

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მიხეილ შენგელია

ცემენტის მარკის დადგენა ევროპული ნორმების შესაბამისობით

ადგილობრივ ქვიშაზე

სადოქტორო პროგრამა-მშენებლობა

შიფრი-0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის „სამოალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიების და საშენი მასალების“ N103 დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი არჩილ ჩიქოვანი

რეცენზენტები: პროფესორი მალხაზ ტურძელაძე(სტუ)

ირაკლი გიორგაძე (აკადემიური
დოქტორი, ჰაიდელბერგცემენტი,)

დაცვა შედგება 2022 წლის „26 ” ივლისს 13 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 508

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი

პროფესორი

დემურ ტაბატაძე

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა. სხვადასხვა ქვეყანაში გამოიყენება ცემენტის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდი: სიმტკიცე, წყალმოთხოვნილება, შეკვრის ვადები, მოცულობის ცვლილების თანაბარზომიერება, რომლებიც გვაძლევენ განსხვავებულ შედეგს ერთი და იგივე ცემენტის გამოცდისას. ამჟამად ევროპის სტანდარტიზაციის კომიტეტმა (CEN) მიიღო ევროპული სტანდარტი EN 196, რომელიც არეგულირებს EC ქვეყნებისათვის გამოცდის ერთიან მეთოდებს, ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დასადგენად, პლასტიკურ დუღაბში, პოლიფრაქციული ქვიშის და სპეციალური მოწყობილობების გამოყენებით. აქამდე ქვეყანაში ნორმატიული ბაზა დაფუძნებული იყო ცემენტის იმ მახასიათებლებზე, რომლებიც მიიღებოდა უფრო ხისტ, მონოფრაქციულ ქვიშაზე დამზადებულ ნიმუშებზე. ცემენტი ეწოდება მასალას ადჰეზიური და კოჰეზიური თვისებებით, რომელსაც შეუძლია ერთ მთლიან მონოლითად შეაერთოს ცალკეული მინერალური მარცვლები. ასეთი განმარტება მოიცავს სხვადასხვა შემკვრელი ნივთიერებების დიდ რაოდენობას.

მშენებლობისათვის ტერმინი „ცემენტი“ მნიშვნელობა განსაზღვრულია შემკვრელი ნივთიერებით და გამოიყენება ქვის მასალის, ქვიშის, აგურის ბლოკის და სხვა შესაერთებლად.

ბეტონებისათვის გამოიყენება შემკვრელი ნივთიერება, რომელსაც უნარი აქვს შეიკრას და გამაგრდეს წყალში, მასთან ქიმიური რეაქციის შედეგად.

ჰიდრავლიკური შემკვრელები შედგებიან ძირითადად კალციუმის სილიკატებისა და ალუმინატებისაგან, მათ მიეკუთვნება რომანცემენტი, პორტლანდცემენტი, თიხა-მიწოვანი ცემენტი და სხვ.

შემკვრელი ნივთიერების გამოყენებას აქვს დიდი ხნის ისტორია. ძველი ეგვიპტელები იყენებდნენ გამომწვარ ბუნებრივი თაბაშირის ქვას. ბერძნებმა და რომაელებმა დაიწყეს გამომწვარი კირქვის გამოყენება, შემდეგ

ისწავლეს კირსა და წყალზე დაემატებინათ ქვიშა, დამსხვრეული ქვა ან აგური და დამტვრეული ნატეხარა. ეს იყო კაცობრიობის ისტორიაში პირველი ბეტონი.

კირის დუღაბი არ მაგრდება წყალში, ამიტომ რომაელებმა წყალქვეშა მშენებლობისათვის გამოიყენეს ერთად დაფქული კირი და ვულკანური ფერფლი ან გამომწვარი თიხის ნატეხარა. ვულკანურ ფერფლსა და თიხაში არსებულმა აქტიურმა კაჟმიწამ და თიხამიწამ, საშუალება მისცა მიეღო შემკვრელი, რომელსაც შემდეგ უწოდეს „პუცოლანური ცემენტი“.

ძველი რომის მთელ რიგ ნაგებობაში, როგორცაა რომის კოლიზეუმი ან ხიდი ჰარდი, ცემენტის დუღაბმა, რომლითაც გაკეთებული იყო ქვის წყობა. ჩვენს დღეებამდე შეინარჩუნა დიდი სიმტკიცე.

შუა საუკუნეების უძრავობის პერიოდის შემდეგ მხოლოდ XVIII საუკუნეში აღინიშნა ცოტაოდენი პროგრესი. 1756 წელს ჯონ სმიტონმა ედისტონის შუქურის გადაკეთების დროს აღმოაჩინა, რომ მშენიერი დუღაბი მიიღება პუცოლანური კომპონენტის შერევით ისეთ კირთან, რომელიც მიღებულია თიხის დიდი შემცველობის კირქვისაგან.

სმიტონი იყო პირველი ვინც შეაფასა ჰიდრავლიკური კირის ქიმიური აქტიურობა. შემდეგ ჯოსეფ პარკერმა მიიღო რომანცემენტი თიხამიწოვანი კირქვის გამოწვით. 1824 წელს კი ინგლისელმა კალატომმა ჯოსეფ ასპდინმა მიიღო პატენტი პორტლანდცემენტის გამოგონებაზე. თითქმის მასთან პარალელურად რუსეთში ეგორ ჩელიევი (წარმოშობით ჭელიძე) გამოაქვეყნა ცემენტის მიღების წესი. ცემენტი მიღებული იქნა წმინდად დაფქული კირქვის და თიხის ნარევის გამოწვით, ნახშირორჟანგის გამოყოფის ტემპერატურამდე. მაგრამ ეს არ იყო შეცხოების საკმარისი ტემპერატურა (1450°C), რომელიც საჭიროა კლინკერის მისაღებად.

თანამედროვე ცემენტის პროტოტიპი დაამზადა 1845 წელს ინგლისელმა ისააკ ჯონსონმა, რომელმაც მიიყვანა თიხის და ცარცის ნარევი შეცხოვამდე, როდესაც ხდება კლინკერის წარმოქმნის რეაქცია.

