

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ზურაბი ბეკურიშვილი

თბოტენიანი დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმების
კვლევა მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე
ბეტონების მისაღებად

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

შიფრი 0704

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2020 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ზურაბი ბეკურიშვილის მიერ შესრულებულ ნაშრომს დასახელებით: „თბოტენიანი დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმების კვლევა მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონების მისაღებად“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი:

ხელმძღვანელი პროფესორი	_____	ზეინაბ ქარუმიძე
რეცენზენტები: პროფესორი	_____	გელა ყიფიანი
მშენებელთა ლიგის თავმჯდომარე, აკადემიური დოქტორი	_____	ანზორ საკანდელიძე
ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურის უფროსი, პროფესორი	_____	მარინა ჯავახიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2020 წელი

ზურაბ ბეკურიშვილი

**თბოტენიანი დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმების
კვლევა მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე
ბეტონების მისაღებად**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო
ფაკულტეტი

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

..... 2020 წელი

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

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 დაცული 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.

ავტორის ხელმოწერა_____

რეზიუმე

მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენს ქვეყანაში მშენებლობის ძირითადი წილი მოდის მონოლითურ მშენებლობაზე, მაინც არის ისეთი საპასუხისმგებლო ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობები და კონსტრუქციები, რომლებიც საჭიროებენ ასაწყობ რკინაბეტონის წარმოებას მითუმეტეს, რომ ახლო საზღვარგარეთის ქვეყნებში მშენებლობის 80 %-ი მოდის ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობებისა და კონსტრუქციების წარმოებაზე. თბილისში შეგვიძლია ვახსენოთ „თბილცემენტ გრუპი“, რომელიც წარმატებით ამზადებს წინასწარდაძაბულ ღრუტანიან გადახურვის ფილებსა და სხვა ნაკეთობებს, აგრეთვე თბილისის რკინაბეტონის შპალის ქარხანა, აწარმოებს შპალებსა და ანძებს ელექტროგაყვანილობებისათვის და ზოგიერთი სხვა საწარმო მუშაობს რთული კონფიგურაციის ნაკეთობებზე კერძო მშენებლობისათვის. ამ ტიპის ნაკეთობებისა და კონსტრუქციებისათვის აუცილებელია თბოდაძაბვა საქარხნო პირობებში, რადგან ამ დროს ნაკეთობა იძენს რამოდენიმე საათის განმავლობაში თავისი საპროექტო სიმტკიცის 70 %-ს და მეტს, რომელიც მან უნდა მიიღოს 28 დღე/ღამის განმავლობაში ბუნებრივი გამაგრებისას.

თბური დაძაბვის პროცესი შეადგენს საერთო ტექნოლოგიური ციკლის 70-80%, ამასთან იხარჯება ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობების წარმოებისათვის საჭირო მთელი ენერჯის 70%-ი. დანახარჯები თბოდაძაბვაზე განპირობებულია არა მარტო ორთქლის და სხვა სახის ენერჯის ხარჯებით, მასზე არის დამოკიდებული ყალიბების რაოდენობა და ცემენტის ხარჯი.

თბოტენიანი დაძაბვის შემცირებული ხანგრძლივობა ამცირებს ყალიბების ბრუნვის დროს, ნაკეთობის თბოდაძაბვისათვის საჭირო სითბოს ხვედრით ხარჯს, ასე რომ ბეტონის გამყარების დაჩქარება მნიშვნელოვანი ღონისძიებაა ბეტონისა და რკინაბეტონის წარმოებაში, რაც განხორციელდა ტექნოლოგიური რეჟიმის ცვლილებით (სწრაფდამყარებადი ცემენტების, ბეტონის ნარევის ვიბროაქტივობით და ა.შ.) და ქიმიური დანამატ-დამაჩქარებლების გამოყენებით.

ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობების თბური დაძაბვა ხდება მანამ, სანამ იგი არ მიაღწევს განსაყალიბებელ და გასაშვებ სიმტკიცეს. თანამედროვე შენობებში, შემომზღული კედლის კონსტრუქციები ზოგჯერ სამშენებლო მასალების რამოდენიმე ფენისაგან შედგება, რომელსაც განსხვავებული თბოტექნიკური მახასიათებლები აქვთ და შემდგომ შენობების ექსპლუატაციისას შესაძლებელია წარმოიქმნას პროცესები, დაკავშირებული არასტანდარტულ თბოგადაცემესთან.

განსაკუთრებული ყურადღების ღირსია საქარხნო წარმოების ბეტონის და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ტექნოლოგიის სრული დაცვა, რადგან იგი მოქმედებს გამოშვებული პროდუქციის ხარისხზე და მის საექსპლუატაციო თვისებებზე.

სამუშაო ეძღვნება რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დაძაბვის რეჟიმების თეორიულ და ექსპერიმენტალურ კვლევას, მაღალი

საექსპლოატაციო თვისებების მქონე ბეტონების შედგენილობების შერჩევას, ადგილობრივი ნედლეულისა და თანამედროვე ქიმიური დანამატების გამოყენებით. განხილულია ის დესტრუქციული პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობს ბეტონში თბოტენიანი დამუშავებისას, რათა მივიღოთ მაღალი ხარისხის ნაკეთობები.

ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების დროის შემცირება თანამედროვე პირობებში გვევლინება წარმოების დაჩქარების მეტად ეფექტურ გზად, რომელიც ფართოდ გამოიყენება საშენი მასალების წარმოების მსოფლიო ინდუსტრიაში. ეს კი მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტის საწინდარია.

დღეს ერთ-ერთ მთავარ ამოცანას წარმოადგენს არსებული ტექნოლოგიების გაუმჯობესება და ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ახალი მეთოდების შემუშავება. ამისათვის ნაშრომში განხილულია თბოტენიანი დამუშავების სახეობები, საერთო ციკლის პერიოდები, მოყვანილია ცხრილები ბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მაჩვენებლებით. ცემენტის აქტივობის ეფექტურობის კოეფიციენტი გაორთქლვისას. პორტლანდცემენტზე დამზადებული მძიმე ბეტონის სიმტკიცის ზრდის დამოკიდებულება თბოტენიანი დამუშავების ციკლზე (40-50°C). განხილულია დესტრუქციული პროცესები და მათი შემცირების გზები თბოდამუშავებისას, უახლესი ქიმიური დანამატების მეშვეობით. შემუშავებულია თბოდამუშავების საერთო ციკლის შემცირების ღონისძიებები. გაანგარიშებულია თბოტენიანი დამუშავებისათვის მისაღები ბეტონის შედგენილობები.

Abstract

Although the major share of construction in our country comes on monolithic construction, there are still responsible concrete and reinforced concrete items and structures that require the production of precast reinforced concrete items, especially since 80% of construction in foreign countries comes on precast reinforced concrete items and structures. In Tbilisi we would mention "Mega Holding" that successfully manufactures pre-stresses hollow flooring slabs and other items, as well as the Tbilisi Sleeper Factory, manufactures sleepers and power supply masts and some other enterprises for complex construction products for complex construction. For this type of items and structures, is necessary heat treatment in the plant conditions, because at this time the item achieves 70% and more of its design strength in a few hours, which that it must achieve during 28 days / night of natural hardening.

The heat treatment process makes 70-80% of the total technological cycle, with 70% of the total energy required for the production of precast reinforced concrete items. The expenses on heat treatment are not only due to the cost of steam and other types of energy, it also depends on the number of molds and the consumption of cement.

The reduced duration of heat treatment decrease's the mold's turnover time, specific heat consumption required for the heat treatment of the item, so accelerating the hardening of concrete is an important measure in the manufacturing of concrete and reinforced concrete items that is carried out by changes in technological process (application of fast-hardening cements, vibro-activation of concrete mixture, etc) joined with implementation of chemical additives-accelerators.

Precast reinforced concrete items are heat-treated until they reach mould and handling strength. In modern buildings, containing wall structures sometimes consist of several layers of building materials with different thermal characteristics and processes associated with non-standard heat transfer may occur during the operation of subsequent buildings.

Special attention should be paid to the full maintaining of the technology of plant-manufactured concrete and reinforced concrete structures, we are talking on structures, because it effects on the quality of the product and its operational properties.

The work is dedicated to the theoretical and experimental study of heat treatment modes for reinforced concrete products, selection of concrete compositions with high performance properties, using local raw materials and modern chemical additives. The destructive processes that take place during heat treatment in concrete in order to obtain high quality products are considered.

Reducing the heat treatment time of items in modern conditions is a very effective way of accelerating of manufacturing that is widely applied in the industry of production of building materials worldwide. This is a precondition for a significant economic effect.

One of the main current task is to improve existing technologies and develop new methods to accelerate the reinforcement of concrete. For this purpose, the in the work are considered the types of heat treatment, periods of the general cycle, tables with physical and mechanical parameters of concrete. Cement activity efficiency coefficient during evaporation. The dependence of the increase in hardness of heavy concrete made of Portland cement on the heat treatment cycle (40-50°C). Destructive processes and ways to reduce them during heat treatment due the application of latest chemical additives are considered. Measures to reduce the overall heat treatment cycle have been developed. Design concrete compositions acceptable for heat treatment are compiled.

შინაარსი

შესავალი	14
თავი 1.	
1.1. ლიტერატურული მიმოხილვა	22
1.2. ბეტონის გამაგრების დაჩქარების თანამედროვე ხერხები	28
1.2.1. ბეტონის გამაგრების დაჩქარება რკინაბეტონის კონსტრუქციებში	28
1.2.2. ბეტონისათვის სითბოს გადაცემის ხერხები თბოდაამუშავების სხვადასხვა მეთოდისას	29
1.2.3. გამაგრების დაჩქარების კოეფიციენტის სიდიდე	32
1.2.4. ცემენტის გამაგრების დაჩქარება საწყის სტადიაზე	33
1.2.5. ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ქიმიური ხერხები	34
1.3. ბეტონის გამაგრებისა და სტრუქტურის წარმოქმნის თავისებურებები თბოტენიანი დაამუშავებისას	37
1.4. სხვადასხვა სახეობის ცემენტის მინერალოგიური შედგენილობის მოქმედება თტდ-ის რეჟიმებზე	39
1.5. რკინაბეტონის კონსტრუქციებში მიმდინარე დესტრუქციული პროცესების ანალიზი ბეტონის გამაგრების დაჩქარებისას	42
1.5.1. ბეტონის დეფორმაციის სიდიდის კავშირი სხვადასხვა მოცულობით ცვლილებებთან	44
1.6. თბოტენიანი დაამუშავების რეჟიმების სახეები	46
1.7. თტდ-ის პერიოდული მოქმედების კამერები	53
1.8. კონტაქტური გახურება	57
1.9. მაღალეფექტური მაპლასტიფიცირებელი დანამატები	58
1.9.1. დანამატების მოქმედება ბეტონის და დულაბის თვისებებზე და მათი დამზადების ტექნოლოგიურ პროცესებზე. ბეტონის და დულაბის ნარევების ხანგამძლეობის გაზრდა	60
1.9.2. ქიმიური დანამატების მოქმედება ბეტონისა და დულაბის ნარევების ერთგვარობაზე	61
1.10. სამუშაოების წარმოება სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენებით	63
1.11. დანამატების მოქმედება სიმტკიცისა და ჯდენის დეფორმაციებზე	65
1.11.1. ქიმიური დანამატების შერჩევა და დოზირება თბოდაამუშავებისას	66
1.11.2. დანამატების მომზადება	68
1.11.3. მაპლასტიფიცირებელი დანამატებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი	70
თავი 2. 2.1. მასალები და კვლევის მეთოდები	74
2.2. საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე არსებული EN 197 შესაბამისი ცემენტების გამოცდა	74
2.3. მარნულის ბაზალტის ღორღის ხარისხის ტესტირება	77
2.3.1. შპს ბორან-მაინინგი“-ს ღორღის ხარისხის ტესტირება	79
2.3.2. შპს „თიმალი“-ს ღორღის ხარისხის ტესტირება	79

2.3.3. შპს „ჯი და ჯი“-ის ღორღის ხარისხის ტესტირება	80
2.3.4. შპს ბორან-მაინინგის ღორღის ხარისხი ტესტი სინჯი 2 მიხედვით	81
2.3.5. შპს ბორან-მაინინგის ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 3	81
2.3.6. შპს ბორან-მაინინგის ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 4	81
2.3.7. შპს „ქსოვრისი“-ის ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 1	82
2.3.8. ქსოვრისი-ს ღორღის ხარისხის ტესტის სინჯი 2	82
2.3.9. კასპი-ს ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 1	82
2.3.10. კასპის ღორღის ხარისხის ტესტის სინჯი 2	83
2.4. მარნეულის ბაზალტის ქვიშის ხარისხის ტესტირება	83
2.4.1. შპს „ბორან მაინინგი“-ის ქვიშის ხარისხის ტესტირება	85
2.4.2. ქსოვრისი-ს ქვიშის ხარისხის ტესტირება	85
2.4.3. შპს „დილი 95“-ის ქვიშის ხარისხის ტესტირება	86
2.4.4. შპს „საბაჯგუფი“-ს (ბოლნისის რაიონი) ქვიშის ტესტირება	87
2.4.5. შპს „დილა 95“-ის (საგარეჯოს რ-ნი) ქვიშის ხარისხის ტესტი	87
2.4.6. შპს „სოკარი“-ს ქვიშის ხარისხის ტესტირება	88
2.4.7. ქსოვრისის კარიერის ქვიშის ხარისხის ტესტირება სინჯი № 1	89
2.4.8. ქსოვრისის კარიერის ქვიშის ხარისხის ტესტირება სინჯი № 2	89
2.4.9. კასპის ქვიშის ხარისხის ტესტი	90
2.5. წყალი ბეტონისათვის	91
2.6. გამოყენებული დანამატები	91
2.6.1. ბეტონის შედგენილობის შერჩევის რიგითობა მაკლასტიფიცირებელი დანამატებით „მელმენტით, Xel AH30N და PREMIA G180-თი	95
2.6.2. სუპერპლასტიფიკატორ Xel AH30N,მელმენტისა და CHRYSO PREMIA G180 შეყვანა ბეტონის ნარევიში	98
2.6.3. პლასტიფიცირებული ბეტონის ნარევის მომზადება და ტრანსპორტირება	101
თავი 3. ბეტონისა და ბეტონის ნარევის მექანიკური თვისებების კვლევის მეთოდები	104
3.1. ექსპერიმენტალური კვლევის ფაქტორული სივრცე	104
3.2. ბეტონში ტემპერატურის დინამიური ველების კვლევა	113
3.2.1. წინასწარდაძაბული ღრუტანიანი გადახურვის ფილების წარმოების ტექნოლოგიური მიდგომები	117
3.3. შპალეების წარმოების ტექნოლოგიური მიდგომები	130
3.3.1. გამოყენებული არმატურის პარამეტრები	133
3.3.2. ბეტონის ნარევისა და შპალეების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები	134
3.3.3. ბეტონის თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების კვლევა წარმოებში	136
3.3.4. რკინაბეტონის წინასწარდაძაბული დგარის საწარმოო ხაზი	145
დასკვნები	151
გამოყენებული ლიტერატურა	153
დანართი	158

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. სტანდარტული ნიმუშების სიმტკიცე სწრაფმყარებადი ცემენტებით	33
ცხრილი 2. ტემპერატურის აწევის სიჩქარე ბეტონის საწყისი სიმტკიცის მიხედვით	50
ცხრილი 3. მძიმე ბეტონის ნაკეთობების თბური დამუშავების რეჟიმები	52
ცხრილი 4. სუპერპლასტიკატორები ბეტონისა და დულაბის ნარევებისათვის	59
ცხრილი 5. ბეტონის სიმტკიცე სუპერპლასტიკატორის დანამატით	66
ცხრილი 6. მძიმე შემვსებზე დამზადებული ბეტონის ნარევების შერევის უმცირესი ხანგრძლივობა სტაციონარულ სარევებში	69
ცხრილი 7. ეკონომიკური ეფექტების წყაროები ქიმიური დანამატების გამოყენებისა	71
ცხრილი 8. წყალშეუღწევადობა სუპერპლასტიფიკატორის დანამატებით	73
ცხრილი 9. რუსთავის და ტრაპიზონის ქარხნების CEM I 42,5 R ცემენტების ქიმიური შედგენილობა %-ში	76
ცხრილი 10. ექსპერიმენტებში გამოყენებული პორტლანდცემენტების TN 196-ის მიხედვით ტესტირების შედეგები	76
ცხრილი 11. მარნეულის ბაზალტის ღორღის გრანულომეტრია	78
ცხრილი 12. კარიერი: შ.პ.ს. „ბორან-მაინინგი“	79
ცხრილი 13. კარიერი: შპს „თიმალი“	80
ცხრილი 14. კარიერი: შპს „ჯი და ჯი“	80
ცხრილი 15. კარიერი: შ.პ.ს. „ბორან-მაინინგი“	81
ცხრილი 16. კარიერი: შ.პ.ს. „ბორან-მაინინგი“	81
ცხრილი 17. კარიერი: შპს „ბორან-მაინინგი“	81
ცხრილი 18. კარიერი: ქსოვრისი	82
ცხრილი 19. კარიერი: ქსოვრისი	82
ცხრილი 20. კარიერი: კასპი	83
ცხრილი 21. კარიერი: კასპი	83
ცხრილი 22. მარნეულის ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრია	83
ცხრილი 23. კარიერი: შპს „ბორან მაინინგი“ ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი	85
ცხრილი 24. კარიერი: ქსოვრისი ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი	85
ცხრილი 25. კარიერი: შპს „დილი 95“ დამსხვრეული ქვიშის ანალიზი	86
ცხრილი 26. კარიერი: შპს „საბაჯგუფი“ – ბოლნისის რ-ნი სოფ. ხიდისყური ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი	87
ცხრილი 27. კარიერი: შპს „დილა 95, საგარეჯოს რ-ნი სოფ. ხაშმი ბუნებრივი – ქვიშის ანალიზი	87
ცხრილი 28. კარიერი: შპს „სოკარი“ ბუნებრივი-დამსხვრეული	

