახლები დიდ დილოში, მარნეულის იუსტიციის სახლი, სავაჭრო ცენტრი „ფრესკო“ ჩიქობავას ქუჩაზე და მშენებლობის პროცესშია კიდევ ათეული პროექტი. 2017 წელსვე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის პოპულარიზაციისთვის მონაწილეობა მივიღეთ კომპანია ჰაიდელბერგცემენტის რიგით მე-5 საერთაშორისო კონფერენციაზე, სადაც წარმოდგენილი გვექონდა ჩვენს მიერ შემუშავებული რეცეპტით დამზადებული სხვადასხვა ნაკეთობანი.





სურათი №19 - ყავის ქარხნის მშენებლობის პროცესი, თბილისი

2017 წელსვე დაფიქსირდა ახალი მოთხოვნა: არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით უნდა განხორციელებულიყო ცემენტის ქარხნის ჰომოგენურობის სილოსი მშენებლობა. ქ. კასპის ცემენტის ქარხნის მშენებარე ტერიტორიაზე საჭირო იყო ცემენტის სილოსის აშენება დიამეტრით 25 მ, სიმაღლით 65 მ, რომელიც აშენდებოდა B40 კლასის ბეტონით და ფასადის იდეალური ზედაპირით; სპეციალური მოთხოვნა იყო ის რომ მშენებლობა და სილოსის დაბეტონება უნდა წარმართულიყო უწყვეტ რეჟიმში მცოცავი ყალიბების

გამოყენებით. ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა უკვე შესწავლილი შემგვებები, ცემენტი და ქიმიური დანამატები. გადასაწყვეტი იყო მხოლოდ ბეტონის ნარევის შეკვრის ვადების გამახანგრძლივების საკითხი (მოთხოვნა იყო 6 საათით გახანგრძლივება) და სიმტკიცის კლასი B40-ის მიღება.

შემგვებების პროპორციად ავიღეთ ჩვენს მიერ დადგენილი პროპორცია (12:35:16:37). ცხრილი №19-ში მოცემულ შედგენილობას გაუკეთდა გადაანგარიშება B40 კლასის მისაღწევად. ამასთან ერთდ ბეტონს დაემატა კომპანია Fosroc-ის მიერ წარმოებული შეკვრის გამახანგრძლივებელი დანამატი Fosroc RP264, რათა უზრუნველყოფილიყო 6 საათით ბეტონის შეკვრის დასაწყისის გადაწევა. დანამატის დოზირებამ შეადგინა 0.5% ცემენტის მასიდან.

ცხრილი №21-ში მოცემულია გადაანგარიშებული რეცეპტი პროექტის მოთხოვნების შესასრულებლად

ცხრილი №21 - არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა საწარმოსთვის

<b>B40 S4 D20 LLT (Long lifetime)</b>	
<b>მასალის დასახელება</b>	<b>ხარჯი 1მ<sup>3</sup>, კგ</b>
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 <sup>3</sup> ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	2335
წ/ც-ის ფარდობა	0.45
ბეტონის ნარევის შერევის შემცველობა, %	1.50

სპეციალური არქიტექტურული ბეტონის დაპროექტების შემდეგ მოხდა საცდელი ბეტონის დამზადება საცდელ ყალიბში მოთავსებით. 28 დღის შემდეგ

შემოწმდა ბეტონის სიმტკიცე კუმვაზე და დადებითი პასუხის მიღების შემდეგ დაიწყო სილოსის კონსტრუქციის დაბეტონება უწყვეტ რეჟიმში.

უწყვეტი დაბეტონება (ბეტონირება) მიმდინარეობდა 18 დღე-ღამის განმავლობაში; ბეტონი მიეწოდებოდა ყოველ 5-6 საათში ერთხელ 7-9 მ3 პორციებით და მცოცავი ყალიბის გამოყენების საშუალებით კონსტრუქცია შენდებოდა.

ბეტონის სიმტკიცე მოწმდებოდა სისტემატურად: 7 დღის შემდეგ სიმტკიცე კუმვაზე შეადგენდა საშუალოდ 480 კგ/სმ<sup>2</sup>-ს, ხოლო 28 დღის შემდეგ შეადგენდა 580 კგ/სმ<sup>2</sup>-ს.

ბეტონის სამუშაოების დამთავრების შემდეგ კონსტრუქციის ფასადი (მისი ზედაპირი) გამოიყურებოდა საპროექტო მოთხოვნის თანახმად - ბეტონი იყო დეკორატიული - სურათი №20-21. [11, 13]



სურათი №20 - სილოსის გარე და შიდა ზედაპირი



სურათი №21 - დასრულებული ჰომოგენურობის სილოსი, კასპი.

ერთი თვის შემდეგ კონსტრუქციის ზედაპირის დამუშავება განხორციელდა სპეციალური წასასმელი მასალით, რომელიც უზრუნველყოფს ბეტონის ზედაპირის დაცვას ადსორბირებული წყლის შთანთქმისაგან, რაც გაზრდის კონსტრუქციის საექსპლუატაციო პერიოდს.

ამრიგად, ჩვენს მიერ შემუშავებული არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობით ფაქტიურად შესაძლებელი გახდა ნებისმიერი სირთულისა თუ მოთხოვნის შესრულება. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის პოპულარიზაციისთვის და შემდგომი კვლევების გასაგრძელებლად გადავწყვიტეთ მოგვემზადებინა 4 სახეობის ფერადი ბეტონი, რომელიც ფერის გარდა დააკმაყოფილებდა იმ მოთხოვნებს რაც წაყენება არქიტექტურულ-დეკორატიულ ბეტონს. შედგენილობის გაანგარიშება უკვე მარტივი იყო, რადგან დადგენილი გვაქვს უკვე ეს ბეტონი, სხვაობა იქნება მხოლოდ ის, რომ მოვახდენდით რამოდენიმე ფერის პიგმენტის დამატებას. 4 სახეობის ფერადი არქიტექტურული ბეტონისთვის ბეტონის შედგენილობა იყო მსგავსი, სხვაობა იყო მხოლოდ პიგმენტებში. პიგმენტის დოზირება ოთხივე შემთხვევაში შეადგენს ცემენტის მასის 5%-ს. ფერადი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა და მოცემულია ცხრილი №22-ში.

ცხრილი №22 - ფერადი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა

<b>Colored SichtBeton B30 S4 D20 W6 F100</b>	
<b>მასალის დასახელება</b>	<b>ხარჯი 1მ<sup>3</sup>, კგ</b>
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 <sup>3</sup> ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	2301
წ/ც-ის ფარდობა	0.49
ბეტონის ნარევი ჰაერის შემცველობა, %	1.5

ქვემოთ მოცემულ ფოტოებზე მოცემულია ჩვენს მიერ დაზადებული ფერადი ბეტონის ფოტოები, რომლებიც მართლაც რომ შთამბეჭდავად გამოიყურება.



სურათი №22 - წითელი, ყვითელი, მწვანე და ლურჯი ფერად-არქიტექტურული ბეტონების ნიმუშები.