დასახელება პორტლანდცემენტი თავდაპირველად მან მიიღო

დორსეტში მოპოვებულ პორტლანდის ქვის-კირქვასთან მსგავსების გამო. ეს სახელი შენარჩუნებულია დღემდე, პორტლანდცემენტი ეწოდება შემკვრელ ნივთიერებას, რომელიც მიიღება გულმოდგინედ არეულ ნედლეულისაგან, შედგება კირქვისა და თიხის ან სხვა მასალებიდან და შეიცავს კაჟმიწას და რკინის ჟანგეულებს.

ახალი ტექნოლოგიების XXI საუკუნემ ადამიანებს მისცა საშუალება დაეხვეწათ მასალის თვისებები.

შემკვრელ ნივთიერების პალიტრა ძალიან ფართოა, წარმოდგენილია ასობით დასახელების სხვადასხვა მახასიათებლებით, რომელიც დროთა განმავლობაში იცვლება თანამედროვე ტექნოლოგიების შესაძლებლობების გამოყენების გზით.

სხვადასხვა ქვეყნებში გამოიყენება ცემენტის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდი ერთი და იგივე ცემენტის გამოცდისას. ამჟამად ევროპის სტანდარტიზაციის კომიტეტმა მიიღო ევროპული სტანდარტი EN196, რომელიც არეგულირებს EC ქვეყნებისათვის გამოცდის ერთიან მეთოდებს ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დასადგენად. პლასტიკურ დულაბში, პოლიფრაქციული ქვიშის და სპეციალური მოწყობილობების გამოყენებით. აქამდე ქვეყანაში ნორმატიული ბაზა დაფუძნებული იყო ცემენტის იმ მახასიათებლებზე, რომლებიც მიიღებოდა უფრო ხისტ, მონოფრაქციულ ქვიშაზე დამზადებულ ნიმუშებზე.

ნაშრომის მიზანია დაინტერესებულ პირებს და ორგანიზაციებს გააცნოს ევროპული სამშენებლო ნორმების ძირითადი დებულებები, ცემენტებისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნები, გამოცდის მეთოდები, რომელიც საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ მასალების ხარისხი.

სადისერტაციო კვლევის მიზანს წარმოადგენს ცემენტის მარკის დადგენა ადგილობრივ საქართველოს რეგიონებში არსებულ ქვიშებზე. ამ მიზნის მიღწევა რეალიზდება შემდეგი ამოცანების გადაჭრით:

1. გამოიცადოს ცემენტი და ქვიშები საქართველოში მოქმედის

სტანდარტების მიხედვით.

2. სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო-სამეცნიერო საექსპერტო საგამოცდო ლაბორატორიაში

ჩატარებულ იქნას კვლევები საქართველოს სხვადასხვა რაიონების კარიერების ქვიშებზე.

3. მოხდეს ადგილობრივი მასალის შედარება ევროპული (EN) სტანდარტის ქვიშასთან, ცდები უნდა ჩატარდეს

ევროპული სტანდარტის დაცვით.

ჩვენი ჩატარებული კვლევებიდან ამორჩეული იქნა ელიტ-ბილდერის, არაგვისპირის და თბილცემენტის მტკვრის ქვიშა, რომლითაც დამზადებულმა ძელაკების სიმტკიცემ შეადგინა სულ 5%, 6,5% და 6,6% რაც უმნიშვნელოდ ცდება ევროპული სტანდარტით დამზადებული ჩვენი ეტალონური ნიმუშის სიმტკიცეს და რომელიც სრულიად მისაღებია ცემენტის მარკის დასადგენად.

სადისერტაციო კვლევის თეორიულ და მეთოდოლოგიურ საფუძველს წარმოადგენენ შემდეგი მეთოდები: საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა და მათი ანალიზი.

სადისერტაციო კვლევა ეფუძნება საქართველოში მოქმედ სამშენებლო ნორმებს.

კვლევის სამეცნიერო სიახლე

1. გამოკვლეულია საქართველოს რეგიონებში არსებული კაიერების ინერტული მასალები;

2. არსებული ინერტული მასალები შესაბამისობაში მოვიყვანეთ ევროპული სტანდარტების (EN) მოთხოვნებთან;

3. დავამზადეთ ცემენტის პრიზმები კუმშვა-ღუნვაზე გამოსაცდელად ადგილობრივი ინერტული მასალებით.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს ცემენტის მარკის მისაღებად გამოყენებული იქნეს საქართველოს რეგიონების ადგილობრივი

ინერტული მასალა.

კვლევის ძირითდი სამეცნიერო შედეგების აპრობაცია

კვლევის ძირითდი შედეგები მოხსენებული იყო სადოქტორო პროგრამით განსაზღვრულ სამ კოლოქვიუმზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 87-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე საერთაშორისო ონლაინ კონფერენციაზე, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიებისა და საშენი მასალების სექციაზე.

პუბლიკაციები: ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნდა 4 სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა: ნაშრომის სრული მოცულობა 130 გვერდია, მოიცავს შესავალს, სამ თავს, ძირითად დასკვნებს და 30 დასახელების ციტირებულ ლიტერატურას.

სადისერტაციო ნაშრომის შინაარსი თავების მიხედვით შესავალში წარმოდგენილია სადისერტაციო თემის აქტუალურობა, ის ძირითდი ამოცანები და პრობლემები, რომლებიც წარმოიშობა კვლევის პროცესში, ჩამოყალიბებულია ნაშრომის მიზანი, კვლევის მეთოდები, მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული ღირებულება.

დისერტაციის პირველ თავში მიმოხილულია ისეთი ცნობილი მეცნიერების ნაშრომები და კვლევები როგორცაა: ა. ჟურავლიოვი, ვ. ოკოროკოვი, პ.რეზინდერი, გ.ი. გორჩაკოვის, გ.კრილოვის, ვ.ი. კროპოტოვის, ვ.ე. იასპევიჩის, ა.გ. კომარის, ვ.გ. მიკულსკის, ი.გ. ბარბანშიკოვის, ი.ლ. ზნაჩკო-იავორსკის გ. წითელაურის, გ. ცისკრელის, პ. წულუკიძის, გ. ქარცივაძის, ა. ნადირაძის და სხვა.

შემკვრელი ნივთიერებები შედგენილობის, თვისებების და გამოყენების მიხედვით იყოფა არაორგანულ და ორგანულ ნივთიერებებად.