ქვიშის ანალიზი	88
ცხრილი 29. კარიერი: ქსოვრისი დამსხვრეული ქვიშის ანალიზი	89
ცხრილი 30. კარიერი: ქსოვრისი ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი	89
ცხრილი 31. კარიერი: კასპი ბუნებრივი – ქვიშის ანალიზი	90
ცხრილი 32. მსხვილი შემავსებელი შედგენილი სხვადასხვა ფრაქციისაგან	93
ცხრილი 33. მაპლასტიფიცირებელი დანამატის ტექნიკური მოთხოვნები	94
ცხრილი 34. M-400 მარკის ბეტონებისათვის	96
ცხრილი 35. M-300 მარკის ბეტონებისათვის	97
ცხრილი 36. ბეტონის წინასწარი დაყოვნების რეკომენდებული ხანგრძლივობა	105
ცხრილი 37. კოეფიციენტ $R_{\text{с}}$ მნიშვნელობა	106
ცხრილი 38. ბეტონის საორიენტაციო სიმტკიცე გაორთქლვის შემდეგი	107
ცხრილი 39. ბეტონის მარკისა და საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის ვადები	108
ცხრილი 40. თბოდამუშავების რეჟიმები სხვადასხვა ჯგუფის ცემენტისათვის	108
ცხრილი 41. სხვადასხვა ჯგუფის ცემენტებზე დამზადებული მძიმე ბეტონების სიმტკიცის ზრდის კინეტიკა	109
ცხრილი 42. პორტლანდცემენტზე და წიდაპორტლანდცემენტზე დამზადებული მძიმე ბეტონის (მ 400-500) სიმტკიცის მატება	110
ცხრილი 43. მძიმე ბეტონის თბური დამუშავების რეჟიმები თბოთერმული დაყოვნების 80-85°C ტემპერატურაზე (ბეტონის გასაშვები სიმტკიცე 70%-ის საპროექტოდან)	111
ცხრილი 44. 32,5 და 42,5 კლასის პორტლანდცემენტზე და მინერალურ დანამატიან პორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონის სიმტკიცის მატების კოეფიციენტები დამოკიდებული თბოტენიანი დამუშავების ციკლზე 80-85°C-ზე	113
ცხრილი 45. წინასწარგახურებული ბეტონის ნარევის თბოტენიანი დამუშავების საორიენტაციო ხანგრძლივობა კამერებში	113
ცხრილი 46. წინასწარგახურებული ბეტონის ნარევის თბოტენიანი დამუშავების საორიენტაციო ხანგრძლივობა კასეტებში	113
ცხრილი 47. მძიმე ბეტონისაგან დამზადებული ნაკეთობების თბური დამუშავების რეჟიმები, იზოთერმული დაყოვნების 80- 85°C ტემპერატურის დროს	116
ცხრილი 48. თბური დამუშავების რეჟიმები მძიმე ბეტონისაგან დამზადებული ნაკეთობებისათვის კასეტებში ან პაკეტურ ყალიბებში	116
ცხრილი 49. საბაზო რეცეპტით დამზადებული ფილები	119
ცხრილი 50. ჩვენს მიერ შედგენილი რეცეპტით დამზადებული ფილები	120
ცხრილი 51. ფილის ტექნიკური მონაცემები	122

ცხრილი 52. ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების ურღვევი მეთოდით გამოცდის შედეგები	124
ცხრილი 53. გამოცდილი ფილების ბეტონის სიმტკიცე სკლერომეტრის გამოყენებით	125
ცხრილი 54. ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის შედეგები ...	127
ცხრილი 55. ფოლადის ქიმიური შემადგენლობა	133
ცხრილი 56.	137
ცხრილი 57. თბოდამუშავებული ბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებუ- ლება წ/ც-ის ფარდობასთან	138
ცხრილი 58. რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად არსებული (საბაზო) და შეთავაზებული ბეტონის შედგენილობები	141
ცხრილი 59. საკონტროლო ნიმუშების შედარებითი სიმტკიცეები, გაორთქლილი I და II რეჟიმებით	142
ცხრილი 60 ნიმუშების გამოცდის შედეგები ყინვამედეგობაზე	146
ცხრილი 61. არსებული (საბაზო) და შეთავაზებული ბეტონის ნარევის შედგენილობები	147

ნახატების ნუსხა

ნახ. 1. წიბოვანი ფილების 3X6 ძირითადი მაჩვენებლების ცვლილება გაორთქლვის ხანგრძლივობასთან დამოკიდებულებით $S_{სთ}$	46
ნახ. 2. პორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონის სიმტკიცის მატება	51
ნახ. 3. ორმოს ტიპის გასაორთქლი კამერა	54
ნახ. 4. კამერის სახურავის საჰერმეტიზაციო ჰიდრავლიკური საკეტი ...	54
ნახ. 5. სისტემის უდაწნეო გასაორთქლი კამერა	55
ნახ. 6. ხვრელური კამერა	56
ნახ. 7. ვერტიკალური ტიპის კამერის განივი ჭრილი	56
ნახ. 8. მექანიზებული კასეტური დანადგარი	57
ნახ. 9. ბეტონის ნარევის გადატვირთვის მეორადი არევის სქემა ბუნკერში ან სკრიპერ დანადგარში	61
ნახ. 10. ბეტონის ნარევის ერთგვარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სუპერპლასტიკატორ დოზირებაზე, ნარევის განსხვავებული ძვრადობის დროს	63
ნახ. 11. ბაზალტის გრანულომეტრული მრუდი	78
ნახ. 12. ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრული მრუდი	84
ნახ. 13. მშრალი მასალის შემცველობის დამოკიდებულება %-ში, ხსნარის სიმკვრივეზე 20°C-ის ტემპერატურის დროს	94
ნახ. 14. სუპერპლასტიფიკატორის ხარჯის დადგენა ბეტონის ნარევის დასახული ძვრადობის მისაღებად სხვადასხვა წყ/ც-ისა და ცემენტის ხარჯისას	99
ნახ. 15. წყლის ხარჯისა და სუპერპლასტიფიკატორის დამოკიდე- ბულება ბეტონის სიმტკიცეზე და ნარევის ძვრადობაზე, ცემენტისა და შემვსებების უცვლელი რაოდენობისას	99
ნახ. 16. ცემენტის, წყლის და სუპერპლასტიფიკატორების ხარჯის დადგენა, შემვსებების მოცემული ხარჯისას ბეტონებისათვის.	100
ნახ. 17. ბეტონის ნარევის ძვრადობის ცვლილება სუპერპლასტი- ფიკატორის დანამატით, დაყოვნების დროის მიხედვით	102
ნახ. 18. ბეტონის სიმტკიცის ცვლილების დინამიკა დროში სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით	103
ნახ. 19. წინასწარ დამზადებული რკინაბეტონის ღრუტანიანი ფილა ($R = 200$ მმ, არმირება A2)	121
ნახ. 20. დატვირთვების გრაფიკის ფილის სიგრძესთან ფარდობა	122
ნახ. 21. ღრუტანიანი ფილების თბოდაამუშავების გრაფიკები	126
ნახ. 22. ტემპერატურული რეჟიმები თბოტენიანი დამუშავების დროს რკინაბეტონის შპალის საწარმოებლად ინგლისური“ ტექნოლოგიურ ხაზზე „ზაფხულის პერიოდში	137

ფოტოების ნუსხა

ფოტო 1. საამქროს საერთო ხედი	128
ფოტო 2. არმატურის წნულის დამჭიმი ჰიდრავლიკური აგრეგატი	128
ფოტო 3. მიმდინარეობს თბოდამუშავების პროცესი	128
ფოტო 4. ფილების დამჭრელი დანადგარი	129
ფოტო 5. გადაჭრილი ფილა	129
ფოტო 6. წარმოებული მზა პროდუქცია	129
ფოტო 7. წყლის გამაცხელებელი აგრეგატი	130
ფოტო 8. ფორმებს ქვეშ გამავალი ცხელი წყლის მილები	130

სურათების ნუსხა

სურ. 1. მასალების შემოწმება შპალების ქარხნის ლაბორატორიაში	139
სურ. 2. მონაცემების შეტანა აღრიცხვის ჟურნალში	139
სურ. 3. იტალიური ფირმა „Ferrolli“-ს მიერ წარმოებული ქვაბები გაჯერებული ორთქლის მისაღებად	139
სურ. 4. ფოლადის ბაგირების გატარება კასეტურ ფორმებში	140
სურ. 5. დანადგარი, რომელიც უზრუნველყოფს სპეციალური ტილოს გადაფარებას კასეტურ ფორმებზე ორთქლის მიწოდებამდე	140
სურ. 6. მიმდინარეობს თბოტენიანი დამუშავების პროცესი	140
სურ. 7. ლაბორატორიაში წარმოდგენილი საკონტროლო ნიმუშები გამოცდის წინ	141
სურ. 8. დგარების საამქროს საწარმოო ხაზი	148
სურ. 9. დგარების ყალიბები	148
სურ. 10. ცენტრიფუგირების დანადგარი	148
სურ. 11. ყველა საჭირო დეტალით დაკომპლექტებული დგარი საწარმოს ტერიტორიაზე	149
სურ. 12. დგარის გამოცდა სწორხაზოვნებაზე	149
სურ. 13. გასაგზავნად გამზადებული დასაწყობებული დგარები საწარმოს ტერიტორიაზე	149
სურ. 14. მთლიანად მოწყობილი სარკინიგზო ინფრასტრუქტურა	150

შესავალი

ბეტონის და რკინაბეტონის თბოტენიანი დამუშავება ასაწყობი რკინაბეტონის წარმოების მნიშვნელოვანი ნაწილია, ნაწილობრივ კი მონოლითური მშენებლობის ელემენტიც არის. ბეტონის გამაგრების ამ სტადიაზე ყალიბდება მისი სტრუქტურული თავისებურებები, რომლებიც განსაზღვრავენ მის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს, წყალუჟონადობას, ყინვა და კოროზიულ მედეგობას, რკინაბეტონის ხანგამძლეობას. ამასთან თბოდამუშავება ხასიათდება მნიშვნელოვანი ენერგოტევადობით. ცნობილია, რომ თბოდამუშავების რეჟიმების გააზრებული ჩანიშვნა ან დაანგარიშება არის ინჟინერ-ტექნოლოგების უმთავრესი ამოცანა.

ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავენ თბოდამუშავების რეჟიმებს, უამრავია, ამიტომ მათი გადაჭრა არ არის მარტივი, მითუმეტეს რომ რეკომენდაციები ბეტონმცოდნეობის ამ სფეროში არც ისე ბევრია (ძირითადი ტექნოლოგიური ფაქტორი რომელიც მოქმედებს ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების სწორად შერჩეულ რეჟიმებზე, ბეტონის შედგენილობის პროექტირება), ბეტონის ოპტიმალური შედგენილობის შერჩევა გვადლევს, როგორც ნაკეთობის ხარისხის მატებას, ისე მატერიალური ხარჯების შემცირებას.

ბეტონის შედგენილობის დაპროექტების თანამედროვე ხერხები კი გვადლევს საშუალებას დავიანგარიშოთ არამარტო ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე, არამედ გავითვალისწინოთ მისი ყინვამედეგობა, წყალშეუღწევადობა და ხანგამძლეობა. ეს ხორციელდება სხვადასხვა ტექნოლოგიური ხერხებით: ბეტონის ნარევის კონპონენტების თვისებების ცვლილებით, წყ/ც ფარდობის ვარირებით, საჭირო სახეობის და დოზირების ქიმიური დანამატების (მაპლასტიფიცირებელი, გამაგრების დამაჩქარებელი, ჰაერჩამთრევი, ფოლადის კოროზიის ინჰიბიტორები) შერჩევით. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ლაბორატორიული შედგენილობების გადატანა საწარმოო პირობებში. ამ შემთხვევებში გაითვალისწინება ანარევის მოცულობა, შემვსებების ტენიანობა, ქიმიური დანამატების მუშა კონცენტრაციები და

სხვა. ამასთან უნდა იყოს დათვლილი ანარევის თანხა, რათა იქნას ამორჩეული ბეტონის შედგენილობები ეკონომიკური თვალსაზრისითაც.

მთლიანობაში თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები ცნობილია, მაგრამ ყოველი ახალი ქიმიური დანამატისა და ბეტონის შემადგენელი სხვა კომპონენტების ცვლილებისას, ინჟინერ-ტექნოლოგს უხდება უამრავი ექსპერიმენტის ჩატარება თავიდან. თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები შეიძლება სრულიად განსხვავებული იყოს, მაგრამ მიზანი ერთია, უმოკლეს ვადებში მივიღოთ ბეტონის დასახული სიმტკიცე უმცირესი დანახარჯებით და ნაკეთობის მაღალი ხარისხი. ამისათვის უნდა გავითვალისწინოთ ბეტონის საპროექტო სიმტკიცე, ნაკეთობის სისქე, ცემენტის ეფექტურობა გაორთქლებისას და სხვა. ტემპერატურის მიწოდება მუდმივი სიდიდით, რომელიც აცდენილია ბეტონის სტრუქტურის ჩამოყალიბების მზარდ ხასიათს. ამისათვის უპრიანია ერთსაფეხურიანი და მეტსაფეხურიანი რეჟიმები, რომლებიც მიმართულია ბეტონის დეფორმაციების გამოსწორებაზე ტემპერატურის მატების პროცესისას. არის კიდევ თბოტენიანი დამუშავების თანამედროვე რამოდენიმე რეჟიმები, რომლებსაც თავისი, როგორც დადებითი ისე უარყოფითი მახასიათებლები აქვთ, განსაკუთრებით კი მისაღებია თერმოსის რეჟიმი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება. საბოლოოდ ყველა რეჟიმი განისაზღვრება ბეტონის თვისებების თბოტენიანი დამუშავებისას ცემენტის ჰიდრატაციის კინეტიკით, რომელიც შემდეგ ფაქტორებზეა დამოკიდებული:

- მინერალოგიური შედგენილობა,დაფქვის სიწმინდე და ცემენტის აქტივობა
- ბეტონის ნარევის წყ/ც ფარდობა.
- ტემპერატურულ-ტენიანი პირობები და გამაგრების დრო.
- ქიმიური დანამატების სახეობა და დოზირება.
- ნაკეთობის წარმოების ტექნოლოგიის თავისებურებები.

თანამედროვე მშენებლობაში ბეტონი და რკინაბეტონი ისევ ძირითად მასალად რჩება და იკავებს მნიშვნელოვან ადგილს, როგორც მონოლითურ ისე ასაწყობი რკინაბეტონის წარმოებისათვის. რკინაბეტონით შენდება უნიკალური ნაგებობები, სამრეწველო სამოქალაქო კულტურული,

სპორტული და სხვა საპასუხისმგებლო დანიშნულებისათვის. აღსანიშნავია ახალი ეფექტური კონსტრუქციული ფორმები, დიდმალიანი ნაგებობები, მაღალი კოშკები, ანძები, წინასწარდამაბული კონსტრუქციები, აჟურული და ბადისებრი კარკასები სპეციალური ნაგებობებისათვის. რაც უფრო ფართოვდება ბეტონის და რკინაბეტონის გამოყენების სფერო, მით უფრო აქტუალური ხდება მათი ჩაღრმავებული კვლევა სიმტკიცეზე და დეფორმაციულ თვისებებზე. რაც შეეხება ასაწყობ რკინაბეტონის წარმოებას, დღეს ჩვენს ქვეყანაში მისი წილი მცირეა, მაგრამ მაინც არსებობს ისეთი საპასუხისმგებლო კონსტრუქციები, რომელთა წარმოება მეტად მნიშვნელოვანია ჩვენი ქვეყნისათვის. ასეთი წარმოება კი თავის მხრივ დაკავშირებულია ნაკეთობების თბოდამუშავებასთან, რომლის დროსაც ყალიბდება ბეტონის ნაკეთობების თვისებები.

თბური დამუშავების პროცესი შეადგენს ნაკეთობის წარმოების საერთო ტექნოლოგიური ციკლის 70-80%, რა დროსაც იხარჯება ასაწყობი რკინაბეტონის წარმოებისათვის საჭირო მთელი თბოენერგიის 70%-მდე. ხარჯები თბოდამუშავებაზე განპირობებულია არამარტო ორთქლის და სხვა ენერგიის დანახარჯებით, მასზე არის დამოკიდებული ყალიბების რაოდენობა და ცემენტის ხარჯი. თბური დამუშავების ხანგრძლივობის შემცირება ზრდის ყალიბების ბრუნვის ვადას, ამცირებს ნაკეთობის თბოდამუშავებისათვის საჭირო სითბოს ხვედრით ხარჯს. აქედან გამომდინარე ბეტონის გამყარების დაჩქარება მნიშვნელოვანი ღონისძიებაა ბეტონისა და რკინაბეტონის წარმოებაში, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს ტექნოლოგიური (სწრაფმყარებადი ცემენტების, ცემენტის ვიბროკმადაფქვის, ბეტონის ნარევის ვიბროაქტივაციის გამოყენებით და ა.შ.) და ქიმიური (დანამატ-დამაჩქარებლების შეყვანით) ხერხებით. თბოტენიანი დამუშავების დაჩქარებას დღეს ცდილობენ მთელ მსოფლიოში, რადგან იგი განსაზღვრავს ბეტონის საბოლოო ფიზიკურ-ტექნიკურ მაჩვენებლებს და მისი გამოყენება კონკრეტული ტემპერატურული რეჟიმებით განაპირობებს ბეტონის შემდგომი სტრუქტურის ჩამოყალიბებას. თბოტენიანი დამუშავების ინტენსივობის პროცესი გაჯერებული ორთქლის გარემოში, პირველ რიგში

დამოკიდებულია შიდა და გარე თბომასით გადაცემაზე. ეს განაპირობებს ნაკეთობაში მოცულობით ცვლილებებს, რომლებიც თავის მხრივ დამოკიდებულია შიდა დამახულობაზე და ბეტონის სტრუქტურის ფორმირებაზე.

ჩვენი სამუშაოს მიზანია:

არსებულ ტექნოლოგიურ ხაზებზე მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე რკინაბეტონის ნაკეთობების წარმოებისათვის მაღალხარისხიანი ბეტონების შედგენილობების შემუშავება, ადგილობრივი ნედლეულისა და მაღალხარისხიანი, თანამედროვე დანამატების გამოყენებით. მათი თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების სრულყოფა და ბეტონში მიმდინარე დესტრუქციული და მასაგაცვლითი დინამიკის კვლევა, სხვადასხვა ტიპის გასაორთქლ კამერებში.

თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების ოპტიმიზაცია, მისი გავლენის დადგენა ბეტონის სტრუქტურის წარმოქმნის კინეტიკაზე და მის საექსპლუატაციო თვისებებზე.

მიზნიდან გამომდინარე ნაშრომის ძირითადი ამოცანებია:

1. თტდ-ის რეჟიმების გავლენის კვლევა სტრუქტურის წარმოქმნის თავისებურებებზე, რათა დავაჩქაროთ გამაგრების პროცესები და უზრუნველვყოთ ბეტონის მაღალი საექსპლუატაციო თვისებები.
2. ბეტონის წყალ, ყინვა და კოროზიამედეგობის დამოკიდებულების კვლევა ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებზე, ცემენტის ჰიდრატაციის ეფექტის ჩათვლით.

დასახული მიზნის მისაღწევად სამუშაოს მსვლელობისას გამოიკვეთა ძირითადი ამოცანები:

- განისაზღვროს შეფასების კრიტერიუმები და დასაბუთდეს მაღალხარისხიანი ბეტონის მისაღებად პორტლანდცემენტებისა და მოდიფიცირებული დანამატების უპირატესობა.
- შესწავლილ იქნას პორტლანდცემენტის ჰიდრატაციის ადრეულ სტადიაზე, მასზე მოდიფიცირებული დანამატების ზემოქმედების ძირითადი კანონზომიერებები.
- შემოწმებული იქნას საქართველოში მოძიებული ინერტული მასალები.

- განხილული იქნას თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების რაციონალური პარამეტრები ქიმიურ დანამატებთან და პორტლანდცემენტის თვისებებთან კავშირში.
- შემუშავებული იქნას ზედაპირული ბზარების წარმოქმნისადმი ნაკლებად მიდრეკილი სტრუქტურის, ნაკლებად ანიზოტროპული ბეტონების შექმნა და მათი თვისებების კვლევა.
- დადგენილი იქნას დაბალტემპერატურული, მოკლევადიანი იზოთერმული დაყოვნების რეჟიმით მიღებული რკინაბეტონის ნაკეთობების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი.
- განხორციელებული იქნას კვლევის შედეგების აპრობაცია საცდელ-საწარმოო პირობებში.

თემის აქტუალურობა.

გვინდა ორიოდ სიტყვით განვავრცოთ ასაწყობი ტექნოლოგიების უფრო ფართოდ გაშლის აუცილებლობა ჩვენს ქვეყანაში. ამაზე არის დაფუძნებული ჩვენი სამუშაოს მომავალი პერსპექტივები, რადგან თბოტენიანი დამუშავება კონსტრუქციებისა და ნაკეთობების მისი აუცილებელ კომპონენტია.

ცნობილია, რომ საზღვარგარეთის ქვეყნებში ერთმანეთის გვერდიგვერდ თანაარსებობენ მშენებლობის ინდუსტრიული (ასაწყობი, მსხვილპანელური) და მონოლითური (მათ შორის ასაწყობ-მონოლითური) ტექნოლოგიები. ინდუსტრიული (ასაწყობი) მოიცავს სახლების მშენებლობას სერიული წარმოებით, ტიპური ნაკეთობებითა და კონსტრუქციებით, ადგილზე დაბეტონებით. ორივე ტექნოლოგიის გამოყენების მრავალწლიანი გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ თითოეულს გააჩნია, როგორც დადებითი ისე უარყოფითი მხარეები. იმ ქვეყნებში სადაც არის, როგორც კომერციული ისე მუნიციპალური მშენებლობა, გათვალისწინებულია ხელმოკლე მოსახლეობის საცხოვრებელი ფართებით დაკმაყოფილების საკითხიც, რადგან საცხოვრისის კომერციული ფასები მათთვის არ არის ხელმისაწვდომი. ამიტომ ვიმედოვნებთ, რომ ადრე თუ გვიან ქვეყანაში გაკეთდება აქცენტი მასობრივ, შედარებით ხელმისაწვდომ სახლმშენებლობაზე. რადგან მხოლოდ სახლმშენებელი პროდუქციის კონვეიერულ, კასეტურ წარმოებებს

შეუძლიათ უზრუნველყონ მშენებლობის შედარებით დაბალი თვითღირებულება და შენობის აღმართვის მაღალი სიჩქარე.

სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების მომხმარებელი იქნება საქართველოს სამშენებლო ინდუსტრია.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ჩატარებული ექსპერიმენტალური სამუშაო თანამედროვე აქტუალურ პრობლემას ეხება.

გასული საუკუნის 60-იანი წლების ბოლოს სუპერპლასტიფიკატორების აღმოჩენამ წარმატებით დაამთავრა ბეტონის ქიმიზაციის მრავალწლიანი მცდელობა – შესაძლებელი გახდა ბეტონის ნარევის და მყარი ბეტონის თვისებების გამაუმჯობესებელი დანამატ-მოდულიფიკატორების გამოყენება. ზემოქმედებს რა სტრუქტურის ფორმირებაზე, განსაკუთრებით საწყის, კოაგულაციურ სტადიაზე, სპ ცვლის ცემენტის სისტემის რეოლოგიურ თვისებებს, ამცირებს ნარევის წყალმომთხოვნილობას, რაც შემდგომში აისახება კრისტალიზაციური სტრუქტურის პარამეტრებზე.

სპ დანერგვით სრულიად შეიცვალა ტრადიციული წარმოდგენები ბეტონზე და მისი წარმოების ტექნოლოგიაზე, რეალური გახდა ადრე მიუღწეველი ეფექტების განხორციელება. მაღალპლასტიკური ბეტონის ნარევებით (კონუსის ჯდომა >20სმ), ჩვეულებრივი პორტლანდცემენტებითა და შემვსებებით შესაძლებელი გახდა შედარებით მაღალი სიმტკიცის (50 მპა) და წყლის შემცირებული შეღწევადობის ბეტონების მიღება. შესაძლებელი გახდა ბეტონის ნაკეთობებისა და კონსტრუქციების თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების ხანგრძლივობის შემცირება. თანაც მიღწეულ იქნა ცემენტის და ენერგორესურსების ხარჯვის მნიშვნელოვანი ეკონომია.

ამჟამად საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე შემოტანილი სუპერპლასტიფიკატორები შეიძლება კლასიფიცირდეს ძირითადად ორი ნიშნის მიხედვით: მასალების შედგენილობის და ცემენტის სისტემაზე მოქმედების მექანიზმის ძირითადი ეფექტის მიხედვით. მეორე ნიშნის მიხედვით სპ კლასიფიკაცია უფრო სწორია, რადგან მაპლასტიფიცირებელი თვისებების მქონე ყოველი ახალი დანამატის აღმოჩენისას ძნელდება შედგენილობის მიხედვით მათი დაჯგუფება.

მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების ბეტონებზე გავლენას ახდენენ შემდეგი ფაქტორები: ძირითადი მასალების ხარისხი და რაოდენობა (ცემენტები, შემვსებები, წყალი და სხვ.), ნარევის მომზადების მეთოდი: გარემოს და ბეტონის გამყარების პირობები; სუბიექტური ფაქტორები (ცოდნა, გამოცდილება და სხვ.).

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე:

1. გამოკვლეულია ტემპერატურის ზრდის სიჩქარის გავლენა ბეტონის სტრუქტურის წარმოქმნაზე და ამ პროცესის მოქმედება მასალის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე.
2. დადგენილია, რომ ტემპერატურის მატება და იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლიობა განაპირობებს წყალ-, ყინვა და კოროზიამდეგობის მაჩვენებლების შემცირებას. ამის შედეგად ბეტონში იზრდება კალციუმის ჰიდროქსიდის შემცველობა რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ბზარების წარმოქმნა ბეტონის კონსტრუქციაში.
3. დამუშავებულია ბეტონის თტდ-ის პროცესის ტექნოლოგია, ცემენტის ჰიდრატაციის შედეგად მიღებული სითბოს მოქმედების გათვალისწინებით.
4. იზოთერმული ტემპერატურის შემცირება 97°C-იდან 50°C-მდე შპალების წარმოების შემთხვევაში და 70°C-დან 40°C-მდე შემცირება წინასწარდაძაბული ღრუტანიანი ფილების წარმოების შემთხვევაში ხარისხის გაუარესების გარეშე, რაც იძლევა მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს ენერგომატარებლების დაზოგვის ხარჯზე.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. ბეტონის მედეგობის ზრდა ტენიანი გარემოს მიმართ, მისი თვისებების რეგულირებით თტდ სტადიაზე. ამ ცდების საფუძველზე დამზადებულია რკინაბეტონის ნაკეთობების საცდელ-საწარმოო პარტია რკინაბეტონის ნაკეთობების და შემდგომ მომავალში დანერგილია საწარმოო პრაქტიკაში და შესაბამისი დოკუმენტები წარმოდგენილია დანართში.

დაცვაზე გამოგვაქვს:

1. ექსპერიმენტული კანონზომიერებანი, რომლებიც ასახავენ ტემპერატურის აწევის სიჩქარის ქმედებას, ბეტონის ფორიანი სტრუქტურის წარმოქმნის თავისებურებებზე.

2. თტდ-ის რეჟიმები, რომლის მეშვეობითაც შეგვიძლია ვმართოთ ბეტონის სტრუქტურის წარმოქმნის პროცესები და მივიღოთ მასალა წყალ-, ყინვა და კოროზიამდეგობის გაუმჯობესებული მაჩვენებლებით.
3. თბომასაგადამცემის პროცესების ტექნოლოგია ბეტონის თტდ-სას ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესში თბოგამოყოფის კინეტიკის გათვალისწინებით;
4. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ძვირადღირებული ენერგორესურსების დაზოგვა.

ნაშრომის შედეგების აპრობაცია: ნაშრომის შედეგები მოხსენიებულ იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ სამ კოლოკვიუმზე, ხოლო ძირითადი შედეგები წარმოდგენილია 3 ნაშრომში და 1 კონფერენციაზე.

ნაშრომის მოცულობა: ნაშრომი შედგება შესავლისგან, სამი თავისგან, ძირითადი დასკვნებისგან, ლიტერატურის ნუსხისგან, ნაშრომი წარმოდგენილია 157 ფურცელზე, 22 ნახატის, 18 სურათის, 61 ცხრილის და ბიბლიოგრაფიული ნუსხისაგან, რომელიც შედგება 93 დასახელებისაგან როგორც სამამულო ისე საზღვარგარეთული წყაროებისგან. სამუშაო შესრულებულია სტუ-ის, სამშენებლო ფაკულტეტის სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის წარმოების ტექნოლოგიების და საშენი მასალების მიმართულებაზე.

თავი 1

1.1. ლიტერატურული მიმოხილვა

ბეტონი ერთ-ერთი უძველესი საშენი მასალაა მსოფლიოში. ჩვენ დრომდე შემონახული შესანიშნავი ანტიკური ნაგებობები, მტკიცე და ხანგამძლეა, მიუხედავად იმისა, რომ ისინი მარტივი სახეობის ბეტონისაგან იყვნენ აგებული. ასეთმა ბეტონებმა ვერ მიიღო ფართო გავრცელება, რადგან ძირითადად შემკვრელი ვერ უძლებდა ატმოსფერულ მოვლენებს, უნდა აღინიშნოს, რომ მშენებლებს არ შეუწყვეტიათ მცდელობა შეექმნათ მტკიცე ხელოვნური საშენი მასალა და ბოლოს ასეთ შემკვრელად მოგვევლინა ცემენტი. რუსეთში ის მიიღო მეცნიერმა ე.ჭელიევმა XIX საუკუნის დასაწყისში, ხოლო ინგლისში ამავდროულად მეცნიერმა ასპდინმა უწოდა პორტლანდცემენტი. ამან დასაბამი მისცა ბეტონის და რკინაბეტონის ტექნოლოგიის განვითარებას. XX საუკუნის დასაწყისში გამოჩნდა ძალიან ბევრი ნაშრომი ბეტონის ტექნოლოგიაში საზღვარგარეთ, მათგან მნიშვნელოვანია რ. ფერე (საფრაგეთი), ო. გრაფა (გერმანია), ი. ბოლომეი (შვეიცარია), ლ. აბრამსი (აშშ) ნაშრომები [1].

გასული საუკუნის 30-იან წლებში სამეცნიერო ნაშრომებმა, რომლებიც შეასრულეს ბეტონის მოსკოვური სკოლის მეცნიერებმა: ბ.გ. სკრამტაევმა, ნ.ა.პოპოვმა, ა.ვ. ვოლჟენსკიმ, ს.ა. მირონოვმა და სხვებმა. მათ ჩაუყარეს სამეცნიერო საფუძველი ანაკრები რკინაბეტონის კონსტრუქციების ტექნოლოგიას. ამავე წლებში დიდი მუშაობები მიმდინარეობდა ბეტონის კავკასიურ სკოლაში აკადემიკოს კ.ს. ზავრიევის ხელმძღვანელობით, რომელმაც ხელი შეუწყო რკინაბეტონის კონსტრუქციების ფართოდ გამოყენებას კავკასიის მშენებლობებზე. 50-იან წლებში დიდი გაქანება ჰპოვა ანაკრები რკინაბეტონის კონსტრუქციების წარმოებამ, დაჩქარებული ტემპებით მიმდინარეობდა პროცესი ქიმიური დანამატების გამოყენებით ბეტონებისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების დამზადების ტექნოლოგიაში, გამოიყენებოდა შემკვრელისა და შემავსებლების ახალი სახეები, ქიმიური დანამატების ფართო სპექტრი, რომლებიც განაპირობებენ ბეტონის თვისებებს.

საბჭოთა მეცნიერების ნაშრომები წარმატებით ინერგებოდა მრეწველობაში და ისინი ცნობილნი იყვნენ მთელ მსოფლიოში. ბეტონის ტექნოლოგიის სფეროში უნდა აღინიშნოს ისეთი მეცნიერების ნაშრომები, როგორებიც არიან: ი.ნ.ახვერდოვი, ი.მ.ბაჟენოვი, გ.ი.გორჩაკოვი, ი.მ.გრუშკო, ფ.მ. ივანოვი, ლ.ა. მალინინა და სხვების ნაშრომები ბეტონებისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების ქარხნულ ტექნოლოგიებზე.

1986 წელს გერმანიაში ინჟინერმა ვაისმა და პროფესორმა ბაუშინგერმა ჩაატარეს პირველი სამეცნიერო ცდები რკინაბეტონის კონსტრუქციებზე, სიმტკიცისა და ცეცხლმდეგობის დასადგენად, ფოლადის შენარჩუნება ბეტონის არეში, არმატურის შეკავშირება ბეტონთან და ა.შ. სწორედ ამ დროს პირველად ინჟინერმა მ. ქონენმა გამოთქვა მოსაზრება, რომელიც გამყარებული იყო ცდებით, რომ არმატურა უნდა იყოს განლაგებული კონსტრუქციის იმ ნაწილში, სადაც მოსალოდნელია გამჭიმავი ეფექტი (ძალები). 1886 წელს მ. ქონენის მიერ შემოთავაზებული იყო პირველადი მეთოდი, რომელიც მიზნად ისახავდა რკინაბეტონის ფილების ანგარიშს, რომელმაც დიდი ინტერესი გამოიწვია ახალი მასალის შესახებ, ხელი შეუწყო რკინაბეტონის გავრცელებას გერმანიაში და ავსტრია-უნგრეთში [2].

1936 წელს საბჭოთა კავშირში პირველად იქნა გამოყენებული წინასწარდაძაბული რკინაბეტონი მაღალი ძაბვის საკონტაქტო ანძებისათვის ამიერკავკასიის რკინიგზაზე. რკინაბეტონის უფრო საფუძვლიანი ფიზიკური და დრეკად-პლასტიკური თვისებების შესწავლისა და ასევე ექსპერიმენტალური მონაცემების საფუძველზე ა.ფ. ლოლეიტმა, ა.ა. გვოზდევმა და სხვებმა (1931-1934 წწ) შექმნეს რკინაბეტონის გაანგარიშების თეორია მრღევი ძალების გათვალისწინებით. ეს იყო წინაპირობა იმ ნორმების, რომლის მიხედვითაც ხდებოდა ყველა სამრეწველო თუ სამოქალაქო ობიექტის გაანგარიშება [4].

მე XX საუკუნის ბოლო ათწლეულები კი განსაკუთრებით ხასიათებოდა მაღალი მიღწევებით ბეტონის თეორიაში და მის ბაზაზე დამზადებულ კონსტრუქციებში [5, 86].

რკინაბეტონის კონსტრუქციები შეიძლება იყოს მონოლითური და ასაწყობი. მონოლითური რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადება ხორციელდება მშენებლობის ადგილზე, ხოლო ასაწყობი რკინაბეტონისა – ქარხნებში ან პოლიგონებზე, რომელთა მონტაჟი წარმოებს მშენებლობებზე.

ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციები არის გრძივი (კოლონები, კოჭები, ხიმინჯები, რიგელები). ბრტყელი საფარი და გადახურვის ფილები, საკედლე და სატიხრე პანელები, ბუნკერისა და რეზერვუარის, კედლების ბლოკური (სადირკვლის მასიური ნაკეთობები სარდაფის კედლები) და მოცულობითი (სანიტარული კაბინების ლიფტების და ბლოკ-ოთახების მოცულობითი ელემენტები, აგრეთვე ჭის რგოლები).

არმირების ხასიათის მიხედვით რკინაბეტონის ნაკეთობები შეიძლება იყოს დაუძაბავი და წინასწარ დაძაბული. წინასწარდაძაბულ რკინაბეტონში საექსპლუატაციო დატვირთვამდე, ბეტონში იქმნება წინასწარი შეკუმშვა არმატურის დაძაბვის მეშვეობით. საექსპლუატაციო დატვირთვის შემდეგ წინასწარ შეკუმშვისა და დატვირთვის შედეგად წარმოქმნილი ძაბვები ჯამდება, რის გამოც ბეტონში ან სრულიად არ წარმოიქმნება გამჭიმავი ძაბვები, ან მათი სიდიდე არ აღემატება ბეტონის გაჭიმვის ზღვარს. ბეტონის არმატურასთან მაღალი შეჭიდულობის გამო, რკინაბეტონში წარმოიქმნება გაწონასწორებული ძაღვები, კერძოდ გამჭიმავი ძაღვები – არმატურაში და მკუმშავი – ბეტონში. ამიტომ წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონი ხასიათდება მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით, რაც საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ იგი ისეთ კონსტრუქციებში, როგორცაა რკინიგზის შპალები, ხიდის ძაღვები, საკონტაქტო ქსელის კონსტრუქციები, მილები და სხვ.