სურათი №23 - წითელი, ყვითელი, მწვანე და ლურჯი ფერად-არქიტექტურული ბეტონების ნიმუშები, დამუშავების შემდეგ



სურათი №24 - წითელი, ყვითელი, მწვანე და ლურჯი ფერად-არქიტექტურული ბეტონების ნიმუშები.

2018 წლის მაისის თვეში სამშენებლო კომპანია „ზიმო“-დან მოვიდა მოთხოვნა ახალ პროექტზე. გაგაცნობთ პროექტის მოკლე მოთხოვნებს:

ბათუმის მიმდებარედ, მწვანე კონცხზე ხორცილედება მასშტაბური პროექტი და იწყება 150 ნომრიანი სასტუმროს მშენებლობა, რომელიც შედგება 2 ძირითადი და 1 დამაკავშირებელი კორპუსისგან. აღნიშნული პროექტი ძალიან ახლოს მდებარეობს „პეტრას ციხესთან“ (მოპირდაპირე მხარეს). აქედან გამომდინარე პროექტის არქიტექტორებმა გადაწყვიტეს, რომ სასტუმროს ფასადური მხარე, რომელსაც ხედი აქვს შავ ზღვასა და პეტრას ციხეზე, ყოფილიყო მსგავსი



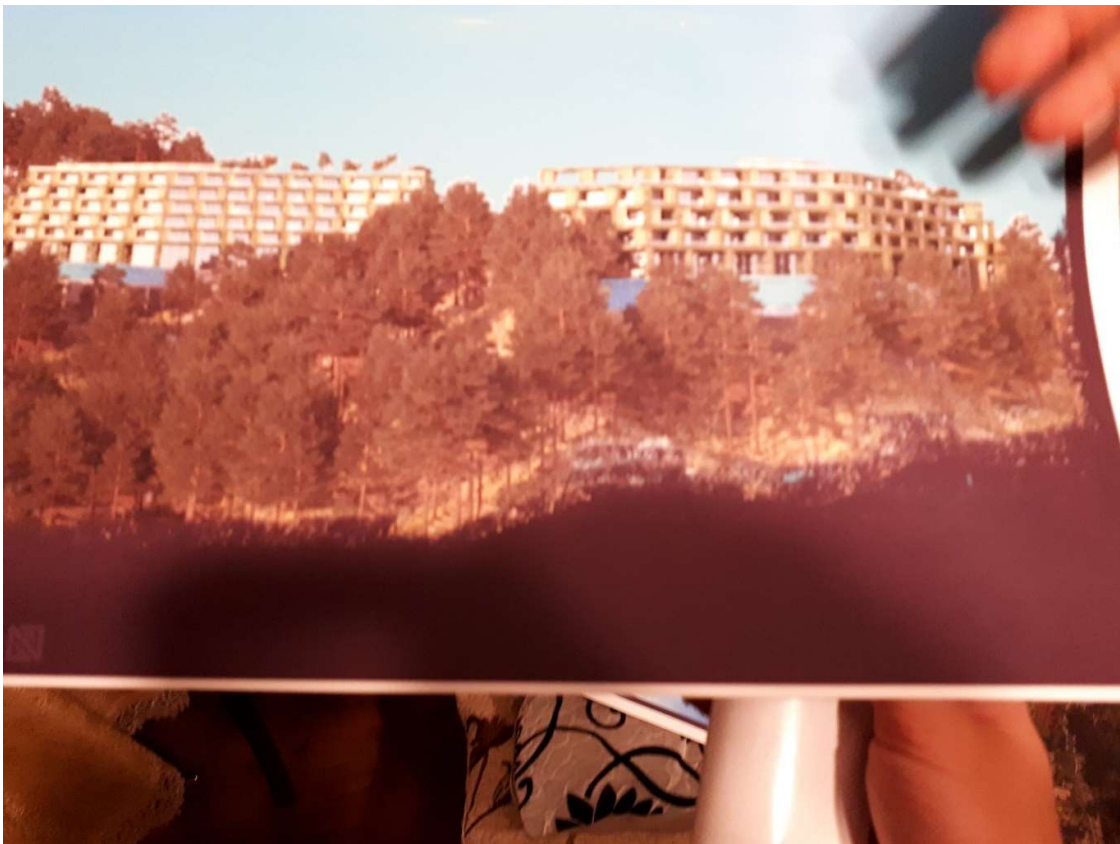
კონსტრუქცია, როგორც არის პეტრას ციხე (სურათი №25), რათა ჰარონიაში ყოფილიყო ამ ულამაზეს ადგილას განლაგებული ძველი და ახალი ნაგებობანი.



სურათი №25 - პეტრას ციხე, აჭარა.

პროექტის მიხედვით სასტუმროს ფასადი, რომელიც იქნება პეტრას ციხი კონსტრუქციის მსგავსი, უნდა ყოფილიყო თეთრი ფერის, რათა შემდგომ მოხდეს თეთრი ფერის კონსტრუქციაზე სპეციალური მცენარის აშვება და ზუსტად მსგავსი გამოსულიყო პეტრას ციხის კონსტრუქციის. ამავდროულად სასტუმროს ფასადს მიენიჭა რამოდენიმე დატვირთვა: გარე ფასადზე (ნაწილობრივ) მოხდება სპეციალური მცენარის გაშვება, ხოლო შიდა ფასადი უნდა წარმოადგენდეს თეთრი ფერის მზიდ და დეკორატიულ კონსტრუქციას, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს დეკორატიული ბეტონის ევრო კოდის ST2 კლასს და ამავდროულად უნდა მედეგი იყოს XD, XS და XA საექსპლუატაციო კლასის. პროექტის ჯამური მოცულობა შეადგენს 8000 მ<sup>3</sup> ბეტონი, ხოლო სპეციალური თეთრი ფერის კონსტრუქციის მოცულობა 1500 მ<sup>3</sup>-ია. წინასწარი კონსლუტაციების შედეგად შეირჩა ისეთი ტიპის ბეტონი, რომელიც იქნებოდა თეთრი ფერის, იქნებოდა ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი აგრესიული გარემოების მიმართ მედეგი

და ამავდროულად მისი ფერი არასდროს აღარ უნდა შეცვლილიყო. თავიდან გადაწყვეტილი იყო რომ საფასადე კონსტრუქციები მომზადებულიყო სტანდარტული ბეტონის ტიპით და ამის შემდგომ მომხადრიყო მათი შეღებვა თეთრი ფერის საღებავებით. თუმცა როდესაც მიდგა საღებავის არჩევაზე საქმე, ვერც ერთმა მწაროებელმა ვერ მისცა გარანტია მშენებელს რომ საღებავის ფენა 1 წელი მაინც გაუძლებდა მცენარეების ფესვების ზემოქმედებას და ასევე ზღვის წყლიდან აორთქლებული ქლორიდების აგრესიას. ამავდროულად საღებავის გამოყენება 10%-ით უფრო ძვირი გამოდიოდა ვიდრე ამ საკითხის ბეტონით გადაწყვეტა. კონსტრუქტორის მიერ შეირჩა სპეც. ბეტონის კლასი და დეტალური მოთხოვნები, კერძოდ: B30 S4 D20 W8 White. სურათი №26-ზე მოცემულია ასაშენებელი კონსტრუქციის ფასადური მხარე.