არაორგანული შემკვრელი ნივთიერებები წარმოადგენს ფხვნილისებს მასალას. წყალთან ადულაბებისას ისინი თხევადი, ან პლასტიკური ცომის

მდგომარეობიდან გადადიან ქვისებრ მდგომარეობაში. შემკვრელი ნივთიერებები გამოიყენება მარცვლოვანი მასალების ან ცალობითი ნაკეთობების დასაკავშირებლად, ამაზეა დამყარებული სამშენებლო დუღაბის, ბეტონის და სხვადასხვა ხელოვნური ქვის დამზადება.

არაორგანული შემკვრელი ნივთიერებები ძირითადი თვისებებისა და შედგენილობის მიხედვით იყოფა ჰაერულ, ჰიდრავლიკურ და ავტოკლავურ გამყარების შემკვრელებად.

ცემენტის ჰიდრატაციის საკითხის შესწავლას მიემდგვნა უამრავი შრომა. ჩვენ შევეცადეთ გადმოგვეცა ამ ნაშრომების ძირითადი არსი.

პორტლანდცემენტის აღმოჩენა რევოლუციური მნიშვნელობის მოვლენაა და მის პირველ აღმომჩენად ინგლისელი ჯოზეფ ასპდინი ითვლება. მან 1824 – 1825 წლებში გამოიგონა პორტლანდცემენტი. ამასთან მას მიღებული აქვს პატენტი პორტლანდცემენტის გამოგონებაზე ქალაქ პარიზში. საამაყოა ის რომ ასპდინის პარალელურად იმავე პერიოდში რუსეთში ჩვენი თანამემამულის სამხედრო ინჟინრის იგორ გერასიმის ძე ჭელიძის მიერ მიღებული იქნა იგივე თვისებების მქონე ცემენტი. ამასთან ჭელიძემ 1825 წელს გამოაქვეყნა ფუნდამენტური ნაშრომი, სადაც აღწერილი იქნა ცემენტის ნედლეული, დამზადების ტექნოლოგია და მისი თვისებები. ნაშრომი შეადგენს 30 -40 ნაბეჭდ თაბახს, რაც გვაძლევს საფუძველს იმისას რომ იგი ჩავთვალოთ პორტლანდცემენტის გამომგონებლად. ჭელიძის მიერ მიღებული ეს ცემენტი გამოყენებული იქნა პირველ სამამულო ომის დროს დანგრეული მოსკოვის აღსადგენად. ამრიგად პორტლანდცემენტის წარმოების ფუძემდებლად ჩვენს ქვეყანაში ითვლება ჭელიძე, ამის დასტურია *И. А. Значко-Яворски* მიერ 1969 წელს რუსულ ენაზე გამოცემული წიგნი, სახელწოდებით: „იგორ გერასიმის ძე ჭელიძე - ცემენტის გამომგონებელი.“

მიღებული პორტლანდცემენტი თანდათან სრულყვეს ინგლისელმა მეცნიერმა ჩარლზ ჯონსონმა და რუსმა შულიაჩენკომ, მალიუგამ და ჩვენმა თანამემამულემ ვ. მიხაილოვმა. ამ ცემენტს რუსეთში და შემდგომ ყოფილ

საბჭოთა კავშირში მე-XX-ე საუკუნის 50-იან წლამდე უწოდებდნენ ჩვეულებრივ ცემენტს, ხოლო შემდგომში მას საერთაშორისო სტანდარტებზე გადასვლის გამო შეარქვეს პორტლანდცემენტი, რადგან იგი დამზადებული იყო ქალაქ პორტლენდში. ეს ქალაქი მდებარეობდა ლონდონის მახლობლად, ამჟამად ლონდონის შემადგენლობაშია. საინტერესოა ისიც რომ ჯოზეფ ასპდინის შვილმა ამ ქალაქში ააშენა ცემენტის ქარხანა, რომლის წინაც დგას ჯოზეფ ასპდინის ძეგლი. ამჟამად ეს ქარხანა არ მოქმედებს და არის მუზეუმი.

მეორე თავში - განხილულია შემვსებში სხვადასხვა სისხო მარცვლის შემცველობას მარცვლოვან შედგენილობას უწოდებენ, რომელიც ისაზღვრება სინჯის გაცრით 0,14 მმ-დან 70 მმ-მდე და მეტ ნახვრეტებიან სტანდარტულ საცრებში. შემვსები რიგითია, თუ იგი შეიცავს სხვადასხვა ზომის მარცვალს, და დაფრაქციებული, როდესაც შემვსების მარცვლები დაყოფილია ცალკეულ ფრაქციებად, რომლებიც შეიცავს ერთმანეთთან მიახლოებული ზომების მარცვლებს, მაგალითად 0,14 – 1,25 ; 2,5 – 5,0 ; 5- 10 ან 20-40 მმ. შემვსებებს ახასიათებენ აგრეთვე მარცვლების უდიდესი და უმცირესი სისხოთი, მიუხედავად ამისა მასში გვხვდება ცალკეული უფრო წვრილი ან უფრო დიდი ზომის მარცვლები, რომელთა რაოდენობა, აღებული ფრაქციის შემვსებებში, რეგლამენტირებულია სახელმწიფო სტანდარტით.

შემვსებს უწოდებენ ე რ თ ფ რ ა ქ ც ი ა ნ ს, თუ მისი მარცვლების უმცირესი და უდიდესი სისხო შეესაბამება სტანდარტული კომპლექსის მოსაზღვრე საცრების ნახვრეტების ზომებს : 5-20 , 20-40 მმ და ა.შ. მაგალითად , 5-40 მმ ფრაქციის შემვსები სამფრაქციანია.

ზოგიერთ კონკრეტულ შემთხვევაში იყენებენ შემვსებების არასრულ ფრაქციებს, მაგალითად 10-115 ან 15-20 მმ და ა.შ.

შემვსების მარცვლოვანი შედგენილობა უ წ ყ ვ ე ტ ი ა, როცა მის ნარევი გვხვდება ყველა ზომის მარცვლები $D_{უმც}$ -დან $D_{უდიდ-მდე}$. თუ ნარევი არ არის რომელიმე შუალედური ფრაქცია, მარცვლოვანი

შედგენილობა წყვეტილია, წყვეტილი მარცვლოვანი შედგენილობა მაგალითია ღორღის ან ხრეშის ფრაქციების ნარევი 5-10 და 20-40 მმ, რასაც აკლია შუალედური ფრაქცია 10-20 მმ.