ასაწყობი რკინაბეტონის დეტალები გამოირჩევა მაღალი ხარისხითა და ხანმედევობით, მარტივდება სამშენებლო სამუშაოები და მცირდება მშენებლობის ხანგამძლეობა. ამასთან ისინი ხასიათდებიან დიდი მასითა და ზომებით. რაც საჭიროებს სპეციალურ სატრანსპორტო საშუალებებს, მათი გადაადგილებისათვის და ამწე მოწყობილობებს მათი მონტაჟისათვის. ამის გამო ნაკეთობების სიგრძე როგორც წესი, არ უნდა აღემატებოდეს 25 მ. სიგანე 3 მ და მასა 25 ტ.

შემკვრელად გამოიყენება, როგორც პორტლანდცემენტი, ასევე სხვა ცემენტები. მაღალი ეფექტურობით გამოიჩევა სწრაფმყარებადი ცემენტები, რაც იძლევა ნაწარმის გაორთქვისათვის საჭირო დროის შემცირების საშუალებას [6, 87].

რკინაბეტონის არმირებისათვის გამოიყენება ღეროვანი და მავთულიანი არმატურა. ღეროვანი არმატურა დამუშავების მეთოდის მიხედვით იყოფა: ცხლად გლინულ, თერმულად განმტკიცებულ და ცივადდეფორმირებულ არმატურად, ხოლო პროფილის მიხედვით შეიძლება იყოს გლუვი და პერიოდიული პროფილის (პერიოდიული პროფილის არმატურა გამოიყენება არმატურის და ბეტონის შეჭიდულობის გასაზრდელად) [7].

ასაწყობი რკინაბეტონის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესი მოიცავს შემდეგ ოპერაციებს: ბეტონის ნარევის და არმატურის კარკასის დამზადებას, ნაწარმის დაყალიბებას და თბოტენიან დამუშავებას, ბეტონის გამყარების დაჩქარების მიზნით.

ბეტონის ნარევის მომზადებისათვის იყენებენ როგორც თავისუფალი ვარდნის, ისე იძულებითი არევის ბეტონმრეველებს.

ბეტონის ნარევის დაყალიბების პროცესი მოიცავს: ფოლადის ყალიბის აწყობას, მის დაზეთვას, მასში არმატურის მოთავსებას, ბეტონის ნარევის ჩასხმას და მის შემკვრივებას. ნარევის შემკვრივება ხდება როგორც ვიბრომაგიდებზე, ასევე გარეთა, ზედაპირული ან სიღრმითი ვიბრატორების მეშვეობით.

თბოტენიანი დამუშავების მიზნით გამოიყენება გაორთქვლის მეთოდი. ეს მეთოდი ორი სახისაა: პირველი, როდესაც გაორთქვლა წარმოებს ბუნებრივი წნევის პირობებში 70-100°C ტემპერატურაზე, ხოლო მეორე, როდესაც თბოტენიანი დამუშავება წარმოებს ავტოკლავებში 0,8-1,2 მპა წნევისა და 174°C-ის ტემპერატურის პირობებში.

გაორთქვლის ხანგრძლივობა მოიცავს 8-14სთ და იგი უზრუნველყოფს ბეტონის საპროექტო მარკის 50-70%-ის მიღებას. გაორთქვლის ხანგრძლივობა შეიძლება შემცირდეს, თუ გამოვიყენებთ სწრაფმყარებად მაღალი

სიმტკიცის ბეტონებს, შევამცირებთ წყალცემენტის ფარდობას და გამოვიყენებთ გამყარების დამაჩქარებელ დანამატებს.

ბეტონის გამყარების დასაჩქარებლად გამოიყენება აგრეთვე ელექტროგახურება, რომელიც მდგომარეობას ცვალებადი დენის გატარებაში ბეტონის ნარევიში. ელექტროგახურება ეფექტურია დაბალი სიმკვრივის ბეტონებისათვის.

ტექნოლოგიური პროცესის სახეობის მიხედვით განასხვავებენ რკინაბეტონის წარმოების შემდეგ მეთოდებს: ნაკადურ-აგრეგატულს, კონვეიერულს და სტენდურს.

ნაკადურ-აგრეგატულ მეთოდის დროს ყველა ოპერაციები (ფორმების გახსნა, აწყობა, გაწმენდა, არმირება, ბეტონის ჩასხმა, არევა, თბოტენიანი დამუშავება და ა.შ.) ტარდება სპეციალიზებული სამუშაო ადგილებზე თანმიმდევრულად. ნაკადურ-აგრეგატული მეთოდი საშუალებას იძლევა, გაიზარდოს პროცესის მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის დონე, შემცირდეს შრომატევადობა.

კონვეიერული მეთოდი გამოიყენება განსაზღვრული სახეობის ნაკეთობის დიდი სერიის წარმოების დროს. კონვეიერული მეთოდი ნაკადურ-აგრეგატულისგან განსხვავებით ხასიათდება ტექნოლოგიური ოპერაციების მაქსიმალური დანაწევრებით და მათი მკაცრად დაცული რიტმით. კონვეიერის ყოველ პოსტზე სამუშაო მიმდინარეობს ერთდროულად. ეს მეთოდი განაპირობებს ნაწარმის მაღალ-მწარმოებლურობას და ღირებულების შემცირებას.

სტენდური მეთოდის დროს დასამზადებელი ნაწარმის ყალიბი რჩება ერთ ადგილზე (სტენდზე), როგორც დაყალიბებისას, ისე თბოტენიანი დამუშავებისას, მაშინ როდესაც ტექნოლოგიური მოწყობილობა თანმიმდევრულად გადაადგილდება ერთი სტენდიდან მეორემდე. სტენდებზე წარმოებს აგრეთვე რკინაბეტონის ელემენტების წინასწარი დამაბვაც. სტენდური მეთოდის უპირატესობა კონვეიერულთან შედარებით იმაში გამოიხატება, რომ კაპიტალური დაბანდება მცირეა, ნაკეთობის ნომენკლატურა – მრავალნაირი.

საბინაო – სამოქალაქო მშენებლობაში რკინაბეტონის კონსტრუქციები გამოიყენება მსხვილპანელურ (5-16 სართულიან) კარკასულ-პანელურ (16-25 სართულიან), მოცულობით-ბლოკურ (5-9 სართულიან) და აგურის შენობებში.

სადირკვლების ელემენტები მზადდება B 16-20 კლასის მძიმე ბეტონებისაგან. არმირებას ახდენენ ბადეებით ან კარკასებით. უკარკასო პანელური შენობებისათვის (16 სართულამდე) გამოიყენება ასაწყობი ლენტური სადირკვლები, რომლებიც შედგება მთლიანი ან ღრუტანიანი ბლოკებისაგან. კარკასულ-პანელური შენობების სადირკვლებში გამოიყენება ჩასარქობი ხიმინჯები.

კოლონები მზადდება B 15-40 კლასის მძიმე ბეტონებისაგან, არმირება ხდება მოცულობითი კარკასებით A-III კლასის ფოლადისაგან. უფრო ხშირად გამოიყენება 8,4 მ სიგრძის 0,3×0,3 ან 0,4×0,4 მ კვეთის და 3,5 ტ. მასის კოლონები მრავალსართულიანი შენობებისათვის. რიგელების დასაყრდნობად კოლონებს უკეთდება კონსოლები 0,2-0,3 შვერით.

გარე საკედლე პანელები მზადდება არმირებული მსუბუქი ან უჯრედოვანი ბეტონებისაგან. ერთფენიანი პანელები მზადდება B 3,5-7,5 კლასის მსუბუქი ბეტონებისაგან, სიმკვრივით 800-1500 კგ/მ³. ფასადის მხრიდან პანელს დატანებული აქვს ფაქტურული შრე 20-30 სმ სისქის. პანელების ზომებია: სიგრძე 3-6 მ, სიმაღლე 2,9 მ, არსებობს ლენტური პანელებიც, სიგრძით 6 მ, სიგანით 1,2-2,4 მ, პანელის სისქეა 300-400 მმ, მასა 3-7 ტ.

შიგა საკედლე პანელების სიგრძეა 7 მ-მდე, სიმაღლე 2,98 და სისქე 0,18-0,2 მ. მზადდება B-15-22,5 კლასის მძიმე ბეტონისაგან; აგრეთვე B 12,5-15 კლასის კონსტრუქციული მსუბუქი ბეტონისაგან.

გადახურვის ფილები მზადდება მძიმე ან კონსტრუქციული მსუბუქი ბეტონისაგან. შეიძლება იყოს სავსე და ღრუტანიანი. გამოყენებული კლასებია B-15-22,5. არმატურა წინასწარ დამაბული.

კიბის მარშები და მოედნები მზადდება როგორც ცალ-ცალკე, ასევე გამსხვილებული სახით კიბის მოედნებთან ერთად.

მოცულობითი ბლოკები (საცხოვრებელი ოთახები, სანიტარული, სავენტიაციო, ნაგავსაყარი ბლოკები) შენობების ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტაა, რომელიც უზრუნველყოფს სამშენებლო ხარჯების მაქსიმალურ შემცირებას და მონტაჟის დაჩქარებას. ამგვარი ბლოკების ელემენტები მზადდება ქარხანაში და იქვე იწყობა, მშენებლობის ადგილზე კი ხდება ბლოკების შეპირისპირება და მონტაჟი საერთო სისტემაში.

სამრეწველო ნაგებობებში გამოიყენება სამოქალაქო მშენებლობის ანალოგიური ნომენკლატურის კონსტრუქციები. განსხვავებაა კონსტრუქციების გაზრდილი ზომა და ზოგჯერ ფორმაც. ასეთი ნაკეთობებია: დიდი ზომის წამწები, კოჭები თაღები, კოლონები, ფერმები და სხვ. [8].

1.2. ბეტონის გამაგრების დაჩქარების თანამედროვე ხერხები

1.2.1. ბეტონის გამაგრების დაჩქარება რკინაბეტონის კონსტრუქციებში

ბეტონის გამაგრების დაჩქარების თანამედროვე ხერხები ასაწყობი, ან ასაწყობ-მონოლითური ნაკეთობების და კონსტრუქციების წარმოებისას იყოფა სამ ჯგუფად: თბური, ტექნოლოგიური, ქიმიური. დღეს ბეტონის გამაგრების დაჩქარებისათვის უფრო ხშირად იყენებენ თბოტენიან დამუშავებას, რომლის საფუძველიც არის ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ზრდა 2-ჯერ, ტემპერატურის მატებისას 10°C-ით; რადგანაც ბეტონის გამაგრება განპირობებულია ცემენტის ჰიდრატაციის ქიმიური რეაქციით, ტემპერატურის ზრდა, ბეტონიდან ტენის მოცილების გარეშე, უზრუნველყოფს მის სწრაფ გამაგრებას. ასაწყობ რკინაბეტონის ქარხნებში გამოიყენება თბური დამუშავება არანაკლებ 100°-მდე აერულ გარემოში მომეტებული ტენიანობით, რათა თავიდან ავიცილოთ ბეტონის გამოშრობა.

თბური დამუშავების მეთოდები სულ უფრო იხვეწება, რათა დავამზადოთ ხარისხიანი რკინაბეტონის ნაკეთობები უმოკლეს ვადებში და ამავდროულად შევამციროდ ხარჯები თბურ ენერგიაზე. თბური დამუშავების

ხანგრძლივობის შემცირების წყალობით რკინაბეტონის ქარხნებში მცირდება ფორმების, ან ყალიბების ბრუნვის ციკლი და მათი რაოდენობა, ანუ წარმოების ლითონტევადობა, აგრეთვე თბური დამუშავების დანადგარების რაოდენობა და შესაბამისად ხარჯები მოწყობილობაზე და მათ ამორტიზაციაზე. ეს კი ხელს უწყობს რკინაბეტონის ნაკეთობების თვითღირებულების შემცირებას და მათ კონკურენტუნარიანობას. რკინაბეტონის თბოტენიანი დამუშავების პროგრესი ხორცილდება შემდეგი მიმართულებებით:

- სწრაფმყარებადი მაღალი აქტივობის ეფექტური ცემენტების გამოყენება.
- თერმოსის რეჟიმების დანერგვა, ანუ თბოდანადგარების საუკეთესო თბოიზოლაციის უზრუნველყოფა, თბოდანაკარგების შემცირება და თბომატარებლების მეორადი გამოყენება.
- ისეთი თბოდანადგარების გამოყენება, რომლებიც მუშაობენ მცირედ მომეტებული წნევის პირობებშიც.
- მრავალსტადიური თბური დამუშავება, ნაკეთობების სწრაფი განყალიბებისათვის (ფორმების ბრუნვადობის ასამაღლებლად) და განყალიბებული ნაკეთობების მეტი რაოდენობის ჩასატვირთად კამერაში.
- თბური დამუშავების შესაბამისობა ტექნოლოგიური და ქიმიური დამუშავების რეჟიმებთან [15, 16, 17].

1.2.2. ბეტონისათვის სითბოს გადაცემის ხერხები თბოდამუშავების სხვადასხვა მეთოდისას

სითბოს გადაცემა ბეტონისათვის ნაკეთობებში და კონსტრუქციებში შემდეგი ხერხით ხორციელდება.

- გაჯერებული წყლის ორთქლის გარემოში, სითბოს გადაცემა უშუალო კონტაქტით, თბომატარებლისა ბეტონზე (მკვეთრი ორთქლი) თბოგადაცემის ხარჯზე (ორმოსებრი, გვირაბისებრი, ვერტიკალური კამერები). ორთქლი გადასცემს რა სითბოს კონდენსირდება და გროვდება კამერებში. ამ დროს საჭირო ხდება კონდენსატის ჩამოღვრა.

- კონტაქტური გახურება – სითბო მიეწოდება ჩაკეტილ თბურ ნაკვეთურებში, რომლებშიც ხურდება მეტალის გამყოფი გვერდები, მათგან კი სითბო გადაეცემა ბეტონს (ორთქლი). თბომატარებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას არა მარტო წლის ორთქლი, არამედ ცხელი ჰაერი, კვამლის აირი, გახურებული წყალი, ცხელი ზეთი და სხვა. ამან ფართო გამოყენება ჰპოვა თერმოფორმებში კასეტური ტექნოლოგიების დროს.
- წყლის ორთქლის გამოყენება 100°C-ს ზემოთ იწვევს ჭარბი წნევის წარმოქმნას, ამიტომ ჩაკეტილი თბური ზოლურები უნდა უძლებდეს ჭარბი წნევის ზემოქმედებას, რაც ართულებს და აძვირებს თბური აგრეგატების კონსტრუქციას. ამას გარდა თბურ ნაკვეთურ ზოლურებში აგრეთვე შეიძლება დაგროვდეს წყლის კონდენსატი, რადგან წყლის თბოტევადობა უდიდესია დედამიწაზე მყოფ ნივთიერებებს შორის. კონდენსატის დატოვება ზოლურეში ეკონომიკურად არ არის მიზანშეწონილი რადგანაც მის გახურებაზე იხარჯება ზედმეტი სითბო.
- უფრო ეფექტურ თბომატარებლად ითვლება მინერალური ზეთები, რადგან მათი გახურება 150°C არ იწვევს ჭარბი წნევის წარმოქმნას, რაც გვაძლევს საშუალებას დავაჩქაროთ თბური დამუშავება თბონაკვეთურების კონსტრუქციის გართულების გარეშე.
- რკინაბეტონის კონსტრუქციების გახურება ცხელი წყლის ბასეინებში შეიძლება ვაწარმოოთ რკინაბეტონის სადაწნეო მილების დამზადებისას.
- ნაჯერი წყლის ორთქლის გარემოში 100°C და ჭარბი წნევის დროს 1,2 მპა ავტოკლავური დამუშავებაა, ან შეორთქლვა. რაც მეტია ტემპერატურა და წნევა ავტოკლავში, მით სწრაფად აიკრიბება სიმტკიცე, მაგრამ წნევის აწევა მოითხოვს დამატებით ღონისძიებებს, ავტოკლავის კონსტრუქციის გამაგრებისათვის, მისი ექსპლუატაციის უსაფრთხოების მიზნით.

ბოლო ხანებში გავრცელება ჰპოვა ბუნებრივი აირის წვის პროდუქტებით, თბოდამუშავებამ, მზის ენერჯის გამოყენებამ (ჰელიოკამერები). ასეთი ტექნოლოგიების გამოყენების დროს საჭიროა სპეციალური ღონისძიებების

ჩატარება. რათა წყალი არ აორთქლდეს. წყლის მოცილება ბეტონიდან იწვევს ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესის შეწყვეტას და სრულ შეწყვეტას და შესაბამისად სიმტკიცის ზრდასაც, გარდა ამისა ხელს უწყობს ღია კაპილარული ფორიანობის შექმნას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ბეტონის ხანგამძლეობაზე.

- წყლისა და შემვსებების წინასწარი გახურება, ანუ შემთბარი ბეტონის ნარევის დამზადება, რომელიც შემდეგ სწრაფად მიეწოდება დანიშნულებისამებრ, ეწყობა ფორმებში და მკვრივდება, გადადის კამერებში შემდგომი იზოთერმული დაყოვნებისათვის. არის მეთოდი, ბეტონის ნარევის ადუღაბების უშუალოდ ბეტონსარევეებში, ცხელი წყლით ან წლის ორთქლით, ამ დროს ბეტონის ყველა შემადგენელი კომპონენტი ხურდება. ბეტონის ნარევის გახურებით ჩქარდება ჰიდრატაციის პროცესები და ცემენტის ჰიდრატაციის ეგზოთერმული რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბოც სრულიად გამოიყენება, რაც ნაწილობრივ ანაზღაურებს თბოდანაკარგებს დაყოვნებისას.
- ბეტონის ნარევის მოკლევადიანი ელექტროგახურება ცივი მასალებით $70-95^{\circ}\text{C}$ ხორციელდება. ბეტონის ნარევი უერთდება ცვლადი დენის წყაროს.
- ელექტროდული გახურება გამოიყენება ახლადაყალიბებული ნაკეთობებისათვის, სადაც ატარებენ ცვლად ელექტრო დენს. სითბო გამოიყოფა ბეტონის მთელ მოცულობაში, რაც აგვაცილებს თავიდან ტემპერატურის სხვაობებს, ძაბვებს და დეფორმაციებს.
- იყენებენ აგრეთვე ინფრაწითელი სხივებით ახლადაყალიბებული ბეტონის გახურებას. ელექტრომაგნიტური ტალღებით, განსაზღვრული პარამეტრებით, რომლებიც შეადწევენ ბეტონში და გაახურებს მას. აქაც უნდა ვერიდოთ წყლის აორთქლებას.
- ინდუქციური გახურება ხორციელდება ნაკეთობის მოთავსებით მაგნიტურ ველში, როდესაც წარმოიშვება მეორადი დენი, რომელიც ახურებს ფოლადის არმატურას და ფორმებს [18, 19, 20, 21].