სურათი №26 - შენობა-ნაგებობის ფასადი

როგორც ავღნიშნეთ, შეირჩა ბეტონის ტიპი B30 S4 D20 W8 White, რომელსაც წაეყენა შემდეგი მოთხოვნები: ბეტონის შედგენილობა უნდა გაანგარიშებული იყოს დეკორატიული ბეტონის კლასი ST2-ის მოთხოვნების დაცვით, სიმტკიცე 28ე

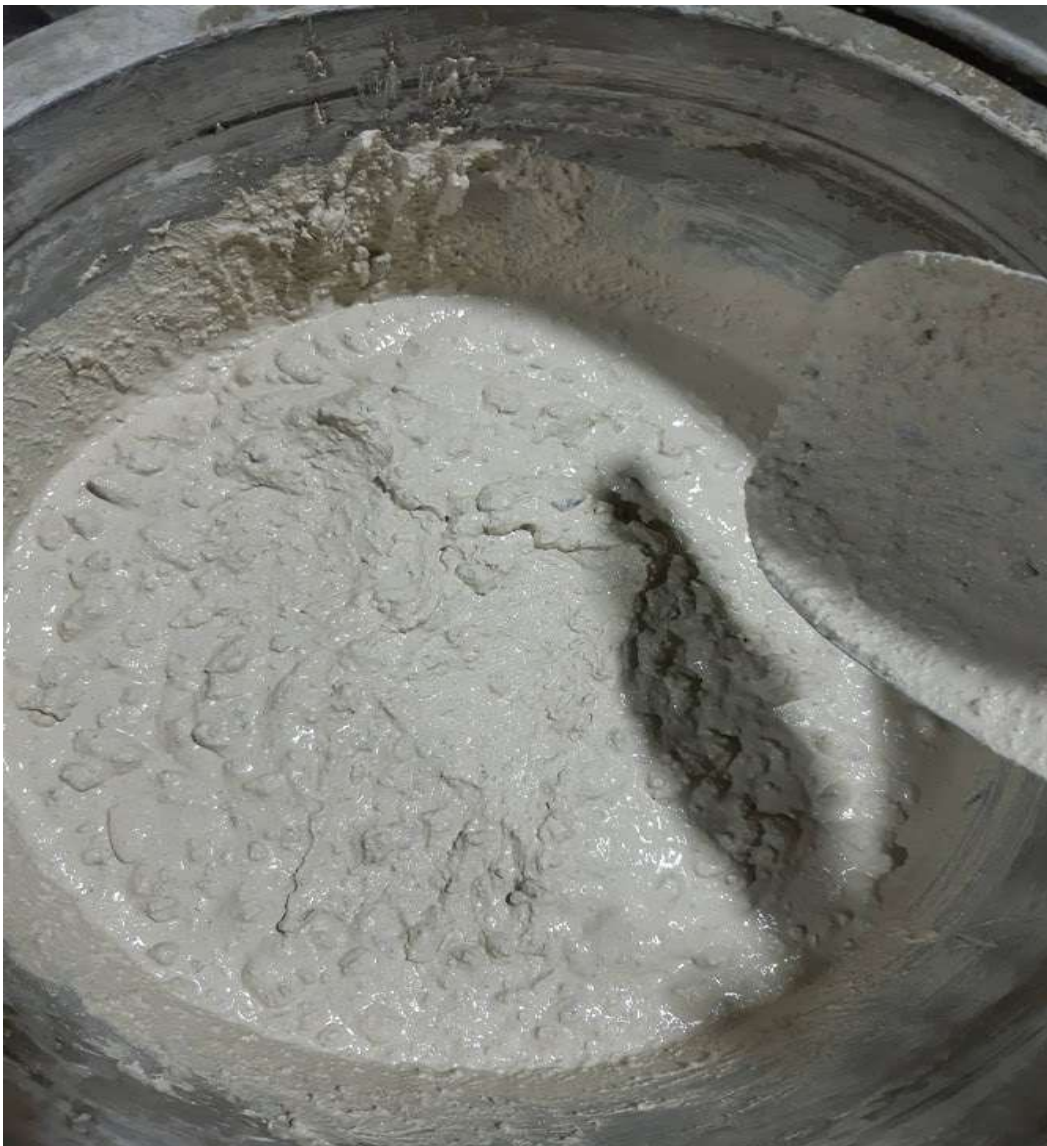
დღეს მინიმუმ 40.0 მპა, ფერი და ტონალობა: თეთრი; წყალგაუმტარობის კალსი W8; შემავსებლის მაქსიმალური ზომა-20 მმ, ხოლო კონსტრუქციის ზომებიდან გამომდინარე შეირჩა S4 კონსისტენციის ბეტონი, რათა ადვილად და სრულყოფილად მომხდეს კონსტრუქციის დაბეტონება. ბეტონის შემვსებებად ავირჩიეთ ჩვენს მიერ შესწავლილი და გამოკვლეული მასალები (4.1 თავი). დამკვეთთან შეთანხმებით შემკვრელ ნივთიერებად არჩეულ იქნა თეთრი ფერის ცემენტი (თავი 4.2). იმის გამო, რომ ბეტონის შემვსებები იყო არათეთრი ფერის, ჩვენი მხრიდან გაკეთდა შეთავაზება რომ წვრილ შემავსებლად გამოგვეყენებინა ასევე კირქვის მტვერი (4.1 თავი). მოგეხსენებათ კირქვა წარმოადგენს თეთრი ფერის მყარ შემვსებს და მისი მტვერი (წარმოება ბევრგანაა საქართველოში) მხოლოდ დადებითად იმოქმედებდა ბეტონის საბოლოო სახესა და თვისებებზე. ბეტონის ქიმიურ დანამატებად გამოყენებულ იქნა 4.3 თავში მოცემული დანამატები. შემვსებების ოპტიმალური გადანაწილება ამ შემთხვევაშიც დარჩა უცვლელი (12:35:16:37). ცხრილი №23-ში მოცემულია თეთრი ფერის ბეტონის შედგენილობა.