უწყვეტი მარცვლოვანი შედგენილობა უფრო ეფექტურია, თუ იგი უზრუნველყოფს შემსვლების მცირე ცარიელობას, რადგანაც ყველა თანმიმდევრული ფრაქციის გამოყენებისას მცირე ზომის მარცვლები იკავებს სიცარიელებს მსხვილი ზომის მარცვლებს შორის, რის შედეგად უფრო კომპაქტურად შეივსება მოცულობა. წყვეტილი მარცვლოვანი შედგენილობის ნარევი ხასიათდება განშრევებით, რაც უარყოფითად მოქმედებს ბეტონის ერთგვაროვნებაზე, გარდა ამისა, გარკვეული დენადობის ნარევის მისაღებად მარცვლების ცემენტის ცომით შემოგოზვის ფენის სისქე უფრო სქელი უნდა იყოს, ვიდრე უწყვეტი მარცვლოვანი შედგენილობის ნარევებში, რაც იწვევს ცემენტის ხარჯის ზრდას.

შემსვლების უწყვეტი მარცვლოვანი შედგენილობის შესარჩევად იყენებენ სხვადასხვა იდეალური გაცრის მრუდს, რადგანაც არ შეიძლება ერთდროულად მინიმალური ცარიელობის და მარცვლების უმცირესი კუთრი ზედაპირის მქონე ნარევის მიღება. იდეალური მრუდი შეირჩევა იმ პირობიდან, რომ ნარევში არსებული სიცარიელები და მარცვლების შეჯამებული ხვედრითი ზედაპირი მოითხოვდეს ცემენტის მინიმალურ ხარჯს, ბეტონის ნარევის გარკვეული დენადობისა და სიმტკიცის მისაღებად. იდეალური მრუდით სხვადასხვა ზომის მარცვლების თანაფარდობის შერჩევისას მიიღება უფრო დიდი დენადობის ნარევები ერთი და იმავე ცემენტის ხარჯის შემთხვევაში. ამასთან ერთად ასეთი ნარევები განშრევების ნაკლები მიდრეკილებით ხასიათდება.

ფულერისა და ბოლომეის გაცრის იდეალური მრუდის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$y = K_{\text{გ}} + (100 - K_{\text{გ}}) \sqrt{X/D_{\text{ზღ}}}$$

სადაც $K_{\text{გ}}$ არის ფორმის კოეფიციენტი; $K_{\text{გ}} = 8 - 14$; X - ალბულო ფრაქციის მარცვლების ზომა; $D_{\text{ზღ}}$ - შემსვლების ზღვრული სისხო.

ასაწყობი რკინაბეტონის ქარხნებში შემვსების მარცვლოვანი შედგენილობის შერჩევასა, სარგებლობენ რა განსაზღვრული ქვიშითა და ღორღით, საზღვრავენ ქვიშისა და ღორღის ცალკეული ფრაქციების ისეთ თანაფარდობას, რომ მარცვლოვანი შედგენილობის მრუდი რაც შეიძლება მიუახლოვდეს იდეალურს, ამასთან ერთად, არ არის აუცილებელი იგი მას მთლიანად ემთხვეოდეს. მცირეოდენი გადახრა სავსებით დასაშვებია. მარცვლოვანი შედგენილობის მცირეოდენი გაუარესება კომპენსირდება ცემენტის ხარჯის მცირეოდენი ზრდით ან ბეტონის ნარევის გამკვრივების უფრო ეფექტური ხერხის გამოყენებით. ამ დროს მარტივდება ტექნოლოგია, მცირდება ბეტონის ღირებულება და სატრანსპორტო - დამამზადებელი ხარჯები. ამიტომ სტანდარტებსა და ტექნიკურ პირობებში ყოველთვის მითითებულია არა ერთი რეკომენდირებული მარცვლოვანი შედგენილობა, არამედ დაშვებული გარკვეული გადახრები ცალკეული ფრაქციების თანაფარდობებში, როდესაც არ ხდება შემვსების ნარევის თვისებების მნიშვნელოვანი გაუარესება. ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა უნდა იყოს შემდეგ ზღვრებში:

ცხრილი 1

ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა

საცრის ნახვრეტების ზომები, 22	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,14-ზე ნაკლები
სრული ნარჩენები საცრებში, % - ობით მასით	0	0-20	15-45	35-70	70-90	9-100	0-10

მარცვლოვანი შედგენილობის პირობითი შეფასებისათვის სარგებლობენ სისხოს მოდულით

$$M_s = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100}$$

100

სისხოს მოდულის მიხედვით განასხვავებენ მსხვილ, საშუალო , წვრილ და ძალიან წვრილ ქვიშას (ცხრ. 2 სახელმწიფო სტანდარტი 10268-80).

ცხრილი 2

ქვიშის კლასიფიკაცია სისხოს მიხედვით

ქვიშის ჯგუფები	სრული ნარჩენი № 063 ბადიან საცერზე (%) მასის მიხედვით	სისხოს მოდული
მსხვილი	50-75	2,5-3,5
საშუალო	35-50	2-2,5
წვრილი	20-35	1,5-2
ძალიან წვრილი	20%- ზე ნაკლები	1-1,5

სისხოს მოდული საშუალებას იძლევა ქვიშის გავლენა ბეტონის თვისებებზე განისაზღვროს მხოლოდ მიახლოებით, რადგანაც სხვადასხვა მარცვლოვანი შედგენილობის ქვიშებს შესაძლებელია ჰქონდეს ერთი და იმავე სისხოს მოდული.

ქვიშა მარცვლოვანი შედგენილობის მიხედვით იყოფა წვრილ და მსხვილ ფრაქციად. ქვისის გაყოფა ორ ფრაქციად ხდება ზღვრული მარცვლის მიხედვით, რომელიც შეესაბამება საკონტროლო საცრების 2,5 , 1,25 ან 0,63 მმ ზომის ნახვრეტებს. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დამონოლითებისათვის ქვიშის მარცვლების უდიდესი სისხო უნდა იყოს არაუმეტეს 5 მმ-ისა, ხოლო ბათქაშის გამოსაყვანი შრისათვის არაუმეტეს 1,2 მმ-ისა.