1.2.3. გამაგრების დაჩქარების კოეფიციენტის სიდიდე

80%-მდე ასაწყობი რკინაბეტონის ნაკეთობები განიცდის გაორთქლვას კამერებში, ნორმალური ატმოსფერული წნევის და გარემოს ტემპერატურის 60-95°C-ის დროს. მოქმედ საწარმოებში თბური დამუშავების ხანგრძლივობა მერყეობს ფართო ზღვრებში 3-24 სთ-მდე. რაც ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. გაორთქლვის დაჩქარებას სპეციალური ღონისძიებების გარეშე (გამაგრების დამაჩქარებელი დანამატების შეყვანა, ბეტონის ნარევის წინასწარი გახურება. მრავალსტადიური თბოდამუშავება, მაღალი ხარისხის ცემენტების გამოყენება და სხვა) 13-დან 6-7 საათამდე მივყავართ ცემენტის გადახარჯვამდე. მაგ. 200 მ. ბეტონისათვის 80-100 კგ-ით. რაც ზრდის პროდუქციის თვითღირებულებას [22].

რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოდამუშავება ხორციელდება, როდესაც ბეტონს მიღწეული აქვს მოთხოვნილი გადასაცემი, განსაყალიბებული და გასაშვები სიმტკიცე (50-დან 80%-მდე ზაფხულის პერიოდში და არანაკლებ 90-95%-ისა საპროექტო სიმტკიცის, ზამთრის პერიოდში), ამავდროულად საწარმო ვალდებულია დამკვეთს მისცეს გარანტიები, რომ ნაკეთობები 28 დღე/ღამეში მიაღწევს საპროექტო სიმტკიცეს [23].

ასაწყობი რკინაბეტონის თბური დამუშავება შეიძლება განხორციელდეს როგორც უწყვეტი ან პერიოდული მოქმედების კამერებში, ასევე თერმოფორმებში, თერმოპაკეტებში, კასეტურ ფორმებში და გადასატან თალფაქებში. ამ დროს თბომატარებლებად შეიძლება გამოყენებული იქნას წყლის ორთქლი, ორთქლჰაერის ნარევი, ცხელი ჰაერი, ელექტროდენი, მზის ენერჯია, ბუნებრივი აირის წვის პროდუქტები.

ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ხარისხი, გახურების ხერხების გათვალისწინებით ფასდება დაჩქარების კოეფიციენტის სიდიდით.

$$R_{d\alpha C} = R_{Tt d} / R_{np} > 2,$$

სადაც $R_{Tt d}$ არის ბეტონის ნიმუშის სიმტკიცე მზა-ში, თბოტენიანი დამუშავების შემდეგ, R_{np} არის ბეტონის ნიმუშის სიმტკიცე მზა-ში გამაგრებული ნორმალურ პირობებში [24].

რაც მეტია დაჩქარების კოეფიციენტი, მით ეფექტურად არის ორგანიზებული რკინაბეტონის ნაკეთობების თბური დამუშავება. ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ტექნოლოგიური ხერხები მოიცავს:

- სწრაფდმყარებადი და განსაკუთრებით სწრაფდმყარებადი ცემენტების ან მაღალი აქტივობის ცემენტების 500 მ და მეტი გამოყენებას, რაც უზრუნველყოფს ბეტონის მექანიკური სიმტკიცის ზრდას ასაკშიც.

ცხრილი 1

სტანდარტული ნიმუშების სიმტკიცე სწრაფდმყარებადი ცემენტებით

ცემენტის სახე	სიმტკიცის ზღვარი მზა არანაკლებ		
	ღუნვაზე 3 დღე/ღამე	კუმშვაზე 3 დღე/ღამე	კუმშვაზე 28 დღე/ღამე
სწრაფდმყარებადი მ 400	4,0	25,0	40,0
სწრაფდმყარებადი მ 500	5,0	28,0	50,0

1.2.4. ცემენტის გამაგრების დაჩქარება საწყის სტადიაზე

დაწყებითი სტადიის გამაგრების დაჩქარებისათვის ზოგჯერ მიმართავენ ცემენტის კლინკერში ინტენსიურ მინერალწარმოქმნას, რათა მიიღონ ქიმიურად აქტიური მინერალები C_3N და C_3A . გამაგრების ინტენსიფიკაცია მიიღწევა კლინკერის სინთეზით მცირე რაოდენობის არატრადიციულ მინერალებთან. მაგალითად კალციუმის ფტორალუმინატთან $C_{11}A_7CaF$. საწყისი სიმტკიცის სწრაფ ზრდას ხელს უწყობს ხსნადი კომპონენტების არსებობაც ნედლეულ მასალებში. მაგ: ტუტეების, ბარიუმის ნაერთების, ქლორიდების და სხვა. მათი მოქმედება დაფუძნებულია სისტემის ქიმიურ აქტივაციაზე და შემდგომ შეიძლება ვერ მივაღწიოთ საბოლოო საპროექტო სიმტკიცეს.

წმინდად დაფუძნებული ცემენტები სწრაფად იკრებენ სიმტკიცეს ადრეულ ასაკში, გაზრდილი ხვედრითი ზედაპირის გამო ასადულაბებელი წყლის და ცემენტის ნაწილაკების ურთიერთქმედება მიმდინარეობს ინტენსიურად, რაც ხელს უწყობს ცემენტის ჰიდრატაციას. მაგრამ ცემენტის დისპერსიულობის ზრდით, იზრდება მისი წყალმოთხოვნა. ამიტომ საწყისი სიმტკიცის

გასაზრდელად შევამცირეთ ცემენტების წყალმოთხოვნა, დანამატების შეყვანით. შედეგი იქნა მიღწეული 300 მ²/კგ-ის ხვედრითი ზედაპირის ცემენტის დაფქვით 420-450 მ²/კგ ხვედრით ზედაპირამდე, სუპერპლასტიფიკატორის თანხლებით 2-2,5%-ის ოდენობით. ამ დროს ცემენტის წყალმოთხოვნა შემცირდა 25%-დან 17%-მდე, ხოლო ნიმუშების სამარკო სიმტკიცე კუმშვაზე – ასეთ ცემენტებზე კი გაიზარდა 50-100 მპა-მდე. ბეტონი ასეთ ცემენტებზე უკვე 12 საათიან ასაკში ბუნებრივი გამაგრებით, ხასიათდება სიმტკიცით, არანაკლებ 25 მპა.

დაბალი წყ/ც მნიშვნელობის გამოყენებას მივყავართ ხისტ და ზედმეტად ხისტ ნარევებამდე. ასეთი ნარევების გამკვრივება, გამკვრივების კოეფიციენტის არანაკლებ 96%-მდე ხორციელდება ინტენსიური ხერხებით, მაგ.: ვიბროდაწნეხვით, ვიბროდამტამპვით.

დაბალი წყ/ც ფარდობას ვიღებთ რკინაბეტონის ნაკეთობების დაყალიბების პროცესში, თუ მოვამორებთ ასადულაბებელი წყლის ნაწილს (საწყისი რაოდენობის 30-40%-მდე). ეს მიიღწევა ფილტრაციული დაწნეხვით, ვაკუუმირებით, ვიბროჰიდრო დაწნეხვით, ცენტრიფიგურებით, რაც მეტი წყალი შორდება ბეტონის ნარევს ნაკეთობების დაყალიბებისას, მით ნაკლებია წყ/ც და მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს საწყისი სიმტკიცის აკრება. უფრო მიზანშეწონილია ბეტონის ნარევის გამკვრივების კომპლექსური მეთოდები: ვიბროგამკვრივება, ცენტრიფუგა-ვიბრაციასთან და დაწნეხვასთან ერთად, ვიბროვაკუუმირება და ვიბროვაკუუმ-დაწნეხვა.

1.2.5. ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ქიმიური ხერხები

ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ქიმიურ ხერხები მდგომარეობს გამაგრების დამაჩქარებელი დანამატების გამოყენებაში. ასეთ დანამატებს მიეკუთვნება დანამატები, რომელთა შეყვანა ზრდის 1 დღე/ღამის ბეტონის სიმტკიცეს არანაკლებ 50%-ით. ასეთ დანამატებს მივაკუთვნებთ: ქლორიდებს, ნიტრატებს, და სხვა ტუტე მიწათა მეტალებს. ამ დანამატების გამოყენების

უარყოფითი მხარეა ბეტონის ნარევების და ბეტონების ტუტოვანი კოროზია და გაზრდილი ელექტროგამტარობა.

დანამატები ხარისხის მაჩვენებლების მიხედვით უნდა აკმაყოფილებდეს შესაბამის ნორმატიულ დოკუმენტაციას კონკრეტულ პროდუქტზე, ხოლო მოქმედების ეფექტურობაზე – ეფექტურობის კრიტერიუმზე GOCT 24211.

დანამატების ეფექტურობა განისაზღვრება დანამატიანი და უდანამატო ბეტონის ნარევის და ბეტონის შედგენილობების შედარებით და განისაზღვრება GOCT 30495-96.

დანამატის ოპტიმალურ დოზირებად ითვლება დანამატის ის მინიმალური რაოდენობა, რომლის შეყვანით ბეტონში მიიღწევა მოქმედების მაქსიმალური ეფექტი GOCT 24211-ის მიხედვით.

დანამატები შეგვყავს ბეტონის ნარევეში ასადულებებელ წყალთან ერთად, შეტანის წინ დანამატის ხსნარები, ემულსიები, სუსპენზიები უნდა შეინჯღრეს, ხოლო მშრალი დანამატები უნდა გაიხსნას წყალში. წყლის რაოდენობა დაითვლება ბეტონის შედგენილობის ანგარიშისას. წყალი შესაბამეა GOCT 23732 სტანდარტს.

ლაბორატორიულ პირობებში ანარევეს ვამზადებთ მშრალ შემვსებებზე. ნაყარი მასალების დოზირება ხდება მასის მიხედვით. წყალი და დანამატების ხსნარების დოზირება ხდება მასის ან მოცულობის მიხედვით. მასალების დოზირების ცდომილება არ უნდა აჭარბებდეს 1 %-ს.

ბეტონის ნარევის სინჯები აიღება GOCT 101810-81. საკონტროლო და ძირითადი შედგენილობის ბეტონის ნიმუშები უნდა მაგრდებოდეს იდენტურ პირობებში.

თბოდამუშავების პროცესში, როგორც საკონტროლო ისე ძირითადი შედგენილობის ნიმუშების წინასწარი დაყოვნების პერიოდი არ უნდა განსხვავდებოდეს 20%-ზე მეტად.

დანამატის ეფექტური მოქმედება ფასდება შემდეგი კრიტერიუმების მიხედვით:

- საკონტროლო შედგენილობის ბეტონის შერჩევა.
- დანამატის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა;

– საკონტროლო და ძირითადი შედგენილობების ბეტონის მაჩვენებლების შედარება.

ბეტონის თბოდამუშავებას ვაწარმოებთ ლაბორატორიულ შესაორთქლ კამერებში რეჟიმით 3+3+6+2 სთ. იზოთერმული გახურების 80°C-ას პორტლანდცემენტზე და 90°C-ას წიდაპორტლანდცემენტზე.

ლაბორატორიაში ვაზუსტებთ დანამატის არჩეულ ოპტიმალურ რაოდენობას. თბოდამუშავებას ვაწარმოებთ ლაბორატორიულ გასაორთქლ კამერებში, საწარმოო პირობებში კი კამერებში ნაკეთობებთან და კონსტრუქციებთან ერთად.

დანამატის ეფექტურობის დასაზუსტებლად გამოცდების სერია უნდა იყოს არანაკლებ სამისა ბეტონის სახეობის თითოეული პარტიისათვის. დანამატს უნდა მოყვებოდეს შესაბამისი სერტიფიკატი. ლაბორატორიას უნდა ჰქონდეს გავლილი ატესტაცია და ყველა ხელსაწყო და გამზომ მოწყობილობებს დაკალიბრების ან ტარირების მოწმობები.

ბეტონის ნიმუშებს ვინახავთ ნორმალურ პირობებში და ვცდით კუმშვაზე ГОСТ 10180, 28 დღე/დამის განმავლობაში. გამაგრების დამაჩქარებლის ეფექტურობის განსაზღვრისათვის სიმტკიცის ზრდას ΔR ვითვლიათ ფორმულით:

$$\Delta R = \frac{R_m - R_s}{R_s} \cdot 100$$

ხოლო გამაგრების შემწელებელი დანამატების დროს ბეტონის სიმტკიცის შემცირებას ვითვლით ფორმულით:

$$\Delta R = \frac{R_s - R_m}{R_s} \cdot 100,$$

სადაც R_m არის საბაზო შედგენილობის სიმტკიცე მპა. R_s – არის ბეტონის საკონტროლო შედგენილობის სიმტკიცე მპა.

თბოდამუშავების ინტენსიფიცირებისათვის, ანუ ცემენტის ხარჯისა და ენერგეტიკული დანახარჯების შესამცირებლად, ბეტონის ნარევი შეგვყავს გამაგრების დამაჩქარებელი დანამატები (ნატრიუმის სულფატი, კალციუმის ქლორიდი, ნატრიუმის ნიტრატი და სხვა). შესამჩნევი ეფექტი

შეინიშნება როდესაც ვიყენებთ დაბალ ალუმინატოვან ცემენტებს (C_3A 6%-მდე) წიდაპორტალცემენტებს (გაორთქლვის შემდეგ სიმტკიცის მატება 20% – 25%-ის). ეს აიხსნება სწრაფი ჰიდრატაციით, მაგრამ ქლორიდები და სულფატები ხელს უწყობს არმატურის კოროზიას, ამიტომ ამჟამად იყენებენ უფრო კომპლექსურ დანამატებს. ასეთი დანამატები (3% ცემენტის მასიდან) იძლევა შესაძლებლობას ბეტონის სიმტკიცის შემცირების გარეშე; შევამციროთ იზოთერმული გახურების ხანგრძლივობა 2-ჯერ.

ელექტროდამუშავებისას კი ეს დანამატები ამცირებენ ძაბვას და ელექტროენერჯის ხარჯს.

ელექტროლიტები – გამაგრების დამაჩქარებლები ეფექტურია განსაკუთრებით მაპლასტიფიცირებელ დანამატებთან ერთად. ამ დროს მცირდება წყ/ც, და ეს იძლევა საშუალებას გავზარდოთ ბეტონის სიმტკიცე გაორთქლვის შემდეგ 90%-მდე საპროექტო სიმტკიცეიდან.

1.3. ბეტონის გამაგრებისა და სტრუქტურის წარმოქმნის თავისებურებები თბოტენიანი დამუშავებისას

ტემპერატურის ფაქტორის მოქმედების არსი ცემენტის გამაგრებაზე ბეტონში, მდგომარეობს წყლის ქიმიური აქტივობის ცვლილებაში. ბეტონში, ტემპერატურის ზრდისას ქიმიური აქტივობა იზრდება, წყლის მსხვილი მოლეკულები იშლება წვრილად. ეს უკანასკნელი ხდებიან უფრო სწრაფად მოძრავი და ინტენსიურად ურთიერთქმედებენ ცემენტის ნაწილაკებთან, ამით აჩქარებენ ჰიდრატაციის პროცესს.

დასკვნა: ჩქარდება ჰიდრატული ახალწარმონაქმნების წარმოშევა, რომლებიც აყალიბებენ ცემენტის ქვას და აერთიანებენ ყველა კომპონენტებს ერთიან კონგლომერატად – ბეტონად.

თბოდამუშავებისას ბეტონის გამაგრება იმდენად ინტენსიურია, რომ შესაძლებელი ხდება მივალწიოთ მოთხოვნილ სიმტკიცეს 20-30-ჯერ სწრაფად, ვიდრე 20°C ტემპერატურაზე.

მიუხედავად თბოდამუშავების ხერხებისა 100°C ბეტონის სიმტკიცის ზრდა, ისევე როგორც ნორმალურ პირობებში მიმდინარეობს 3 ეტაპად:

1. სიმტკიცის უმნიშვნელო მატება (ბეტონის საწყისი სტრუქტურის ჩამოყალიბება).
2. სიმტკიცის სწრაფი მატება (სტრუქტურის გამტკიცების პერიოდი).
3. სიმტკიცის ნელი მატება (სტრუქტურის სტაბილიზაციის პერიოდი).

თითოეული პერიოდის ხანგრძლივობა ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული: ცემენტის სახეობაზე და თვისებებზე, წყ/ც კომპონენტების თანაფარდობაზე და ბეტონის ნარევის ადგილჩაწყობადობაზე, შეყვანილი დანამატების სახესა და რაოდენობაზე, თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმზე და სხვა.

ბეტონის გამაგრებისას წარმოიშვება ცემენტის ქვა, რომელიც შეიცავს:

- კლინკერის მარცვლების არა გააქტიურებულ მარცვლებს, რომელთა შემცველობა დროთა განმავლობაში მცირდება;
- ჰელს, რომელიც შედგება ჰიდრატული ახალწარმონაქმნებისაგან ზომით 5-20 ნმ და მეტი სიდიდის ფორებისგან დიამეტრით 1-100 ნმ. ჰელის ფორების მოცულობა, მკვრივი ფაზის მოცულობის დაახლოებით 39%-ია, გამაგრება კი მაღალ ტემპერატურაზე და წნევის ქვეშ ამცირებს ამ ფორებს 22 %-მდე.