ცხრილი №23 - თეთრი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობა და შედეგები

№	მასალების დასახელება	ხარჯის 1 მ <sup>3</sup> -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 <sup>3</sup>	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 სიღრმე 8.0 ბარ წყლის წნევაზე, მმ	15.0

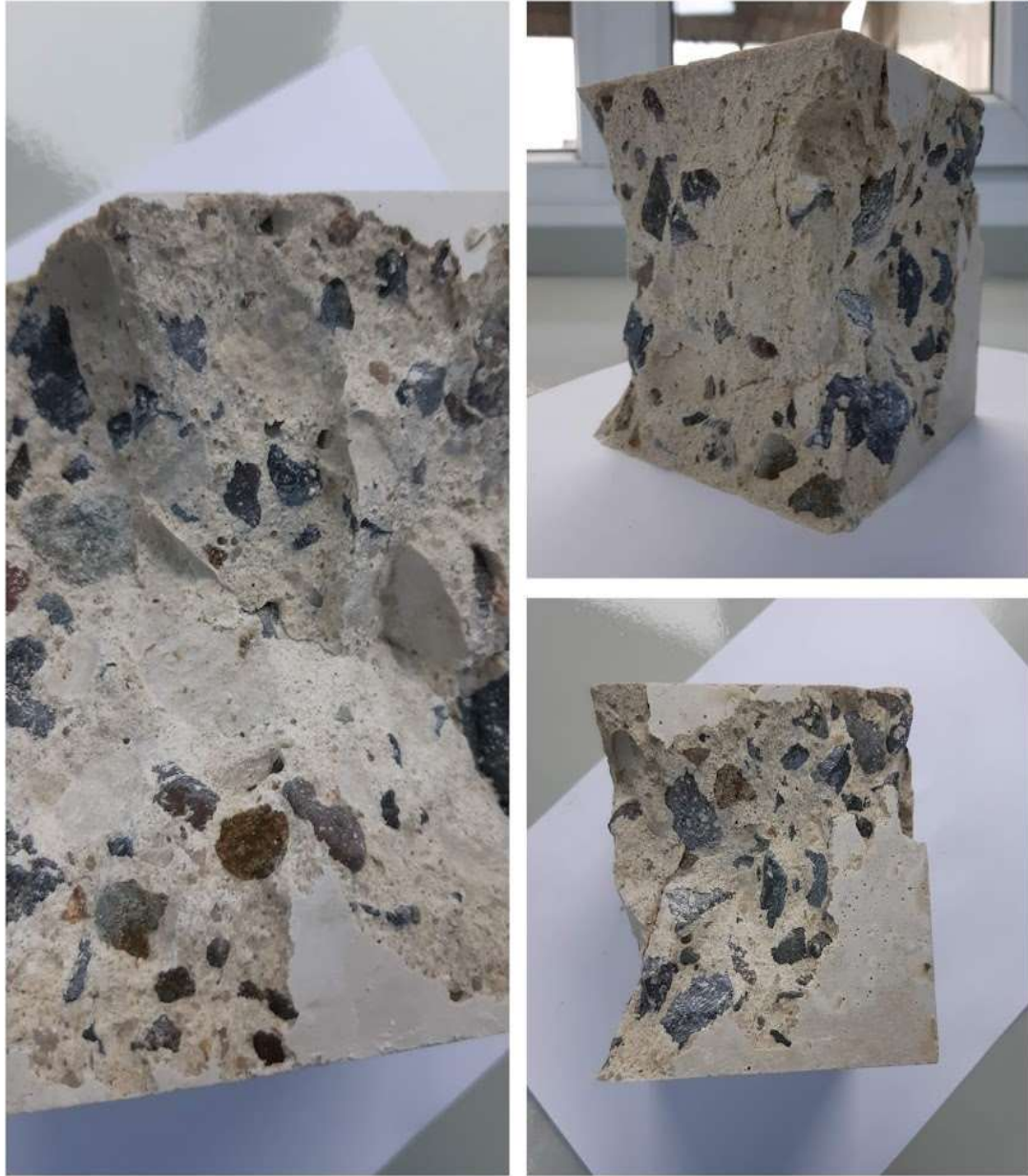
თეთრი არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მომზადების ფოტოები მოცემულია ქვემოთ.



სურათი №27 - თეთრი არქიტექტურული ბეტონის ნარევი



სურათი №28 - თეთრი არქიტექტურული ბეტონის ნარევიდან ნიმუშის აღება



სურათი №29 - თეთრი არქიტექტურული ბეტონის ნიმუშები სიმტკიცის შემოწმების შემდეგ.

დაპროექტებულ იქნა სათანადო კლასის ბეტონი პროექტების მოთხოვნების დაცვით. ბეტონის ფერი და ფაქტურა მისაღებია ST2 კლასისთვის. სიმტკიცე და წყალგაუმტარობის მაჩვენებლები ნორმაშია. [1]

იმის გამო რომ ბეტონი არის არქიტექტურული და სამომავლოდ უწევს პირდაპირ გარემოსთან კონტაქტი (წვიმა, მტვერი, ჰაერში არსებული ტენიანობა, თოვლი,

ყინვა, მზე) გადავწყვიტეთ რომ ბეტონის მზა ზედაპირები და ფასადები დაგვემუშავებინა გერმანული კომპანია „Baumerk“-ის მიერ წარმოებული სპეციალური თხევადი დანამატი-SILOX, რომელიც უზრუნველყოფს ბეტონის ზედაპირის მიერ გარემოდან წყლის, ნესტის და მტვრის არ შეწოვას. 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<sup>2</sup> ფართობზე შეადგენს 0.60 კგ-ს.

ამრიგად, ჩვენს მიერ შემუშავებულ და მრავალგზის გამოცდილ იქნა მძიმე არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის 6 სახეობა, რომლებიც დამზადებულია ადგილობრივი შემვსებების ბაზაზე, რომლებიც სრულყოფილად აკმაყოფილებენ როგორც ევრო სტანდარტებს, ასევე გოსტ სტანდარტებს.

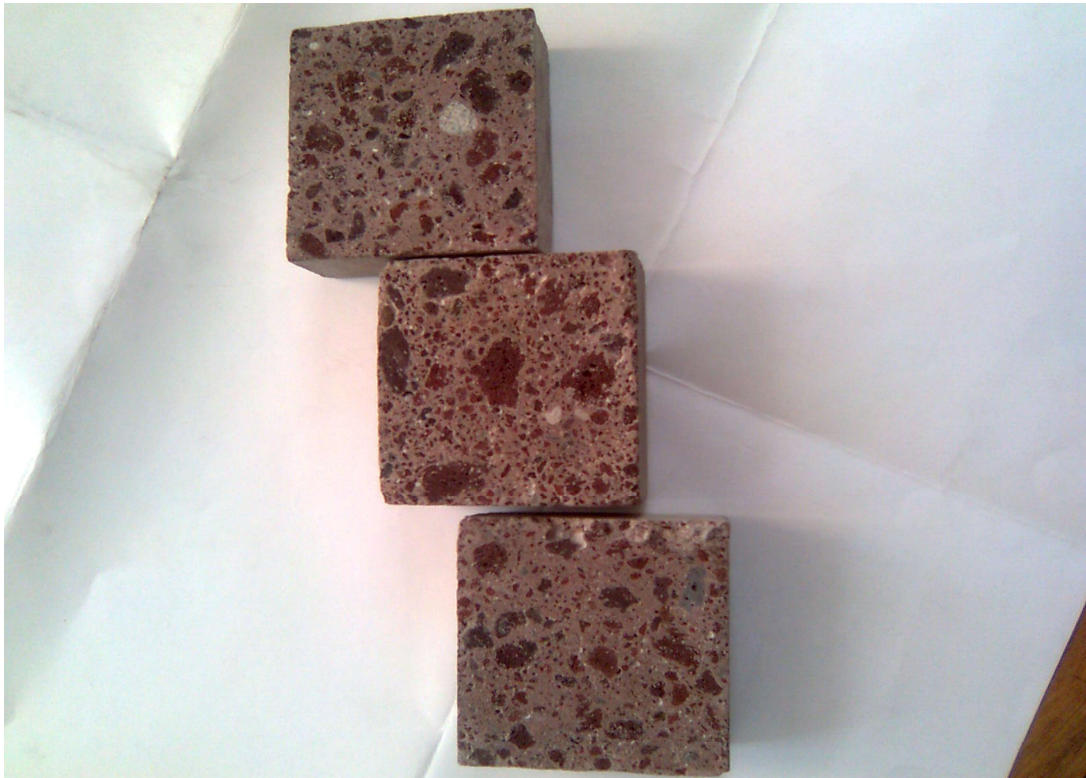
- ✓ სტანდარტული რუხი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი
- ✓ თეთრი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი
- ✓ წითელი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი
- ✓ ყვითელი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი
- ✓ მწვანე ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი
- ✓ ლურჯი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი



#### 4.4.2 მსუბუქი არქიტექტურული ბეტონის შედგენილობის განგარიშება და თვისებები

როგორც 4.1 თავში ავღნიშნეთ, საკითხის შესწავლისას ჩვენი ყურადღება მიიქცია ვულკანურ წიდაზე დამზადებულმა მსუბუქმა ბეტონმა, რადგან ბუნებრივი მსუბუქი ფოროვანი შემცვენი ვულკანური წიდა ხასიათდება მუქი წითელი ფერით (სურათი №16-17) და შესაბამისად მისგან დამზადებული მსუბუქი ბეტონი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მსუბუქი დეკორატიული (მუქი წითელი ფერის) ბეტონი.

ვულკანურ წიდაზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონის დეტალური კვლევა გახლდათ ჩვენი სამაგისტრო ნაშრომი, რომელშიც დეტალურად გვოქნდა შესწავლილი ვულკანური წიდა, მისი თვისებები, შევადგინეთ მსუბუქი ბეტონის შედგენილობა, მოვამზადეთ საცდელი ბეტონის ანარევი და დავადგინეთ სიმტკიცის კლასი. სურათი №30-ზე მოცემულია ჩვენს მიერ ვულკანურ წიდაზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონი.



სურათი №30 - ვულკანურ წიდაზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონი.



როგორც ფოტოდან ჩანს ჩვენს მიერ დამზადებული მსუბუქი ბეტონი, კლასით B20, სრულად აკმაყოფილებს დეკორატიული ბეტონის ვიზუალურ მხარეს. სურათი №30-ზე მოცემული მსუბუქი ბეტონის შედგენილობა ამოღებულია ჩვენი სამაგისტრო ნაშრომიდან და მოცემულია ცხრილი №24-ში. [12,14]

ცხრილი №24 - მსუბუქი ბეტონის შედგენილობა

№	მასალების დასახელება	ხარჯის 1 მ <sup>3</sup> -ზე
1	ცემენტი M400, კგ	400
2	სასმელი წყალი, კგ	300
3	ვულკანური წიდის ქვიშა 0-5მმ, კგ	700
4	ვულკანური წიდის ღორღი 5-10მმ, კგ	236
5	ვულკანური წიდის ღორღი 10-20 მმ, კგ	200
6	ბეტონის სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	1936
7	თეორიული წყალცემენტის ფარდობა	0.75
8	კონუსის ჯდენა, მმ (5 წუთი)	70
9	კონუსის ჯდენა, მმ (60 წუთი)	20
10	სიმტკიცე 7 დღე-ღამეზე, მპა	20.1
11	სიმტკიცე 28 დღე-ღამეზე, მპა	30.3

ამ ყველაფრიდან გამომდინარე, გაჩნდა აზრი რომ ვულკანურ წიდაზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონი, თვისობრივად წარმოადგენს წითელი ფერის დეკორატიულ მსუბუქ ბეტონს, რომლის საშუალებითაც მარტივად არის შესაძლებელი როგორც მზიდი კონსტრუქციების, ასევე დეკორატიული კონსტრუქციების დამზადება. აღნიშნული პროდუქტი ძალზედ პოპულარულია გერმანიაში და ინტენსიურად მიმდინარეობს მისი გამოყენებით სხვადასხვა სახის კონსტრუქციების და პროექტების განხორციელება. სურათი №31-ზე მოცემულია კომპანია ჰაიდელბერგცემენტ გერმანიის მიერ წარმოებული მსუბუქი და ბუნებრივად წითელი ფერის დეკორატიული ბეტონით შესრულებული

საცხოვრებელი სახლის პროექტი, რომელიც ქალაქ ჰამბურგთან მდებარე სოფელშია განთავებული. [12]



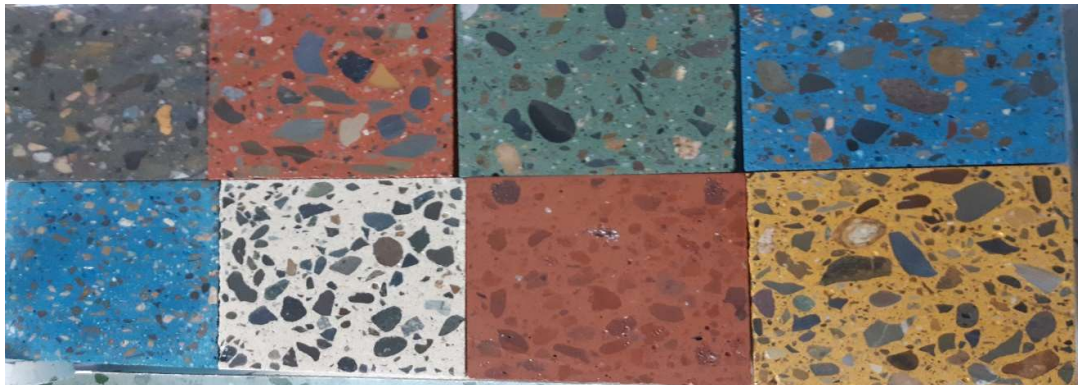
სურათი №31 - საცხოვრებელი სახლი გერმანიაში, ჰამბურგი.

ამ ყველაფრიდან გამომდინარე გავაწყვიტეთ მცირე ჩასწორებები შეგვეტანა ჩვენს მიერ შემუშავებულ მსუბუქი ბეტონის რეცეპტში და დაგვეზადებინა მსუბუქი წითელი ფერის არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი, რომელიც დამზადებული იქნებოდა ადგილობრივ ვულკანურ წიდაზე.