მიზანშეწონილია ქვიშა იყოს ხორკლიანი ზედაპირის, რადგანაც ასეთი ქვიშა უფრო კარგად ეჭიდება ცემენტის ქვას. სასურველია ქვისა იყოს სუფთა, მინარევების გარეშე, რადგანაც გარეცხვა შრომატევადი და ძვირადღირებული პროცესია . აქედან გამომდინარე , მთის ქვიშიშ ნაცვლად მიზანშეწონილია მდინარისა და ზღვის ქვიშის გამოყენება.

ქვიშის სიმკვრივე დამოკიდებულია მის ნამდვილ სიმკვრივეზე, ცარიელობასა და ტენიანობაზე. იგი ისაზღვრება მშრალ, ფხვიერ

მდგომარეობაში სახელმწიფო სტანდარტის 9758-77 მიხედვით . 200 და მეტი მარკის ბეტონისათვის გამოყენებული ქვიშის სიმკვრივე, რომლებიც ექსპლუატაციაში წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაშია, უნდა იყოს არანაკლები 1550 კგ/ მ³ - ისა, სხვა შემთხვევაში სიმკვრივე უნდა იყოს არანაკლები 1400 კგ / მ³ -სა . შენჯღრევისას ქვიშა მკვრივდება, შესაბამისად შესაძლებელია სიმკვრივე გაიზარდოს 1600-1700 კგ / მ³ -მდე. ქვიშა ყველაზე დიდ მოცულობას იკავებს, როდესაც მისი ტენიანობა 5-7 % -ია, ხოლო ტენიანობის გაზრდის ან შემცირების შემთხვევაში ქვიშის მოცულობა მცირდება .

N3 ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი შემვსების სტანდარტული და ტექნოლოგიური მახასიათებლები. სხვადასხვა ტექნოლოგიური მახასიათებლის მქონე შემვსებებს აქვს ძალიან დაახლოებული სტანდარტული მახასიათებლები . 3 ცხრილში მოყვანილო ტექნოლოგიური მონაცემები კი საშუალებას იძლევა უფრო ზუსტად განისაზღვროს შემვსების გავლენა ბეტონის თვისებებზე.

ცხრილი 3.

ზოგიერთი შემვსების სტანდარტული და ტექნოლოგიური მახასიათებლები

შემვსები	ნამდვილი სიმკვრივე გ /სმ ³	სიმკვრივე კგ /ლ	ცარიელობა , %	სისხოს მოდული	წყალმომთხოვნიელობა , %	სიმტკიცის კოეფიციენტი , A
ამოფრქვეული ქანების	2,69	1,15	45,7	-	3,43	0,50

ღორღი იგივე	2,6	1,47	42,6	-	5,88	0,59
კირქვის	2,56	1,34	45,6	-	5,72	0,63
ღორღი	2,63	1,51	42,5	2,70	7	0,53
სამშენებლო	2,7	1,37	49	0,69	11,5	0,25
ქვიშა იგივე	2,65	1,56	41	2,05	4	0,32
ვოლჟსკის ქვიშა						

მესამე თავში განხილულია სადისრტაციო ნაშრომისათვის საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში სასწავლო-სამეცნიერო კვლევითი ლაბორატორიაში ჩატარებული ცდების ნიმუშები. მაგალითისათვის განვიხილავ ერთ, კერძოდ ელიტ ბილდერის კარიერის კარიერის ქვიშის ხარისხის ტესტირებას.

1. ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის ხარისხის ტესტირება

1.1 GOCT 8735-88-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ქვიშის ტენიანობა აღმოჩნდა $W=2.2\%$;

1.2 ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით $\rho_6= 2,66$ გ/სმ³;

1.3 ქვიშის ნაყარი სიმკვრივის GOCT 8735-88-ის მიხედვით $\rho_{6aq}= 1.51$ გ/სმ³;

1.4 ქვიშის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა GOCT 8735-88-ის მიხედვით $V = (1 - \rho_{6aq}/\rho_6)100= 52,5 \%$;

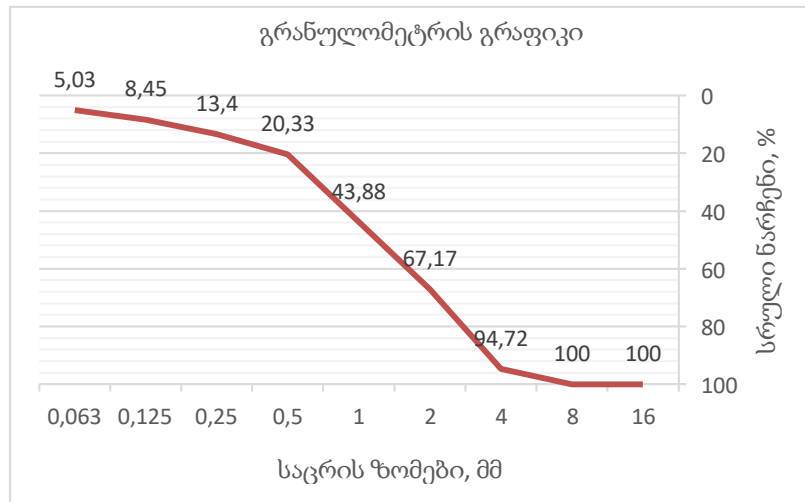
1.5 თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია GOCT 8735-88-ის შესაბამისად შეადგენს 2,11%-ს, რაც ნაკლების ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე - 3%

1.6 ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განისაზღვრება:

ა. EN 933-2-ით ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე; ცხრილი 4

ცხრილი 4 ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის გრანულომეტრია

საწყისი მასა $M_1 = 0,600$ კგ									
საცრის ზომა, მმ	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16
საცერზე ნარჩენი, კგ	569,8	549,3	519,6	478	336,7	197	31,7	0	0
საცერზე ნარჩენი, %	95,0	91,6	86,6	79,7	56,1	32,8	5,3	0,0	0,0
სრული ნარჩენი, %	5,03	8,45	13,40	20,33	43,88	67,17	94,72	100,00	100,00
0,063 მმ საცერში გასული, $P=0.12$ კგ									