ბეტონის და რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავებისას 100°C-მდე, არ შეინიშნება ცემენტის ქვის ჰიდრატული ახალწარმონაქმნების ფაზური შედგენილობის ცვლილება, ბუნებრივ პირობებში გამაგრებულ ნაკეთობებთან შედარებით. ჰიდრატაციის პროდუქტები წარმოდგენილია კალციუმის ჰიდროსილიკატებით, მცირე რაოდენობით კალციუმის ჰიდროალუმინატებით და ჰიდროფერიტებით, აგრეთვე არის პორტლანდიტი ($Ca(OH)_2$), ეტრინგიტი, კალციუმის კარბონატი. თბოტენიანი დამუშავებისას შეინიშნება ჰიდრატაციის პროცესის დაჩქარება, პირველადი კრისტალების განვითარება და გამსხვილება.

ტემპერატურა ახდენს დიდ გავლენას ცემენტის ჰიდრატაციის სიჩქარეზე და გამაგრებაზე. ტემპერატურის დაწევა 1-8°C-ით 2-3-ჯერ ანელებს ამ პროცესებს, ბუნებრივ პირობებთან შედარებით, ხოლო 0°C-ზე კი პროცესები მთლიანად წყდება. ტემპერატურის აწევა კი ძლიერ აჩქარებს

ბეტონის სიმტკიცის ზრდას. ბეტონის ნარევის 30-40°C ტემპერატურისას ეს უკვე შესამჩნევი ხდება, მასიურ კონსტრუქციებში ეს ტემპერატურა შენარჩუნდება ცივ პერიოდშიც.

დასკვნა: თტდ-ის რეჟიმების ჩანიშვნა მდგომარეობს მისი ცალკეულ პერიოდების ოპტიმალური ხანგრძლივობის დადგენაში, რათა მივიღოთ მოთხოვნილი სიმტკიცეები ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუარესების გარეშე.

1.4. სხვადასხვა სახეობის ცემენტის მინერალოგიური შედგენილობის მოქმედება თტდ-ის რეჟიმებზე

ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების საწარმოებლად, რომლებიც გადიან თბურ დამუშავებას შეიძლება გამოვიყენოთ: პორტლანდცემენტი, სწრაფმყარებადი ცემენტი, წიდაპორტლანდცემენტი დაქვემდებარებული ГОСТ 10178 და 31108. სულფატომედეგი და პუცოლანური პორტლანდ-ცემენტები, მხოლოდ იმ შემთხვევაში, რომლებიც მითითებულია ГОСТ 22266. ბეტონების თბოტენიანი დამუშავებისას სიმტკიცის სწრაფი ზრდის დროს გამოყენებული ცემენტები იყოფა შემდეგნაირად:

1. დაბალალუმინატოვანი პორტლანდცემენტები C_3A არაუმეტეს 5 % მასის მიხედვით. ბეტონები ამ სახის ცემენტებზე ხასიათდებიან სიმტკიცის ნელი აკრებით თტდ-ის 8 საათამდე ციკლის დროს და ინტენსიური სიმტკიცის მატებით უფრო ხანგრძლივი თტდ-ისას. მიზანშეწონილია 13-15 საათიანი რეჟიმი. 2. საშუალოალუმინატოვანი ცემენტები, სადაც C_3A 9%-მდეა. ამ დროს ბეტონი თავიდან იკრებს სიმტკიცეს და შემდგომ სიმტკიცის მატება ნელა მიმდინარეობს. ამ დროს ეფექტურია თტდ რეჟიმის 13 სთ-მდე ხანგრძლივობა. 3. მაღალალუმინატოვანი პორტლანდცემენტები სადაც $C_3A > 9\%$ -ზე მეტია. ასეთი ცემენტის გამოყენება გვამლევს ბეტონის სიმტკიცის განსაკუთრებით ინტენსიურ მატებას თტდ-ის ადრეულ ეტაპზე და შემდეგ სიმტკიცის მატების სწრაფ შენელებას, თტდ-ის ხანგრძლივი რეჟიმებისას. $R_{გაო r T}^{28}$ ნაკლებია R_{bg}^{28} -ზე.

ამიტომ ასეთი ცემენტების გამოყენება ბეტონის თბოტენიანი ნაკეთობებისათვის მიზანშეწონილი არ არის.

4. სწრაფმყარებადი პორტლანდცემენტი – შედარებით უფრო ეფექტურია თტდ-ის მოკლე ვადიანი რეჟიმის დროს (10 სთ-მდე), ის გვამლევს როგორც სიმტკიცის ინტენსიურ მატებას თტდ-ას ასევე სიმტკიცის მაღალ აბსოლუტურ მნიშვნელობებს.

5. რიგითი წიდაპორტლანდცემენტები – დომენის გრანულირებული წიდის 30% მეტი შემცველობით, როგორც წესი იწვევს თტდ-ის დროის გაგრძელებას და ტემპერატურის მომატებას. ამ დროს გვიწევს ცემენტის ხარჯის მომატება 10-15%-ით, რათა მივიღოთ დასახული სიმტკიცე, აგრეთვე ფარდობითი ტენიანობა თტდ-ას უნდა იყოს არანაკლებ 90 %, რადგან ნაკლები ფარდობითი ტენიანობისას ბეტონის სიმტკიცის მატება, თტდ-ის შემდეგ საგრძნობლად მცირდება ან სრულიად წყდება.

6. სწრაფმყარებადი წიდაპორტლანდცემენტი (წიდის შემცველობა 30%-ზე ნაკლები მასის მიხედვით) მოქმედებს ბეტონის სიმტკიცის აკრებაზე – თტდ-ას, როგორც საშუალო ალუმინატოვანი პორტლანდცემენტებისას.

7. პუცილანური პორტლანდცემენტები ანაკრები რკინაბეტონისთვის რეკომენდებული არ არის, რადგან ისინი ზრდიან ბეტონის ნარევის წყალმოთხოვნას. თტდ-ის შემდეგ (მოითხოვს გაზრდილი ცემენტის ხარჯს) იზრდება ჯდენითი და ცოცვის დეფორმაციები.

8. პლასტიფიცირებული ცემენტები – თტდ-ის საწყის პერიოდში ბეტონის სიმტკიცის ნელი მატების გამო, მოითხოვს 6 საათიან დაყოვნებას.

9. არ დაიშვება ნაკეთობების თტდ-ბა თიხამიწოვან ცემენტებზე, რადგან ამ შემთვევაში 20-25°C-ზე მეტ ტემპერატურაზე წარმოიქმნება C_3AH_6 კუბური ფორმის კრისტალები, რომლებიც ვერ უზრუნველყოფს შეჭიდვას შემესებთან.

ცემენტის ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი, ბეტონისთვის, რკინაბეტონის კონსტრუქციებში, რომლებიც განიცდიან თბოტენიან

დამუშავებას, გვევლინება მისი აქტივობა გაორთქლვისას, განსაზღვრული ГОСТ 310.4-ით.

ნიმუშები, ცემენტის აქტივობის დასადგენად თბოტენიანი დამუშავებისათვის მზადდება ისევე, როგორც ცემენტის მარკის დადგენის დროს. იმ განსხვავებით, რომ ფორმებს ნიმუშით ვახურავთ თხელ ფირფიტებს, რომლებიც დამზადებულია კოროზიამდეგი მასალისგან და მსუბუქია, რათა ავიცილოთ ნიმუშების ზედაპირის დაზიანება და მათში კონდენსატის მოხვედრა. ფორმებს ნიმუშებით ვათავსებთ გასაორთქლ კამერებში, სადაც ვაყოვნებთ (120 ± 10) წთ $(20 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე. ხოლო გაორთქლვას ვაწარმოებთ შემდეგი რეჟიმის მიხედვით:

- ტემპერატურის თანაბარზომიერი აწევა $(85 \pm 5)^{\circ}\text{C} \pm \dots (180 \pm 10)$ წთ.
- იზოთერმული გახურება $(85 \pm 5)^{\circ}\text{C} \dots (360 \pm 10)$ წთ.
- ნიმუშების გაცივება გამორთულ დანადგარში $\dots (120 \pm 10)$ წთ.

ვალეზთ კამერის სახურავს, ნიმუშის დამზადებიდან (24 ± 2) სთ შემდეგ ნიმუშებს ვანთავისუფლებთ ფორმიდან და მყისვე გამოვცდით ღუნვაზე და შემდეგ ძელაკის ნახევრებს კუმშვაზე.

ცემენტის აქტივობის ცოდნა თტდ-ას გვიადვილებს ბეტონის შედგენილობების გაანგარიშებას, ცემენტის ზუსტი ხარჯის და თბური დამუშავების რეჟიმების დაზუსტებას – თტდ-ის ხანგრძლივობასა და ენერგორესურსების ხვედრით ხარჯთან მიმართებაში.

აგრეთვე აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნას ეფექტურობის კოეფიციენტი $K_{\text{ef eq}}$

$$K_{\text{ef eq}} = R_{\text{gao r T}} / R_{\text{c}}^{28}$$

სადაც $R_{\text{gao r T}}$ – ცემენტის აქტივობაა გაორთქლვისას, მკა ГОСТ 310.4. R_{c}^{28} – ცემენტის აქტივობა ბუნებრივი გამაგრებით, მკა, 28 დღე/დამის შედეგ. ეფექტურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით ცემენტები იყოფა პირობითად სამ ჯგუფად.

I. მაღალეფექტური $K_{\text{ეფექტ}} = 0,65$ და მეტი.

II. საშუალოდ ეფექტური $K_{\text{ეფექტ}} = 0,57-0,67$.

III. დაბალეფექტური $K_{\text{ფექტ}} = 0,56$ და ნაკლები

დასკვნა: I ჯგუფის ცემენტები ხასიათდება სიმტკიცის სწრაფი მატებით და უზრუნველყოფს 70% სიმტკიცეს ბეტონის კლასიდან (მარკიდან) თტდ-ის 15 საათზე ნაკლები ხანგრძლივობისას. II. ჯგუფის ცემენტები ხასიათდება სიმტკიცის საშუალო მატებით და უზრუნველყოფს 70% სიმტკიცეს ბეტონის კლასიდან (მარკიდან) უფრო ხანგრძლივი თტდ-ის დროს. III ჯგუფის ცემენტები ხასიათდება სიმტკიცის ნელი მატებით. ასეთი ცემენტების ხმარება რეკომენდებული არ არის ანაკრები რკინაბეტონის კონსტრუქციების წარმოებისათვის, რადგან ისინი მოითხოვენ გაზრდილ ცემენტის ხარჯს [25, 26, 27, 28].

1.5. რკინაბეტონის კონსტრუქციებში მიმდინარე დესტრუქციული პროცესების ანალიზი ბეტონის გამაგრების დაჩქარებისას

მაღალტემპერატურაზე საგრძნობლად იცვლება ცემენტის ქვის სტრუქტურა, იზრდება ჰიდრატაციის პროდუქტების კრისტალიზაციის ხარისხი. ტ.ვ. კუზნეცოვის მონაცემებით 25-95°C ტემპერატურულ ინტერვალში ტობერმორიტის გელი თანდათანობით გარდაიქმნება კარგად დაკრისტალეზულ ტობერმორიტის მსგავს ნაერთებად და ქმნიან მსხვილ $Ca(OH)_2$ -ის კრისტალებს. კრისტალურ ფორმებში გამოიყოფა მონოჰიდრო-სულფოალუმინატი და კალციუმის ჰიდროალუმინატი. კრისტალჰიდრატების გამსხვილებას და მეტასტაბილური პროდუქტების დაკრისტალეზის პროცესის (კრისტალიზაციური წნევა, ძაბვა, ბზარები) გამო ცემენტის ქვაში, გამაგრების დროს ვითარდება სხვადასხვა სახის დესტრუქციული პროცესები, რაც ამცირებს მისი სიმტკიცის აბსოლუტურ მნიშვნელობებს, ნორმალურ პირობებში გამაგრებულ ცემენტის ქვასთან შედარებით.

ასე რომ გაორთქლილი ბეტონების თვისებების, განსხვავება ბუნებრივ პირობებში გამაგრებული ბეტონის თვისებებთან შედარებით შემდეგია:

- ბეტონის თბოტენიანი დამუშავებისას ხდება ცემენტის ქვის სტრუქტურის „გაუხეშება“, რადგან მცირდება ცემენტის გელის შემცველობა, გამსხვილებული ჰიდრატული ახალი წარმონაქმნების გამო.

– ცემენტის ქვას და ბეტონს თბოტენიანი დამუშავების შემდეგ აქვთ მომეტებული (7-15%) ფორიანობა, თტდ რეჟიმის პირობებიდან გამომდინარე ცალკეულ შემთხვევებში ფორიანობა შეიძლება გაიზარდოს 2-ჯერ, 100 ნმ რადიუსის და მეტი მოცულობის მაკროფორების გაზრდის ხარჯზე.

ბეტონი ხდება მყიფე, მცირდება სიბლანტე, ბზარმედეგობა, ადგეზიური სიმტკიცე, სიმტკიცე ღუნვაზე, ღერძულ გაჭიმვაზე და არმატურასთან შეჭიდულობა. მომატებული მაკროკაპილარული ფორიანობა ამცირებს ყინვამედეგობას, წყალუჟონადობას, ბეტონის დამცავ თვისებებს ფოლადის არმატურასთან მიმართებაში.

ძირითადი მიზეზი მიკროკაპილარული ფორიანობის მოცულობის ზრდისა ბეტონში, თხევადი და ორთქლიანი ფაზის, არის გაფართოება თბური დამუშავების პირობებში, რაც იწვევს წნევისა და შემდგომ დესტრუქციული პროცესების წარმოქმნას, გამოხატულს გარე მოცულობის ზრდით. ეს პროცესი შეიძლება განვითარდეს თბოტენიანი დამუშავების ყველა ეტაპზე ტენის მიგრაციისა და ტემპერატურის სხვაობის გამო. გახურების სტადიის დრო რკინაბეტონის კონსტრუქციის პერიფერიული უბნები უფრო სწრაფად ხურდება, ტემპერატურის სხვაობამ შეიძლება მიაღწიოს 30-40°C. რაც იწვევს არათანაბარ დეფორმაციებს – გარე ფენები ფართოვდება, ხოლო შიგა ფენები უწევენ წინააღმდეგობას ამ პროცესს. ამის შედეგად, წარმოიქმნება ზედაპირული ბზარები. იზოთერმული ან თერმოსის გახურების სტადიის დროს. ცემენტის ჰიდრატაციის ეგზოთერმიის შედეგად, შიგა ფენების ტემპერატურა შეიძლება იყოს 10-20°C მეტი ვიდრე გარე ფენებისა. გაციების სტადიისას უფრო სწრაფად ცივდება ქვეშის ნაწილი, რომელიც არ არის შეხებაში ნაკეთობასთან, რაც იწვევს ფორმის გაღუნვას და ნაკეთობაში დამატებითი ბზარების წარმოქმნას [29].

დესტრუქციული ცვლილებები შეიძლება ნაწილობრივ გამოსწორდეს ნაკეთობის შემდგომი ბუნებრივი გამაგრების დროს, რომლის ინტენსივობა დამოკიდებულია ცემენტის შემდგომ ჰიდრატაციასთან.

დესტრუქციული მოვლენების მოქმედება ბეტონის სიმტკიცეზე ფასდება დესტრუქციის კოეფიციენტის სიდიდით (K_d) თტდ შემდგომ ბეტონის სიმტკიცის ფარდობა, 28 დღე/ღამის ბუნებრივად გამაგრებული ბეტონის სიმტკიცესთან.

$$K_d = R_{Tbd}^{28} / R_{ng}^{28} .$$

$K_d < 1$ -ზე ნიშნავს, რომ ბეტონში მიმდინარეობს დესტრუქციული პროცესები და ისე უნდა ავაწყოთ თბური დამუშავება, რომ შესრულდეს ტოლობა $K_d \geq 1$. დესტრუქციული პროცესების მიმდინარეობაზე მოქმედებს უამრავი ფაქტორები: დასამზადებელი კონსტრუქციის მასიურობა, ცემენტის, წყლისა და ჰაერის რაოდენობა ბეტონის ნარევიში, მისი გამკვრივების ხარისხი, გახურების დაწყების დრო რკინაბეტონის ნაკეთობის დაყალიბების შემდეგ (წინასწარი დაყოვნების ხანგრძლივობა და ტემპერატურა), გახურების სიჩქარე – ნევილის მიხედვით უნდა იყოს არაუმეტეს 15° -ისა საათში, ხოლო სწრაფი გახურებისას ($50-60^\circ\text{C}$ -მდე საათში) [30].

1.5.1. ბეტონის დეფორმაციის სიდიდის კავშირი სხვადასხვა მოცულობით ცვლილებებთან

ბეტონის დეფორმაციის სიდიდე დაკავშირებულია სხვადასხვა მოცულობითი ცვლილებების მთელ კომპლექსთან, რომლებიც მიმდინარეობს ბეტონში გამაგრების პერიოდში.

- ბეტონის კომპონენტების ტემპერატურული დეფორმაციები.
- ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები შემკვრელის გამაგრებისას (კონტრაქცია, ეგზოთერმია).
- გარე და შიგა თბო და მასაცვლა.
- ჯდენის და ცოცვის დეფორმაციები.

ნარჩენი დეფორმაციების სიდიდე რკინაბეტონის ნაკეთობების თტდ შემდეგ დამოკიდებულია დესტრუქციული პროცესების მიმდინარეობის ინტენსივობაზე, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია რკინაბეტონის ნაკეთობაში ბეტონის საწყის სიმტკიცეზე, თბოტენიანი დამუშავების წინ. საკმაოდ დიდი საწყისი სიმტკიცისას განსაზღვრული ინტენსივობის

თბოდამუშავება არ იწვევს დესტრუქციას ბეტონში. ბეტონის მაქსიმალური გაფართოება პრაქტიკულად ისეთივეა, როგორც აქვს გამაგრებულ ბეტონს.