ბეტონის შედგენილობაში შევიტანეთ შემდეგი ცვლილებები:

1. შევცვალეთ ცემენტის ტიპი და M400-ის ნაცვლად გამოვიყენეთ 4.2 თავში მითითებული CEM I 42.5R კლასის ცემენტი. დოზირება გაიზარდა 50 კგ-ით, რათა მომხდარიყო ამპროექტო სიმტკიცის აწევა B22.5 კლასამდე.
2. ბეტონის დამზადებისას გამოვიყენეთ შეკვრის 4.3 თავში მოცემული დანამატი Gantre 3041, რათა შეგვემცირებინა წყლის რაოდენობა და გაზრდილიყო ბეტონის შეკვრის ვადები და კონუსის ჯდენა.
3. იმის გამო რომ ვულკანურ წიდაზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონი გამოდის მუქი წითელი ფერის, გადავწყვიტეთ ბეტონსი გამოგვეყენებინა ასევე 4.3 თავში მოცემული წითელი ფერის პიგმენტი SikaCem Color-Red, ცემენტის მასის 1% (ავიღეთ მინიმალური დოზირება რათა ფასის ზრდა არ მომხდარიყო 5%-ზე მეტად).
4. დანამატის შემოტანამ ბეტონში, მოგვცა იმის საშუალება რომ წყლის რაოდენობა შემცირდა 50 კგ-ით და შეადგინა 250 კგ/მ<sup>3</sup>

ახალი შედგენილობის ანგარიში დაფუძნებულია სამაგისტრო ნაშრომში მოცემული მეთოდების გათვალისწინებით და ზემოთ მოცემული 4 პარამეტრის ცვლილებით. [15,16]. ჩვენს მიერ შემუშავებული მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონის შედგენილობა წარმოდგენილია ცხრილი №25-ში



ცხრილი №25 - დეკორატიული მსუბუქი ბეტონის შედგენილობა და თვისებები

№	მასალების დასახელება	ხარჯის 1 მ <sup>3</sup> -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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	1805

ცხრილი №25-ში მოცემული შედგენილობით მომზადდა საცდელი ანარეგები და განხორციელდა ბეტონის ნარევის თვისებების შესწავლა და მოვახდინეთ საკონტროლო ნიმუშების აღება სიმტკიცის დასადგენად.

კვლევების შედეგად გამოვტანეთ შემდეგი სახის დასკვნები:

- ✓ ვულკანური წიდისგან დამზადებული მსუბუქი ბეტონი განხილულია დეკორატიული ბეტონის დასამზადებლად;
- ✓ წარმოდგენილია ბეტონის შედგენილობის ანგარიში და ბეტონის თვისებები
- ✓ ბაზარზე დღეს არსებული ნედლეულის დახმარებით შესაძლებელია დამზადდეს B22.5 კლასის მსუბუქ-დეკორატიული წითელი ფერის ბეტონი,

რომლის სიმკვრვე 1800 კგ/მ<sup>3</sup>-ია.

- ✓ შესაძლებელია ასევე რომ ვულკანურ წიდაზე დამზადებული მსუბუქი დეკორატიული ბეტონის ყალიბებში მოთავსება განხორციელდეს ბეტონოტუმბოთი 60 მ სიგრძის რადიუსში.
- ✓ მსუბუქი დეკორატიული ბეტონის დამზადებისას შესაძლებელია პიგმენტების გამოყენება.

ქვემოთ მოცემულ ფოტოებზე შეგიძლიათ იხილოთ ჩვენს მიერ მსუბუქი დეკორატიული წითელი ფერის ბეტონის ფოტოები.



სურათი №32 - მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონი.



სურათი №33 - მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონის ნარევი



სურათი №33 - მსუბუქ-დეკორატიული ბეტონის ნიმუშები

## 5. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მომზადების და ტრანსპორტირების თავისებურებანი

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი, მისი თვისებებიდან და დანიშნულე-ბიდან გამომდინარე, მიეკუთვნება სპეციალური ბეტონების ჯგუფს. შესაბამისად მისი მომზადების და ტრანსპორტირების დროს გასათვალისწინებელია სხვადასხვა გარემო თუ ბუნებრივი ფაქტორები. რამოდენიმე ათეული პროექტი გვაქვს განხორციელებული ჩვენს მიერ შემუშავებული არქიტექტურული ბეტონებით და პრაქტიკული გამოცდილებაც საკმაოდ დაგვიგროვდა. პუნქტების სახით გთავაზობთ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მომზადების და ტრანსპორტირების მეთოდებს, რომლებიც ჩვენს მიერ იქნა შემუშავებული:

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 ორღერძიანი 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 მ<sup>3</sup> 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. [17,18]



სურათი №34 - ბეტონის ნარევის “ბაიოკით“ ყალიბებში მოსათავსებლად.

## 6. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციების მოვლა და ზედაპირების დაცვითი საშუალებები

როგორც წინა თავში ავლნიშნეთ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციებს, დაყალიბების და გამყარების შემდგომ სჭირდება მოვლა და დაცვა დაჭუჭყიანებისგან, სხვა სამშენებლო მასალების მოხვედრისგან (საღებავები, სამშენებლო ხსნარები, საყალიბე ზეთები და სხვა მრავალი).

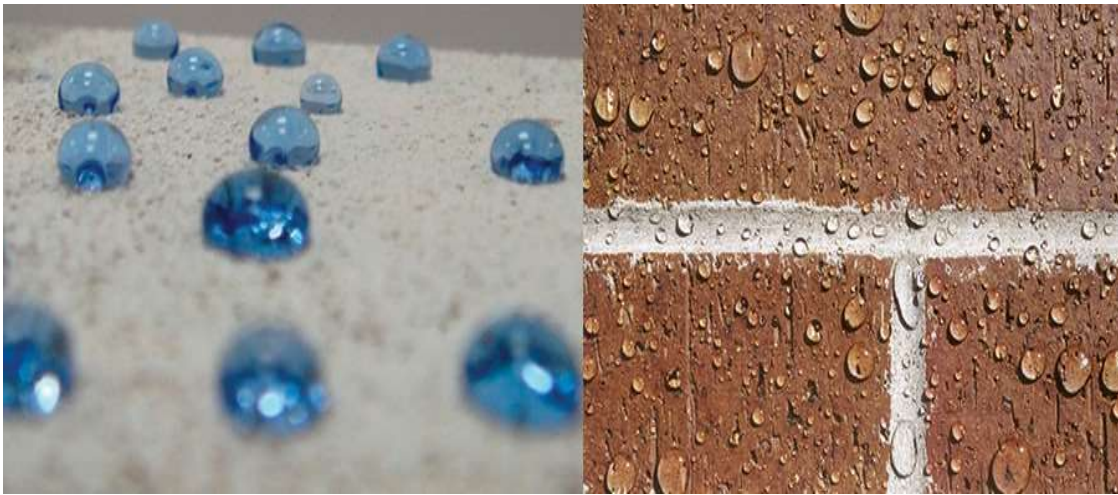
გარდა გამყარებამდე მოვლისა, აუცილებელია რომ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ზედაპირები დაცული იყოს სხვადასხვა სახის აგრესიისა, მასალისა თუ ჭუჭყისგან, რადგან ეს ბეტონი წარმოადგენს, ე.წ. „გამოკვეთილ ბეტონს“ („დაუცველი ბეტონი“) და მისი ვიზუალური მხარე ყოველთვის უნდა იყოს ისეთი, როგორც მომზადებიდან მე-2, მე-3 დღეს იყოს.