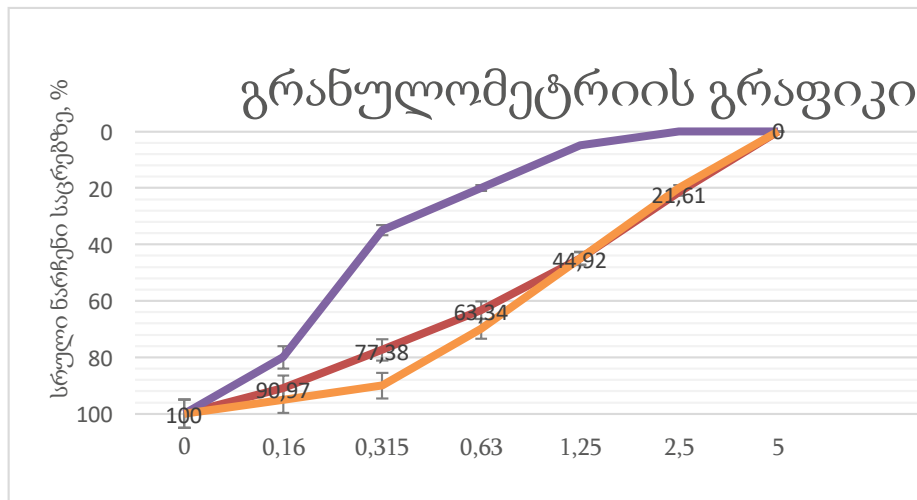


ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი EN 933-2 მიხედვით

ბ. ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით

ცხრილი 5

ნარჩენი საცერზე	საცრის ზერეტის ზომები, მმ						ჯამი	სისხოს მოდული	ჯგუფი
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,15	<0.15			
კერძო, გრ	216,1	233,1	184,2	140,4	135,9	90,3	1000	2,98	მსვლი ქვიშა
კერძო, %	21,61	23,31	18,42	14,04	13,59	9,03	100		
სრული ნარჩენი %	21,61	44,92	63,34	77,38	90,97	100,00	-		



ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის გრანულომეტრიული მრუდი ГОСТ 8735-88-ის მიხედვით

დასკვნა: ГОСТ 8736-93 თანახმა გამოკვეული ქვიშა მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშათა ჯგუფს გრანულომეტრიის მიხედვით, ქვიშა აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს.

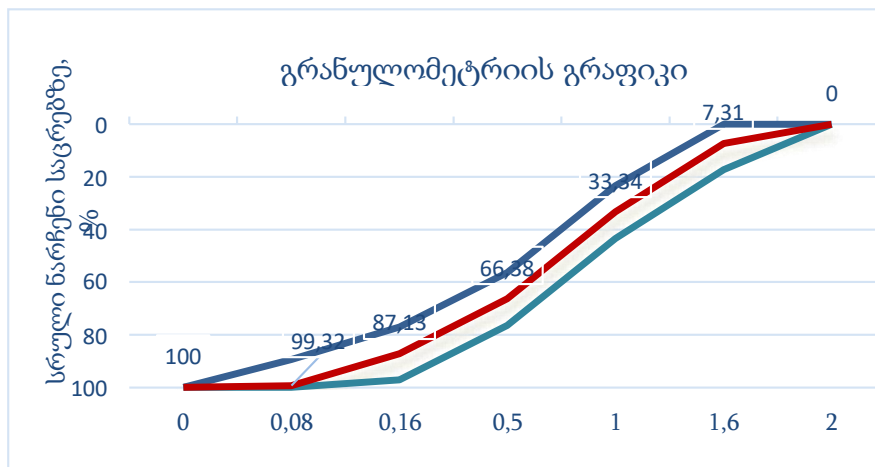
1.7 ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლის შემდეგ, ხდება მის დამუშავებას ევროპული ქვიშის (EN-196-1) სტანდარტის შესაბამისად, აქედან გამომდინარე ჯერ განხორციელდა ქვიშის განლექვა, რათა მოგვეცილებინა ქვიშის მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობის მაქსიმალურად. შემდეგ მოხდა გამოშრობა და გრანულომეტრიული შედგენილობის (საცრის ზომები: 2,0; 1,6; 1,0; 0,5; 0,16; 0,08) დადგენა. ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის ევროპული სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად, გრანულომეტრიული შედგენილობის შედეგები მოცემული ქვემოთ ცხრილ №6-ში.

ცხრილი №6

№	საცრის ზომები	გრამები	კერძო, ნარჩენი %	სრული ნარჩენი %
1	2,0	0	0	0
2	1,6	98.7	7.31	7.31
3	1,0	351.4	26.03	33.34
4	0,5	446.1	33.04	66.38

5	0,16	280.1	20.75	87.13
6	0,08	164.6	12.19	99.32
7	<0,08	9.1	0.67	100

ევროპული (EN) სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად, გრანულომეტრიული შედგენილობის შედეგები მიხედვით აგებული იქნა გრაფიკი №2, რომელიც მოცემული ქვემოთ:



ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობის გრაფიკი

ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის გრანულომეტრიული შედგენილობის შედეგად მოხდა ქვიშის სრული ნარჩენის აღება (7.31%; 33.34%; 66.38%; 87.13%; 99.32%) პროცენტებში.

1.8 ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის პეტროგრაფიული აღწერილობის მიხედვით წარმოდგენილია კვარცი და მცირე რაოდენობით შეიცავს ქარსის ჩანართებს.

1.9 ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის ქიმიური მახასიათებლები:

ცხრილი №7

№	Si O ₂	Al O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	დანაკარგი გახურებისას
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	81,95	7,74	0,88	0,28	0,95	0,42	1,80	0,67

1.10 ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშის შესწავლის შემდეგ მოვახდინეთ მისი დაყალიბება ევროპული EN-196-1 სტანდარტის

შესაბამისად.