ბეტონის საწყის სიმტკიცეს თბოდამუშავებისას, როდესაც არ მიმდინარეობს დესტრუქცია, ეწოდება კრიტიკული სიმტკიცე ($R_{კრიტ.}$). თუ ბეტონის ფაქტიური საწყისი სიმტკიცე არ არის კრიტიკულზე ნაკლები, თტდ-ას არ შეიმჩნევა დესტრუქციული პროცესები. $R_{krit} = 0,2-0,8$ მპა-ია, თტდ-ის რეჟიმზე დამოკიდებულებით: რაც მეტია R_{krit} მით მეტი შეიძლება იყოს თტდ დროს გახურების სიჩქარე. ბეტონის მიერ R_{krit} -ის მიღწევის შემდეგ ბეტონის თერმული გაფართოების კოეფიციენტი სტაბილიზირდება და ხდება ტერმული გაფართოების კოეფიციენტი ფოლადთან მიახლოებული, ეს კი უზრუნველყოფს ბეტონისა და ფოლადის ერთდროულ გაფართოებას, გახურებისას და ხელს უწყობს არმატურის შეჭიდვას ბეტონთან. ბეტონის გამაგრების დაჩქარების უზრუნველსაყოფად და დესტრუქციული პროცესების თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია დავნიშნოთ თტდ ისეთი რეჟიმები, რომლის დროსაც გათვალისწინებული უნდა იქნას, გამოყენებული ცემენტებისა და ბეტონების ქცევა მაღალ ტემპერატურაზე. ეს თავის მხრივ დამოკიდებულია:

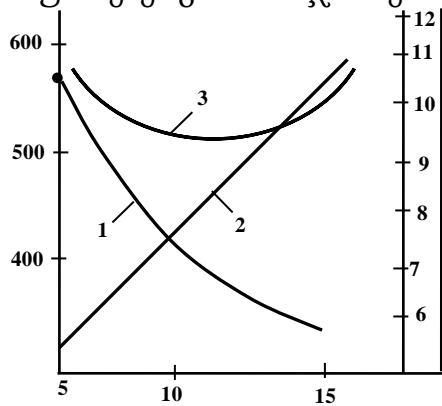
- ცემენტის მინერალოგიურ და ფაზურ შედგენილობაზე, მის წყალმოთხოვნილებაზე ქიმიური და მინერალოგიური დანამატების არსებობაზე.
- ბეტონის ნარევის თვისებებზე – ადვილჩაწყობადობაზე, შემცვლების ფორიანობაზე, ჰაერჩათრევაზე და წყლის შემცველობაზე.
- თბური დამუშავების რეჟიმებზე, ტემპერატურაზე, ორთქლჰაერის ნარევის ტენიანობაზე და ბეტონის საწყის სიმტკიცეზე.
- რკინაბეტონის კონსტრუქციების გახურების პარამეტრებზე, მასიურობაზე, სისქეზე და ზედაპირების ფართობზე (ყალიბის გარეშე), არმირების სიხშირეზე და სხვა.

რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების შერჩეული რეჟიმის სისწორე ფასდება შემდეგი კრიტერიუმებით:

1. ბეტონის გამაგრების დაჩქარების ხარისხი, გასაშვები სიმტკიცის მისაღებად.

2. დესტრუქციული პროცესების განვითარების ხარისხი თბოდამუშავებისას, ბეტონის სტრუქტურის მიღება დეფექტების გარეშე.
3. ბეტონის სიმტკიცის მატება თტდ-ის შემდეგ 28 დღე/დამის ასაკში ნორმალური გამაგრებით, ბეტონის მოთხოვნილი სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად.

ეკონომიკურად მიზანშეწონილია თტდ-ის ისეთი რეჟიმების ჩანიშვნა, რომ მიღწეულ იქნას ბეტონის გადასაცემი, განსაყალიბებელი, გასაშვები სიმტკიცე დროის მოკლე ინტერვალებში, ფორმების ბრუნვადობის ზრდისათვის და თბური ენერჯის ხარჯის შესამცირებლად (ნახ. 1).



ნახ. 1. წიბოვანი ფილების 3X6 ძირითადი მაჩვენებლების ცვლილება გაორთქლვის ხანგრძლივობასთან დამოკიდებულებით $S_{სთ}$.
 1. ცემენტის ხარჯი Π კგ/მ³; 2. ფორმების ლითონტევადობა q კგ/მ³
 3. პროდუქციის თვითღირებულება C ლ/მ³ [31, 32, 22]

1.6. თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების სახეები

თბურ აგრეგატებში ნაკეთობის თბოტენიანი დამუშავება ისეთი რეჟიმებით უნდა განხორციელდეს, რომელიც უზრუნველყოფს საწვავ-ენერგეტიკული რესურსების მინიმალურ ხარჯს და ბეტონის მიერ დასახულ განსაყალიბებელ, გადასაცემ და გასაშვებ სიმტკიცის მიღწევას. ამ დროს არ დაიშვება ცემენტის ხარჯის ზრდა, ბეტონის დასახული სიმტკიცის მისაღწევად მოკლე დროში. თითოეული ამ სიმტკიცეების (განსაყალიბებელი, გადასაცემი და გასაშვები) მისაღწევად ყოველი ნაკეთობის სახეობისათვის უნდა დავადგინოთ ვადები წარმოების კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით.

ნაკეთობების თბოდაამუშავების ციკლის შესამცირებლად და ფორმების ბრუნვის გასაზრდელად აუცილებელია გამოვიყენოთ ქიმიური დანამატები – დამაჩქარებლები, სწრამყარებადი ცემენტები, წინასწარი ორთქლგახურება, ან ბეტონის ნარევის ელექტროგახურება, ორსტადიური თბოდაამუშავება და სხვა. წინასწარდამბული კონსტრუქციებისათვის, ძალოვან ფორმებში ორსტადიური დამუშავება დაიშვება მხოლოდ სპეციალური დასაბუთებით.

თტდ-ის რეჟიმები დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორებზე და მხოლოდ ამ ფაქტორების გათვალისწინებით ვიღებთ ხარისხიან პროდუქციას. ძირითადი მიზეზები, რომლებიც მოქმედებს თტდ რეჟიმის შერჩევაზე არის:

- ბეტონის საწყისი სიმტკიცე თტდ-ის წინ.
- ბეტონის სიმტკიცე თტდ-ის შემდეგ.
- ნაკეთობის მასიურობა ზედაპირის მოდულის სიდიდით $m = S/V$, სადაც S – მთელი ზედაპირის ფართობია m^2 , V – ნაკეთობის მოცულობაა m^3 .
- ჭარბი წნევა თტდ-ის კამერებში, ფარდობითი ტენიანობა.
- გახურების სიჩქარე, ტემპერატურა და იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლივობა ან თერმოსის დაყოვნება.
- ცემენტის სახე, მინერალოგიური შედგენილობა და აქტივობა, მასში დანამატების არსებობა და რაოდენობა.
- წყ/ც და ბეტონის ნარევის ძვრადობა.
- მოთხოვნები ბეტონისადმი ყინვამედეგობაზე, წყალუქონადობაზე და სხვა.

თტდ-ის ფართოდ გავრცელებული რეჟიმი მოიცავს 3 ეტაპს:

- ტემპერატურის აწევა პროგრესულად მზარდი სიჩქარით. თბომატარებელი უზრუნველყოფს კამერის და ნაკეთობის გახურებას მუდმივი სიჩქარით;
- იზოთერმული დაყოვნება, რომლის დროსაც კამერაში შენარჩუნებულია მუდმივი ტემპერატურა. თბომატარებლის მიწოდების გათიშვა, ნაკეთობის გაცივება კამერაში.

ამ რეჟიმის მოკლე ჩანაწერია 3+6+2, 80°C. თტდ-ის ყველა ეტაპზე აუცილებელია ტემპერატურის და ტენიანობის კონტროლი კამერაში.

საპასუხისმგებლო რკინაბეტონის ნაკეთობებისათვის, წინასწარ-დაძაბული არმატურით შეიძლება გამოვიყენოთ ორსაფეხურიანი რეჟიმი, რომელიც მოიცავს რამოდენიმე ეტაპს. 1 ეტაპი – ნელი გახურება 40°C. 2 ეტაპი – დაყოვნება მუდმივ ტემპერატურაზე, არმატურის ბეტონთან კარგი შეჭიდულობისათვის. 3 ეტაპი – ინტენსიური ტემპერატურის აწევა 70-80°C. 4 ეტაპი – დაყოვნება მაქსიმალურ ტემპერატურაზე. 5 ეტაპი – თბომატარებლის სითბოს გათიშვა, ორთქლის გაწოვა კამერიდან და მოკლევადიანი ერთდროული გაცივება ნაკეთობის და კამერის. ამ რეჟიმის მოკლე ჩანაწერია 2+3 (40°C) + 2 + 4 (80°C) +2.

წინასწარი დაყოვნება უმატებს ბეტონს სიმტკიცეს და ხისტი ნარეგებისათვის შეადგენს 2 სთ-ს, ხოლო ძვრადი ნარეგებისათვის – 6 სთ. ბეტონის საწყისი სიმტკიცის წყალობით ნაკეთობა შეიძლება გავახუროთ უფრო სწრაფად და დესტრუქციული მოვლენები ავიცილოთ თავიდან.

თტდ-ების რეჟიმები, ტემპერატურის აწევის პროგრესულად მზარდი ან საფეხურებრივი სიჩქარით, გვაძლევს საშუალებას 2-3 სთ-ით შევამციროთ თტდ-ის ხანგრძლივობა, რაც პროდუქციის თვითღირებულების 6-7 %-ით შემცირების საშუალებას გვაძლევს.

სათბობი ენერჯის ხარჯის ეკონომიისათვის და თბოდანაკარგების შესამცირებლად საჭიროა მიღებულ იქნას შემდეგი ზომები:

- კამერების, თერმოფორმების და კასეტური დანადგარების თბოიზოლაცია
- კამერების და თბონაკვეთურების ჰერმეტიულობა;
- თბომატარებლის მილგაყვანილობის ჰერმეტიულობა და თბოიზოლაცია.
- საიმედო შემჭიდროება ტორსის ღიობების, ხვრელის კამერებში [34, 35, 36].

დასკვნა: თტდ-ის ხანგრძლივობის შესამცირებლად საჭიროა გამოვიყენოთ სწრაფმყარებადი ცემენტები, გამაგრების დამაჩქარებელი დანამატები, წინასწარი ელექტრო ან ორთქლგახურება ბეტონის ნარევის, ორსტადიური თტდ-ის რეჟიმი და სხვა.

ნაკეთობის წინასწარი დაყოვნება საჭიროა, რათა ბეტონმა თბოდამუშავებამდე შეიძინოს საწყისი (კრიტიკული) სიმტკიცე, რადგანაც

სითბოს მოქმედებისას არ დაიშალის ბეტონის სტრუქტურა. გარდა ამისა, სწრაფი გახურება დაყალიბების შემდეგ იწვევს ცემენტის მარცვლების გარშემო გარსების ნაადრევ გამკვრივებას, რეაქციის შენელებას და ცემენტის არასაკმარის გამოყენებას. ამიტომ გარემოს ტემპერატურაზე წინასწარი დაყოვნება აუცილებელია ნაკეთობის ღია ზედაპირით პლასტიფიცირებულ და ჰიდროფობულ პორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონისათვის. წყალცემენტის ფარდობის შემცირებისას, ცემენტის მარკისა და გარემოს ტემპერატურის ზრდისას, წინასწარი დაყოვნების ვადა მცირდება.

წინასწარი დაყოვნება შეიძლება არ გამოვიყენოთ შეკვრის დამაჩქარებლების გამოყენებისას, ხისტი ნარევებისას, ჰერმეტიკული ყალიბების შემთხვევაში და ხანგრძლივი ვადით გახურებისას.

ტემპერატურის აწევა ბეტონის თბური დამუშავებისას ძალიან საპასუხისმგებლო ეტაპია, რადგანაც ბეტონის სტრუქტურის შესაძლო რღვევა მიმდინარეობს თბური დამუშავების ამ სტადიაზე.

გარემოს ტემპერატურა იწვევს კამერაში როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი სიჩქარით. პირველ შემთხვევაში ტემპერატურის აწევის სიჩქარე უნდა იყოს არაუმეტეს 30 გრად/სთ ხისტი და 20 გრად/სთ დენადი ნარევებისას. ზოგიერთ შემთხვევაში ბეტონის წინასწარი დაყოვნება არ არის მიზანშეწონილი ან ძნელად განსახორციელებელია (მაგალითად, რთული მოხაზულობის ნაკეთობების გაორთქელისას ბევრი ჩასატანებელი დეტალით), რადგანაც იწვევს ტემპერატურულ-შეკლების ბზარებს. ამ პირობებში იყენებენ ტემპერატურის აწევის პროგრესულად მზარდ სიჩქარეს.

ასეთი რეჟიმების არსი ითვალისწინებს ტემპერატურის აწევის სიჩქარის ზრდას ბეტონის საწყისი სიმტკიცის ზრდის შესაბამისად: პირველ საათში – 10 გრად/სთ, მეორეში – 15 გრად/სთ, შემდგომ საათებში – 20-30 გრად/სთ. 1-1,5 საათში ტემპერატურას ვწევთ 30-40°C-მდე, ნაკეთობას ვაყოვნებთ ამ ტემპერატურაზე 1-3 სთ, ხოლო შემდეგ ტემპერატურას ინტენსიურად ვზრდით მაქსიმუმამდე (ტემპერატურის საფეხურიანი ზრდა). მე-2 ცხრილში მოცემულია ტემპერატურის აწევის სიჩქარის მნიშვნელობები, ბეტონის საწყისი სიმტკიცის მიხედვით.

ტემპერატურის აწევის სიჩქარე ბეტონის საწყისი
სიმტკიცის მიხედვით

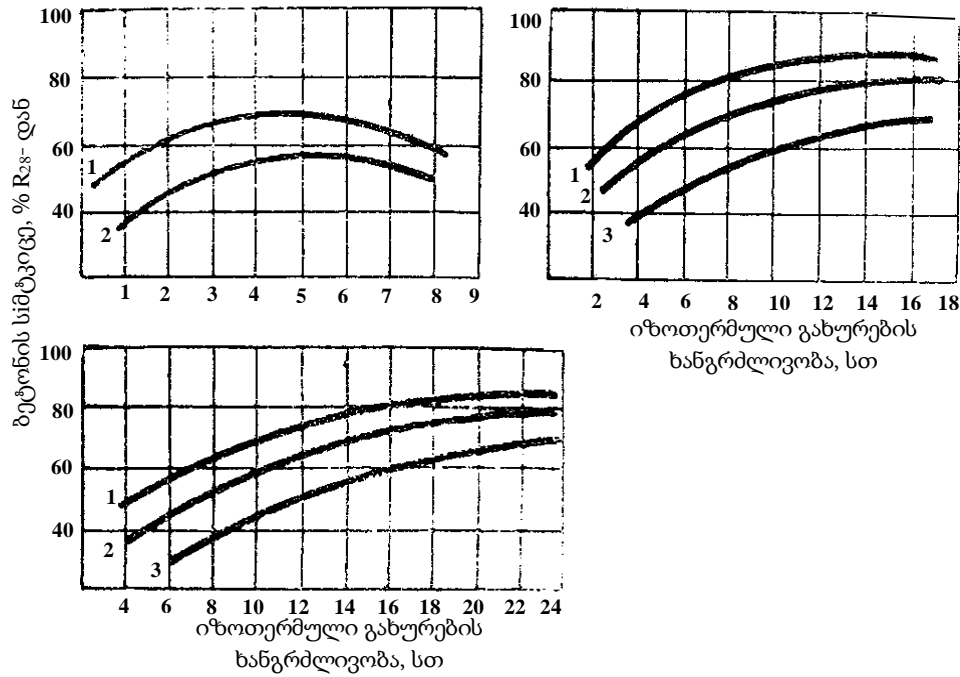
ბეტონის საწყისი სიმტკიცე (კუმშ- ვისას), მგპა	ტემპერატურის აწევის სიჩქარე კამერაში, გრად/სთ	ბეტონის საწყისი სიმტკიცე (კუმშ- ვისას), მგპა	ტემპერატურის აწევის სიჩქარე კამერაში, გრად/სთ
0,1–0,2	10–15	0,4–0,5	25–35
0,2–0,4	15–25	0,5–0,6	35–45
		0,6	45–60

ტემპერატურის აწევის სიჩქარის არასწორი შერჩევასა და ნაკეთობის კვეთში წარმოიქმნება ტემპერატურის სხვაობა და ვითარდება დესტრუქციული პროცესები. დესტრუქციული პროცესების შესასუსტებლად და თბური დამუშავების ხანგრძლივობის შესამცირებლად იყენებენ წინასწარ გახურებულ ნარევეს. მონოლითური კონსტრუქციების აგებისას ფართოდ გამოიყენება ბეტონის ნარევების ელექტროგახურება.

მსხვილპანელური სახლთმშენებლობის პირობებში ცხელი ნარევების გამოყენება იწვევს ყალიბების ლითონტევადობის შემცირებას 2-3 კგ/მ³. ცხელი ნარევებით დამზადებულ ნაკეთობების ზედაპირზე გამორიცხულია ბეწვა ბზარები, ჩქარდება ეგზოთერმული სითბოს გამოყოფა, რაც ამცირებს სათბობი ენერჯის ხარჯს.

იზოთერმული გახურება. თბოტენიანი დამუშავების ძირითად სტადიას, რომლის დროსაც მიმდინარეობს ბეტონის სიმტკიცის ინტენსიური აკრება, წარმოადგენს იზოთერმული გახურება (ნახ. 2).

იზოთერმული გახურების ოპტიმალური ტემპერატურა 80-85°C-ია. ტემპერატურის შემდგომი ზრდა არ იწვევს ბეტონის სიმტკიცის მატებას. თუმცა შეუძლია დააჩქაროს მისი გამყარება პირველ საათებში. ამასთან ერთად შენელებულია სიმტკიცის მატება გაორთქვლის შემდეგ, რის შედეგადაც გაორთქლილი ბეტონი 28 დღე-ღამის ასაკში ნაკლები სიმტკიცისაა, ვიდრე ნორმალური გამყარების ბეტონი. თუ ტემპერატურა დაბალია, მაშინ იზოთერმული გახურების დრო მნიშვნელოვნად იზრდება. რაც არასასურველია კამერების, ყალიბების და სხვა მოწყობილობების მობრუნებადობის შემცირების გამო.



ნახ. 2. პორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონის სიმტკიცის მატება

ა – $t=100^{\circ}\text{C}$; ბ – $t=80^{\circ}\text{C}$; გ – $t=60^{\circ}\text{C}$; 1 – ბეტონის ნარევის სიხისტე 100 წმ; 2 – იგივე, 30-60 წმ; 3 – კონუსის ჯდომა 3 სმ.