ზედაპირების დამუშავება შეიძლება განხორციელდეს უამრავი მეთოდით: სამრეწველო დამუშავება (გახეხვა, გაპრიალება); ქიმიური რეაგენტების საშუალებით დამუშავება და სხვა. შესაძლებელია წინასწარ გამზადებული ყალიბებით უკვე საბოლოო სახის ბეტონის მიღება; ზედაპირების მხატვრული გაფორმება: სხვადასხვა ბუნებრივი ფერადი ქვების ელემენტების დატანით, გრავირების მეთოდი, მხატვრული შეღებვა და სხვა მრავალი. [16,17]

საბოლოოდ რომელი მეთოდიც არ უნდა იქნას გამოყენებული ზედპირის დასამუშავებლად, აუცილებელია რომ საბოლოო ზედპირის მირების შემდგომ ზედპირი დამუშავდეს სეპციალური ტიპის მასალით, რომელიც უზრუნველყოფს ბეტონის ზედპირის მიერ ნესტის და წყლის არ შეწოვას და ასევე ბეტონის ზედპირებზე ჰაერში არსებული მტვრის და ნადების არ დადებას, ამინდის ნებისმიერ პირობებში და თუნდა რამოდენიმე წლის შემდეგ არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის ზედპირი და მისი ფერი იყოს პროექტის შესაბამისი ფერშეუცვლელი.

ამ საკითხის გადასაწყვეტად ჩვენს მიერ მოძიებულ და შერჩეულ იქნა გერმანული კომპანია „Baumerk“-ის მიერ წარმოებული სპეციალური თხევადი დანამატი-SILOX, რომელიც უზრუნველყოფს ბეტონის ზედპირის 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<sup>2</sup> ფართობზე შეადგენს 0.60 კგ-ს.



სურათი №35 – SILOX-ის ეფექტი ზედაპირებზე

## 7. სამშენებლო ყალიბების მოწყობა, ბეტონირების და კომპაქტირების თავისებურებანი

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კონსტრუქციების მოსაწყობად გამოყენებულ სამშენებლო ყალიბებს აქვს თავისი სპეციფიკური თავისებურებანი, რაც გასათვალისწინებელია სამშენებლო ყალიბების მოწყობის, ყალიბებში ბეტონის ნარევის მოთავსების და მოთავსებული ნარევის კომპაქტირების, (ვიბრაციის) დროს.

მომზადებული სამშენებლო ყალიბები 100%-ით ჰერმეტიკული უნდა იყოს დაბეტონებამდე, რადგან ჰერმეტიკობის დარღვევის შემთხვევაში მოსალოდნელია ნარევიდან დუღაბის მცირე რაოდენობის გადმოღვრა, რასაც აუცილებლად მოჰყვება ზედაპირის დეფექტი, რომელიც ნაჩვენებია სურათი №36.



სურათი №36 - კედლის დეფექტი გამოწვეული ყალიბის არაჰერმეტიკობით.

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, რაზედაც მოწმობს სურათი №37.



სურათი №37 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის კედელი.

არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის მოთავსებისას და ვიზრაციისას სამშენებლო ყალიბებში, აუცილებელია გავითვალისწინოდ შემდეგი მოთხოვნები:

- ✓ ყალიბში ბეტონის მოთავსებას უნდა ანხორციელებდეს 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. (სურათი№38)



სურათი№38 - ზედმეტი და არათანაბარი ვიბრაციისგან გამოწვეული დეფექტი

- ✓ 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. (სურათი№39)



სურათი№39 - არასწორი ვიბრაციის შედეგად წარმოქმნილი დეფექტი

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 მიტანილი ბეტონით შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა ფერის და ტონალობის კონსტრუქციები, რაც სასურველი არაა. [17]

## 8. არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონის 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 მ<sup>3</sup>. აღნიშნული ბეტონის 1 მ<sup>3</sup>-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.



## 9. დასკვნა

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. 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.

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 გვქონდა მიზნად დასახული.
6. ნაშრომში დეტალურად წარმოვაჩინეთ 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.

## 10. გამოყენებული ლიტერატურა

1. Betontechnische Daten, Heidelbergcement, 2009 - ბერლინი, 2009 წ.
2. www.heidelbergcement.com - ინტერნეტ გვერდი სამშენებლო მასალების შესახებ.
3. EN 206:2014 Concretes-Specification, performance, production and conformity - ევრო სტანდარტი ბეტონების შესახებ, 2014 წელი.
4. www.sichtbeton.de - არქიტექტურული ბეტონის ინტერნეტ გვერდი
5. Sichtbeton, Heidelbergcement AG, 2012 - ჰაიდელბერგცემენტის მიერ წამოებული არქიტექტურული ბეტონი - სახელმძღვანელო, ჰაიდელბერგი, 2012 წელი.
6. ა. ნადირაძე, „საშენი მასალები და ნაკეთობები— თბილისი, 2014
7. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა.ჩიქოვანი. ბეტონები, ტექნიკური მოთხოვნები, გამოცდის მეთოდები ევროპულ სამშენებლო ნორმებთან შესაბამისობით. თბილისი 2017 წელი.
8. საქართველოს მყარი მინერალები და რესურსები. ბიულეტენი #9, 1998, ივნისი. საქართველოს სტრატეგიული კვლევებისა და განვითარების ცენტრი. თბილისი.
9. Природные пористые заполнители Грузинской ССР и легкие бетоны на их основе. каталог-справочник. Тбилиси, 1976.
10. Угулава Л.Г. - Повышение водозащитных свойств легкого бетона комплексной химической добавкой. Автореферат кандидатской диссертации, Тбилиси 1986 г.
11. გ. რობაქიძე. ბუნებრივი ფოროვანი შემვსებების გამოყენება სხვადასხვა დანიშნულების კონსტრუქციებში. ჟურნალი ენერჯია #2(50) ნაწ. #1/2009.
12. ლ. უგულავა, გ.რობაქიძე. მსუბუქი დეკორატიული ბეტონი. ჟურნალი „მშენებლობა“. #2(45), 2017, თბილისი.
13. ლ. უგულავა, გ.რობაქიძე. ადგილობრივი მძიმე შემვსებებით დეკორატიული ბეტონის დამზადება. ჟურნალი ენერჯია #3(35) ნაწ. #1/2018.

14. СИМОНОВ М.З. Основы технологии легких бетонов. Стройиздат.М.1973.с.584
15. СИМОНОВ М.З. Особетонности структурообразования и формирования свойств легкого бетона и учет их при проектировании, его свойства. Всесоюзная конференция по легкому бетону. Сборник № I.Минск.1970.с.
16. ლ. უგულავა, გ.რობაქიძე. ვულკანურ წიდაზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონის კვლევა. სამაგისტრო ნაშრომი - 2009 წელი.
17. WWW.PERI.COM - ინტერნეტ გვერდი არქიტექტურული ბეტონის ტიპების და ყალიბების შესახებ.
18. WWW.DOKA.COM - ინტერნეტ გვერდი არქიტექტურული ბეტონის ტიპების და ყალიბების შესახებ.