EN-196-1 სტანდარტის მიხედვით ცემენტი ავიღეთ 450 გრ, ქვიშა 1350 გრ და წყალი 225 გრ. ვინაიდან ელიტ ბილდერის კარიერის ქვიშა წყალმომთხოვნი იყო, საჭირო გახდა წყლის დამატება, რათა მიგველო ნორმალური კონსისტენციის დუღაბი, აქედან გამომდინარე წყალი დავამატეთ 14,5 გრ, ანუ პროპორციულად მივიღეთ: ცემენტი 450 გრ, ქვიშა 1350 გრ და წყალი 239,5 გრ (ცდა 1).

ცემენტის მარკის დადგენა მოხდა 2,7 და 28 დღეზე, მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილ №8

ჩვენ მიზანია ადგილობრივი მასალის შედარება მოხდეს ევროპული (EN) სტანდარტის ქვიშასთან, ცდა უნდა ჩატარდეს ევროპული სტანდარტის დაცვით, ამიტომ ჩავატარეთ ცდა, სადაც არ მოვახდინეთ წყლის დამატება. ამჯერად პროპორციები მივიღეთ 450 გრ, ქვიშა 1350 გრ და წყალი 225 გრ.

ცემენტის მარკის დადგენა მოხდა 2,7 და 28 დღეზე, მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრ. №9-ში.

მიღებული შედეგებიდან ვასკვნით, რომ ჩვენი ცემენტის საპროექტო მარკა არის 48,5 მპა სტანდარტულ ეტალონურ ქვიშაზე. ცდა I-ით მარკის დადგენისას ცემენტის მარკამ შეადგინა 38,3 მპა. რაც საპროექტო მონაცემებთან შედარებით 21% ნაკლებია. ხოლო ცდა II-ის შემთხვევაში ცემენტის მარკამ შეადგინა 46,1 მპა, რაც საპროექტო მონაცემებთან შედარებით 5%-ით ნაკლებია, როდესაც ძელაკებს ვამზადებდით ელიტ ბილდერის ქვიშით.

ცდა 1, ცხრილი № 8

№	დასახელება	ლუნვ	ლუნვ	ლუნვა 28 დღე				კუმშვა 2		კუმშვა 7 დღე		კუმშვა 28 დღე								
		ა 2 დღე	ა 7 დღე	3				4		5		6								
1	ნიმუშის ზომები, სმ	1	2	3				4		5		6								
	სიმაღლე, h სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	სიგანე, α სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	განივკვეთის ფართობი, S სმ ²	---	---	---	---	---	---	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
3	მრღვევი დატვირთვა, PP კნ	0,028	0,035	0,050	0,052	0,049	0,053	20,33	21,1 1	27,56	27,06	61,57	60,78	61,61	62,31	61,13	60,65	61,55	60,75	
4	სიმტკიცის ზღვარი, მპა	3,33	4,13	5,85	6,08	5,74	6,20	12,7	13,2	17,2	16,9	38,5	38,0	38,5	38,9	38,2	37,9	38,5	38,0	
5	სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებული მნიშვნელობა (ლუნვაზე სამი, ხოლო კუმშვაზე ხუთი უდიდესი შედეგიდან) მპა	3,33	4,13	6,0				13,0		17,1		38,3								

ცდა 2, ცხრილი № 9

№	დასახელება	ლუნვ	ლუნვ	ლუნვა 28 დღე				კუმშვა 2		კუმშვა 7 დღე		კუმშვა 28 დღე								
		ა 2 დღე	ა 7 დღე	3				4		5		6								
1	ნიმუშის ზომები, სმ	1	2	3				4		5		6								
	სიმაღლე, h სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	სიგანე, α სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	განივკვეთის ფართობი, S სმ ²	---	---	---	---	---	---	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
3	მრღვევი დატვირთვა, PP კნ	0,040	0,052	0,065	0,061	0,064	0,062	30,43	31,01	37,7 3	39,06	73,81	74,68	75,37	74,16	72,58	73,43	72,16	73,8	
4	სიმტკიცის ზღვარი, მპა	4,71	6,14	7,58	7,12	7,46	7,23	19,0	19,4	23,6	24,4	46,1	46,7	47,1	46,4	45,4	45,9	45,1	46,1	
5	სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებული მნიშვნელობა (ლუნვაზე სამი, ხოლო კუმშვაზე ხუთი უდიდესი შედეგიდან) მპა	4,71	6,14	7,3				19,2		24,0		46,1								