დანართი 1 - არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონით მშენებლობის რეკომენდაციები  
ეგრეთ წოდებული „არქიტექტურულ-დეკორატიული ბეტონი“ სტანდარტული  
ბეტონისგან განსხვავდება შემდეგი მახასიათებლებით:

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 მ<sup>3</sup> 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 მ<sup>3</sup> 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

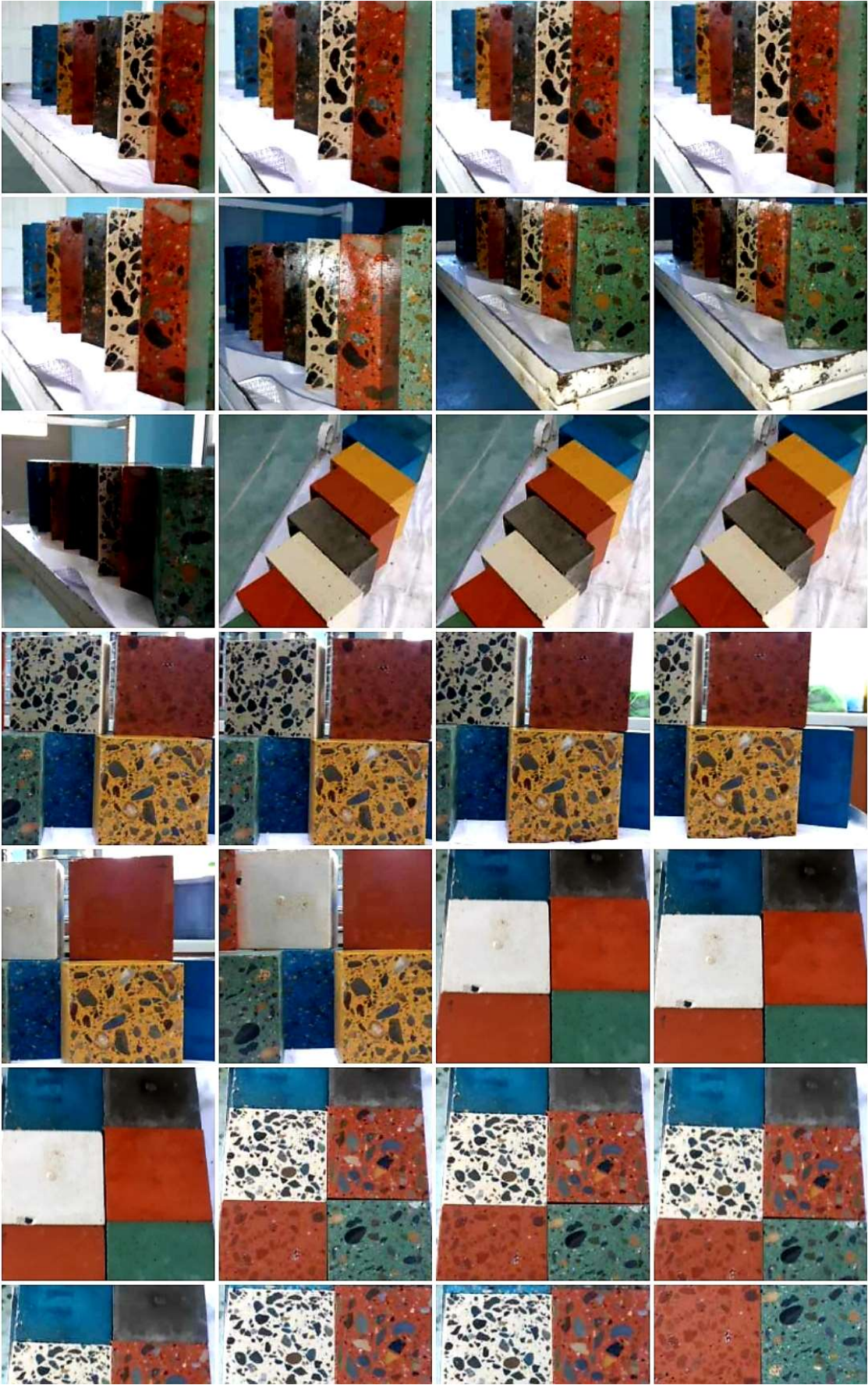
გასვლის შემდგომ (4-5 თვის შემდეგ) მაინც ერთი და იგივე ტონალობაში ჯდება

- 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.  $\pm 5$  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

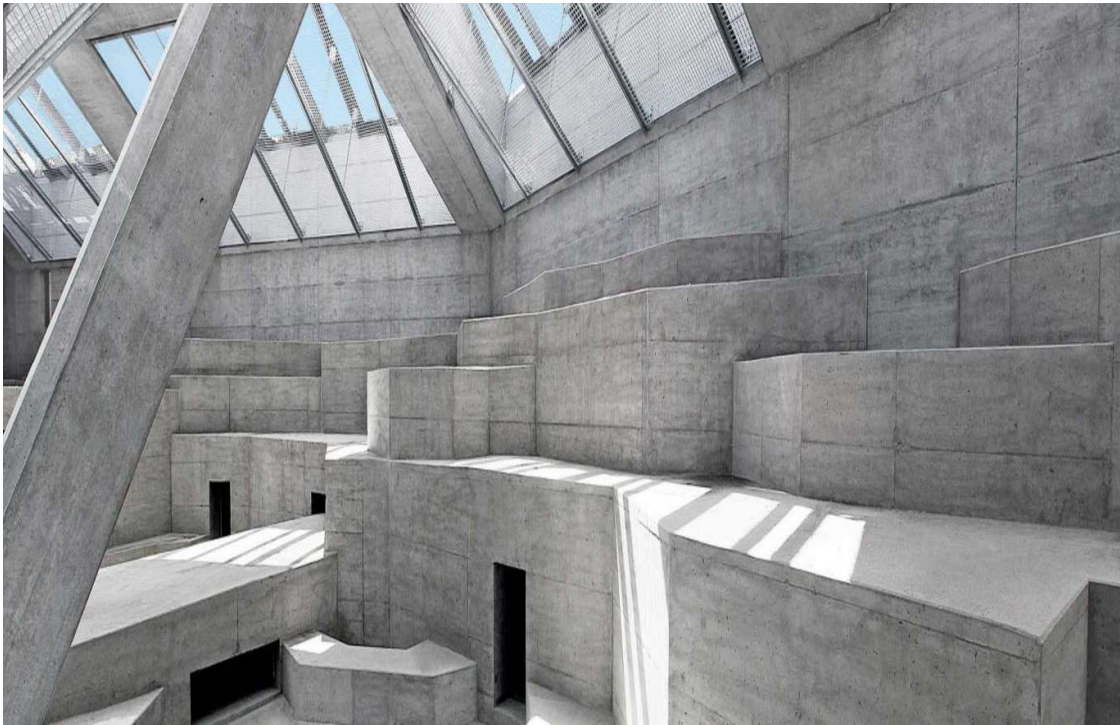


ხდება, უბრალოდ ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს უკვე ცემენტის მარცვლებთან და სხვაობა ფერებში მაინც იქნება, ოღონდ ბევრად უფრო ნაკლებად შესამჩნევი და 4-5 თვის შემდეგ მაინც ერთ ფერში დაჯდება.

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.







მერსედეს ბენცის მუზეუმი შტუტგარტში, გერმანია