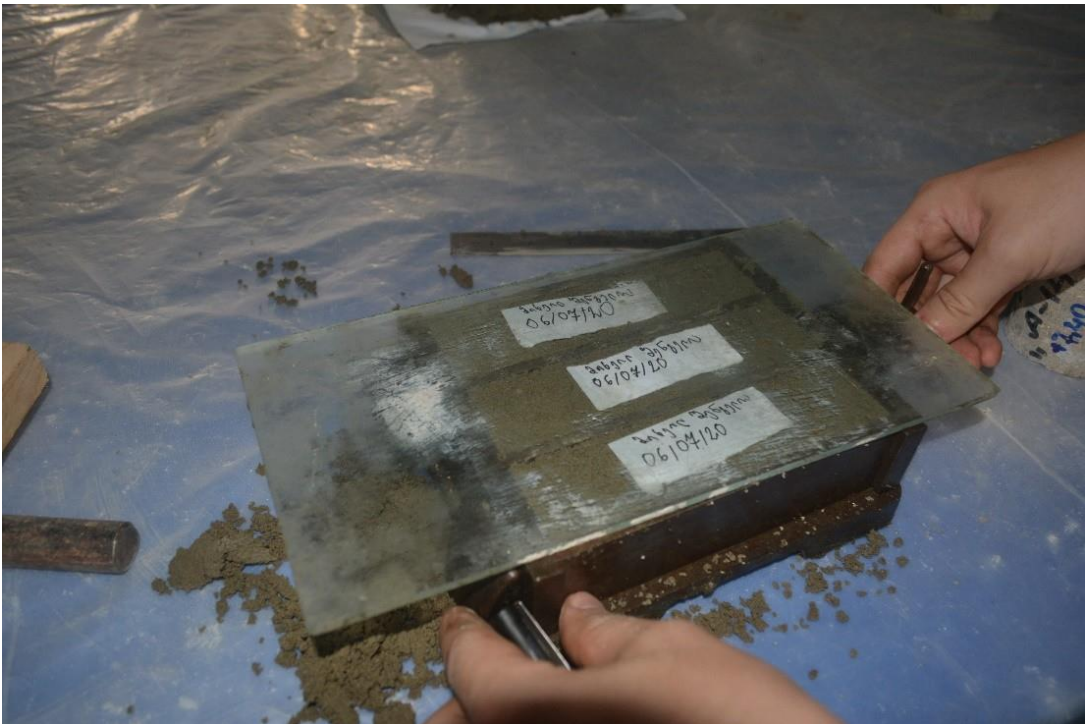














ძირითადი დასკვნები

1. სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის „სასწავლო-სამეცნიერო საექსპერტო საგამოცდო ლაბორატორია“-ში ჩატარებულ იქნა კვლევები. ჩვენი მონაწილეობით გამოკვლეული იქნა საქართველოს რეგიონების ქვიშები და მიღებულ იქნა ადგილობრივი სტანდარტული ქვიშა, ეტალონური ვოლგის ქვიშისა და ევროპული ქვიშის ნაცვლად.
2. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „სასწავლო-სამეცნიერო კვლევით ლაბორატორია“-ში სტრუქტურული ანალიზით დადგენილი იქნა ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესი, რომ საწყის სტადიაზე 28 დღე-ღამის ასაკში ჰიდრატაციაში შედის ცემენტის 40 – 50 %, დანარჩენი ნაწილი კი ჰიდრატირდება 2 – 3 ათეული წლის განმავლობაში.
3. სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის „სასწავლო-სამეცნიერო საექსპერტო საგამოცდა ლაბორატორია“-ში ჩატარებულ იქნა ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრა, რომელზეც შემდგომ დაყალიბებული იქნა ძელაკები და გამოიცადა სიმტკიცეზე.
4. ჩვენი მიზანი იყო ადგილობრივი მასალის შედარება მომხდარიყო ევროპული (EN) სტანდარტის ქვიშასთან, ცდები ჩატარდა ევროპული სტანდარტის დაცვით, როგორც ჭარბი წყლის დამატებით ისე წყლის დამატების გარეშე. მიღებული იქნა პროპორციები 450 გრ, ქვიშა 1350 გრ და წყალი 225 გრ.
5. ლაბორატორიული ანალიზებით დავაყალიბეთ ეტალონური ნიმუში სტანდარტულ ქვიშაზე და მივირეთ სიმტკიცე, რომელმაც შეადგინა 48,5 მპა.
6. ჩვენი ჩატარებული კვლევებიდან ამორჩეული იქნა ელიტ-ბილდერის, არაგვისპირის და თბილცემენტის მტკვრის ქვიშა, რომლითაც დამზადებულმა ძელაკების სიმტკიცემ შეადგინა სულ 5%, 6,5% და 6,6% რაც უმნიშვნელოდ ცდება ევროპული სტანდარტით დამზადებული ჩვენი ეტალონური ნიმუშის სიმტკიცეს და რომელიც სრულიად მისაღებია ცემენტის მარკის დასადგენად.

7. ჩატარებულია ცემენტის სიმტკიცის გამოცდა სხვადასხვა მეთოდით: სტანდარტული და ექსპრეს მეთოდით და დაგენილია, რომ ცემენტის გამოცდის მეთოდის ცვლა იწვევს ცემენტის სიმტკიცის ცვლას.

დისერტაცია გამოყენებულია შემდეგ ძირითად ნაშრომებში:

1. შენგელია მ., ჩიქოვანი ა., „ცემენტის სიმტკიცის ასპექტი“. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ № 2(51), 2019. 85-92
2. შენგელია მ., შავერდაშვილი ნ., ჩიქოვანი ა., „მშრალი სამშენებლო ნარევი“. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერჯია“ №4 (96) 2020 18-22 გვ.
3. შენგელია მ., ბახტაძე ნ., ტყაბლაძე ვ., „დეფორმირებული შენობა-ნაგებობათა ფუძე-საძირკვლების გამოკვლევისათვის ჩასატარებელი სამუშაოები“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №1, vol.(92), 2021. 98-101 გვ.
4. გიორგიშვილი ო., ბოჭორიშვილი ნ., სალუქვაძე ი., „ადგილობრივი საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატეანი ბეტონების თვისებების კვლევა და დანერგვა სამშენებლო წარმოებასა და საავტომობილო გზების ინფრასტრუქტურა“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №1, vol.(92), 2021. 101-103 გვ.
5. ბახტაძე ნ., ტყაბლაძე ვ., არსენიშვილი დ. „შენობის ფუძეების და საძირკვლების დიაგნოსტიკა“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №2 Vol.(93),2021. 29-32 გვ
6. შენგელია მ., „ცემენტის მარკა და აქტივობა“. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №4, vol.(60), 2021. 106-112 გვ.

Abstract

The presented doctoral dissertation discusses the determination of the cement mark on the sands in the local regions of Georgia.

In modern times cement is the main building material in the construction of any field.

The novelty and urgency of the topic is that with our participation new high-quality high-strength cement has been obtained, fillings and additives have been studied, the use of which determines the high technical properties of concrete and reinforced concrete. . It is the provision of rational technological processes made by these studies that is the scientific novelty and relevance of the research topics.

Based on the research, with our participation, fast-setting cement was obtained, which was used in the factories of Tskalsmeni-Lilo Ltd and sleeper reinforced concrete plants; In addition, the hydration process of this cement was studied, which amounted to 40-50% of the total amount of cement at the age of 28 days. In our opinion, the rest is hydrated for 2-3 decades, if the goods are in normal operation, which leads to an increase in the strength of concrete and reinforced concrete products by 1.5 - 2 times.

Giorgi Tsiskreli, Petre make a great contribution to the technology of cement production among Georgian scientists

Tsulukidze, Giorgi Kartsvadze, Shio Napetvaridze, Anzor Nadiradze and others.

Based on the research, the granulometric composition and physical-mechanical properties of both cement and sand were determined: density, bulk mass, moisture, voids and content of harmful impurities. Accordingly, it was determined that these materials with their physical-technical properties comply with the requirements of the state standard GOST - 8735-88 "Sand for construction work".

These studies have allowed us to identify the sands on the territory of Georgia, which allows us to use this material to determine the brand of cement.

Overall, significant economic effects have been achieved as a result of the studies.