ნელგამყარებადი კომპოზიციური ცემენტის გამოყენებისას (წიდა-და პუცოლანიაანი პორტლანდცემენტები და სხვა) იზოთერმული გახურების ოპტიმალური ტემპერატურა $90-95^{\circ}\text{C}$ -ია (100°C -მდეც), ამ შემთხვევაში, როგორც წესი, გაორთქლილი ბეტონის სიმტკიცე აჭარბებს კიდევ ნორმალურ ტემპერატურაზე გამყარებულ ბეტონის სიმტკიცეს.

იზოთერმული გახურების ხანგრძლივობას განსაზღვრავენ ბეტონის საჭირო სიმტკიცის მიხედვით გაორთქლის შემდეგ, ოპტიმალურ დროდ მიჩნეულია 4-10 სთ 80°C ტემპერატურისას, წ/ც და ცემენტის სახისა და მარკის შესაბამისად. იზოთერმული ხანგრძლივობის შემდგომი ზრდისას ბეტონის სიმტკიცე ნელა მატულობს. მე-3 ცხრილში მოცემულია სხვადასხვა სიმტკიცის მძიმე და მსუბუქი ბეტონის თბური რეჟიმები.

ბეტონის გაცივების პერიოდი საგრძნობლად განაპირობებს რკინაბეტონის ნაკეთობების ხარისხს, რადგანაც ამ პერიოდში უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ტემპერატურის ნელი და თანაბარი დაწევა. ნაკეთობის მთელ კვეთში, ტემპერატურული სხვაობა კამერიდან

ნაკეთობის ამოღების მომენტში, მის ზედაპირსა და გარე ჰაერის ტემპერატურას შორის არ უნდა აღემატებოდეს 40-45°C. გაორთქვლის პროცესში კამერაში შენარჩუნებული უნდა იქნეს ჰაერის 100 %-იანი ფარდობითი ტენიანობა; რათა გამყარებად ბეტონსა და კამერის გარემოს შორის შეიქმნას ტენიანი წონასწორობა.

ცხრილი 3

მძიმე ბეტონის ნაკეთობების თბური დამუშავების რეჟიმები

ნაკეთობის სისქე, მმ	ბეტონის საპროექტო მარკა, მგპა	თბური დამუშავების რეჟიმი, სთ, იზოთერმული დაყოვნება 80...90°C
200 მმ-მდე	20 და ნაკლები	3<5+7,5+1,5
	30-40	3+6+2
	50-60	3+5+2
200-400	20 და ნაკლები	3,5+9+2,5
	30-40	3+7,5+2,5
	50-60	3+6+2,5
400 მმ-ზე მეტი	20 და ნაკლები	3,5+8,5+3
	30-40	3+8+3
	50-60	3+6,5+3

ტემპერატურის შემცირების დასაშვები სიჩქარე მერყეობს 25-50°C/სთ-მდე ზღვრებში, მისაღები სიმტკიცისა და ნაკეთობის სისქის შესაბამისად. ამასთან ამ რეჟიმმა არ უნდა გამოიწვიოს 40°C-ზე მეტი ტემპერატურული სხვაობა ნაკეთობის ზედაპირსა და გარემოს შორის.

ნაკეთობების გაორთქვლისას, რომლებსაც წაყენება გაზრდილი მოთხოვნები ყინვაგამძლეობაზე, სასურველია გამოვიყენოთ უფრო რბილი რეჟიმები: წინასწარი დაყოვნება 5-8 სთ, ტემპერატურის აწევა კამერაში, სიჩქარით არაუმეტეს 10-15°C საათში, იზოთერმული დაყოვნება გაცივება ნაკეთობის ღია ზედაპირების წყლით დატენიანებით, ტემპერატურის რეგულირებით.

წინასწარდამატებული რკინაბეტონის თბოტენიანი დამუშავებისას საჭიროა არა მარტო სიმტკიცის მიღება, არამედ ბეტონში ბზარების წარმოქმნის თავიდან აცილება მისი არათანაბარი გახურების და გაცივების შედეგად.

ტემპერატურული ბზარების თავიდან ასაცილებლად ყალიბებს წინასწარ ვახურებთ; როცა ბეტონის სიმტკიცე მიაწევს 3 მგპა-ს ვხსნით

ფიქსატორებს, ე.ი. ნაკეთობას ნაწილობრივ განაყალიბებენ, ლითონის ყალიბებში აწყობენ მოსახსნელ სადებებს და ტემპერატურულ ნაკერებს [37, 38, 39].

1.7. თტდ-ის პერიოდული მოქმედების კამერები

СНИП 3.09.01–85 თბოაგრეგატები პერიოდული ან უწყვეტი მოქმედების, მათ შორის ორმოსებრი, გვირაბისებრი და ხვრელისებური, თერმოფორმები, კასეტები, სტენდები, ჰელიოფორმები და სხვა. თბომატარებლები (წყლის ორთქლი, ცხელი წყალი, ელექტროენერგია, ცხელი ჰაერი, ბუნებრივი აირის წვის პროდუქტები, მაღალტემპერატურული ზეთები, მზის ენერგია და ა.შ). ყველა ზემოთჩამოთვლილი შერჩეული უნდა იქნეს ტექნოლოგიური ხაზების ტიპის (კონვეიერული, ნაკადულ-აგრეგატული, კასეტური, სტენდური) ნაკეთობის კონსტრუქციების, ტექნიკურ-ეკონომიკურ მიზანშეწონილობისა და კლიმატური პირობების გათვალისწინებით, ნორმატიულ-ტექნიკურ დოკუმენტაციასთან შესაბამისობაში.

ანაკრები რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავება წარმოების ნაკადულ-აგრეგატული სქემის პირობებში ძირითადად ხორციელდება, ნაჯერი წყლის ორთქლით, ან ორთქლაირის ნარევით ორმოებრ ან გვირაბისებრ, პერიოდული ან უწყვეტი მოქმედების კამერებში. ეს ეხება რკინაბეტონის ნაკეთობების ფართო ნომენკლატურას. ნაკეთობების გაორთქლვა მიმდინარეობს ფორმებიანად.

ფართოდ გამოყენებულია ორმოსებრი კამერები, რომლებიც გამოირჩევა საიმედოობითა და სიიოლით ექსპლუატაციის დროს. ასეთ კამერებში იწარმოება პროდუქციის 60% მთელი წარმოებული პროდუქციის.

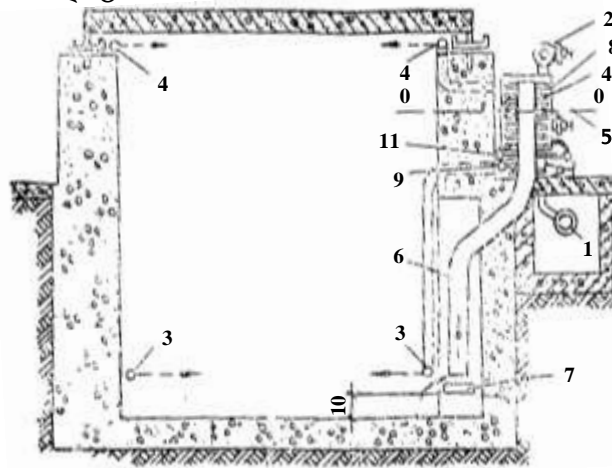
ორმოს ტიპის მრავალსექციური კამერა (ნახ. 3) ჩაღრმავებულია საამქროს იატაკში, უმეტესად 2/3–4/5 სიმაღლეზე, სადაც დაყალიბებული ნაკეთობები გადის თბოტენიან დამუშავებას.

კამერის იატაკი დახრილი უნდა იყოს კონდენსატის ჩადინებისათვის, იგი აღჭურვილია ჰიდროსაკეტით და მიერთებულია კონდენსატის

ზევით და ქვემოთ ორი პერიფორირებული მილით.

სტენდური ტექნოლოგიის შემთხვევაში თბურ დამუშავებას იყენებენ მსხვილზომიანი ნაკეთობების დამზადებისას, როცა შეიძლება გადასაადგილებელი ყალიბების გამოყენება. ამ ხერხის გამოყენების დროს ნაკეთობას აყალიბებენ უშუალოდ სტენდზე, რომელიც წარმოადგენს მცირე სიღრმის ორმოს კამერას.

სტენდებზე გამხურებელი ძროთი 120-200 მმ სისქის ზედაპირიდან 60-70 მმ სიღრმეზე ჩაწყობილია 25-32 მმ დიამეტრის გამახურებელი მილები, რომლებშიც გადის ორთქლი ან ცხელი წყალი. ფილის ქვეშ მოთავსებულია მშრალი წიღის 300-400 მმ სისქის თბოსაიზოლაციო შრე. ქვედის ფილას აქვს ჰიდროიზოლაცია.

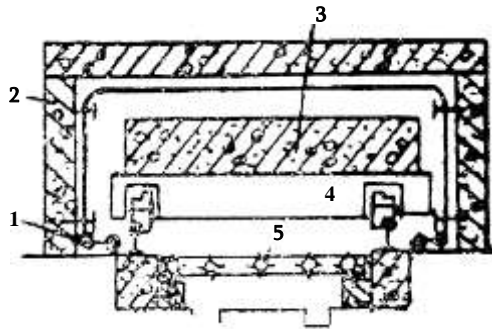


ნახ. 5. სისტემის უდაწნეო გასაორთქლი კამერა.

- 1 – მაგისტრალური ორთქლსადენი; 2 – პირდაპირი მოქმედების რეგულატორი;
- 3,4 – შესაბამისად ქვედა და ზედა პერიფორირებული მილები; 5 – ორთქის ზონის ქვედა საზღვარი კონდენსატორში; 6 – უკუმბილი; 7 – ჰიდრაულიკური სარქველი;
- 8 – საკონტროლო კონდენსატორი; 9 – ცივი წყალი წყალსადენიდან;
- 10 – გაცხელებული წყალი საკონტროლო კონდენსატორიდან;
- 11 – სქელი სპილენძის მილი

სტენდზე ნაკეთობის დაყალიბების დამთავრებისთანავე კამერის სახურავის ქვეშ გაატარებენ ორთქლს. თბოტენიანი დამუშავებისას ორთქლის ხარჯი სტენდზე გასაორთქლ კამერაში დამუშავებასთან შედარებით მეტია (400-1000 კგ/მ³). რადგანაც იზრდება დანაკარგები გარემოში.

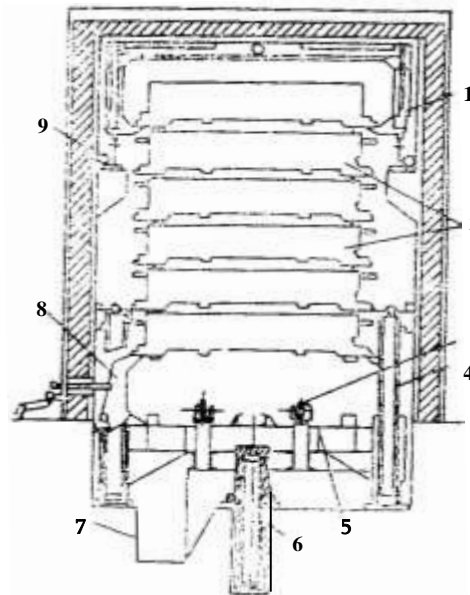
წარმოების კონვეიერული სქემის დროს რკინაბეტონის კონსტრუქციების თბურ დამუშავებას აწარმოებენ უწყვეტი მოქმედების დანადგარებში. მათ მიეკუთვნება გვირაბისებრი ხვრელური და ვერტიკალური კამერები.



ნახ. 6. ხვრელური კამერა.

- 1 – პერფორირებული მილები; 2 – კამერის კედლები;
 3 – ნაკეთობა; 4 – ვაგონეტი-ქვეში; 5 – რეგისტრები
 გლუვი მილებისაგან.

თბური დამუშავების ხანგრძლივობა, კონვეიერის რიტმის მიხედვით, შეადგენს 9-12 სთ, ორთქლის კუთრი ხარჯი 200-250 კგ 1 მ³ მკვრივ ბეტონზე. უწყვეტი მოქმედების ვერტიკალური კამერებში (ნახ. 7) ნაკეთობებიან ყალიბ-ვაგონებს სპეციალური საწვევლებით აწევენ ჯერ ზევით, თბური დამუშავების სხვადასხვა ზონაში, შემდეგ უშვებენ ძირს და გამოტვირთავენ კამერიდან.



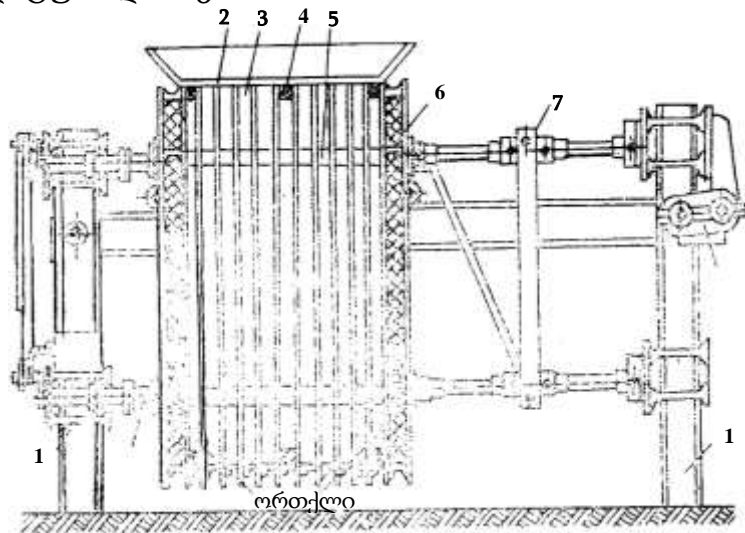
ნახ. 7. ვერტიკალური ტიპის კამერის განივი ჭრილი.

- 1 – გადამცემი ურიკა; 2 – ნაკეთობებიანი ყალიბები; 3 – როლგანგი
 4 – მიმმართველი სვეტები; 5 – ჰიდროსაწვეველას მაგიდა; 6 – ყვინთას
 ცილინდრი; 7 – თხრილი კონდენსატი ჩამონადენისათვის; 8 – წამკვეთი;
 9 პერფორირებული ორთქლსადინარი.

კამერა აღჭურვილია ავტომატური რეგულირების სისტემით. აქვს მდგრადი თბური რეჟიმი, რაც უზრუნველყოფს ორთქლის განსაკუთრებით დაბალ ხარჯს (100-120 კგ 1 მ³ ბეტონზე) სხვა ტიპის კამერებთან შედარებით.

1.8. კონტაქტური გახურება

ნაკეთობაზე სითბოს კონტაქტური გადაცემით თბური დამუშავება ხდება კასეტურ დანადგარებში. ამჟამად უპირატესად გავრცელებულია ვერტიკალური კასეტური დანადგარები (ნახ. 8), რომლებზეც ამზადებენ საბინაო მშენებლობისათვის საჭირო ნაკეთობების დიდ ნაწილს, კერძოდ ბრტყელ და რთული ფორმის ნაკეთობებს. კასეტურ დანადგარებში თბოგადამტანად შეიძლება გამოვიყენოთ ორთქლი, ცხელი წყალი, აირი, პეტრალატუმი და სხვ.



ნახ. 8. მექანიზებული კასეტური დანადგარი

- 1 – სადგარი; 2 – გამყოფი კედელი; 3 – პანელების დასაყალიბებელი ნაკვეთური; 4 – ორთქლის ნაკვეთური; 5 – მაფიქსირებელი საბრჯენები; 6 – ნაპირა გამთბარი კედელი; 7 – კასეტის შემკუმში მექანიზმი; 8 – ამრავი; 9 – საბრჯენი კმამომჭერი ხრახნი.

დღევანდელ პირობებში კასეტურ ტექნოლოგიაში გახურებისათვის ფართოდ გამოიყენება დაბალი წნევის წყლიანი ორთქლი. ნაკეთობის ორთქლით გახურებისას ბეტონი თბება თბური ნაკვეთურებისაგან, რომლებიც ავსებულია ორთქლით. ყოველ წყვილ ნაკვეთურს შორის შეიძლება განლაგდეს ერთი ან რამდენიმე საყალიბო ნაკვეთური.

ორთქლის ნაკვეთურების კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა ნაკეთობა გავახუროთ 95-100°C ტემპერატურამდე, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს პროცესის ხანგრძლივობას, ბეტონის ნარევის გახურების დროის შესამცირებლად კასეტის საყალიბო ნაკვეთურებში გახურება ხდება მაღალი წნევის წყლის ორთქლით. თბური ნაკვეთურების კონსტრუქცია ასეთი გახურებისას გაანგარიშებული უნდა იყოს ორთქლის 0,8-1,2 მგპა წნევაზე.

წარმოების კასეტურ ტექნოლოგიას აქვს მთელი რიგი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. კასეტური ტექნოლოგიით დამზადებული ნაკეთობები მაღალი სიზუსტისაა, ამასთან მათი ზედაპირი გამოირჩევა კარგი ხარისხით. ბეტონის კონტაქტური გახურება დახურულ სივრცეში ქმნის ბეტონის სტრუქტურის ფორმირების უფრო ხელსაყრელ პირობებს და საშუალებას იძლევა 10-20%-ით გაიზარდოს სიმტკიცე, ღია ყალიბებში გაორთქლილი ბეტონის სიმტკიცესთან შედარებით. ნაკეთობები კასეტებში შეიძლება დამუშავდეს წინასწარი დაყოვნების გარეშე, ამასთან ბეტონის მცირე ღია ზედაპირის გამო დასაშვებია ტემპერატურის აწევის მაღალი სიჩქარე 60-70°C საათში, ბეტონის ტემპერატურა კი აღწევს 100°C, ნაცვლად 85-90°C-ისა, რომელიც ვითარდება ჩვეულებრივ ორმოს ტიპის კამერებში.

ნაკეთობების კონტაქტური გახურება ხდება აგრეთვე ჰორიზონტალურ თერმოყალიბებში. ვერტიკალური თერმოყალიბებისაგან განსხვავებით, ჰორიზონტალურ ყალიბებში თბური დამუშავებისას აღწევენ ნაკეთობის გახურების დიდ ერთგვარობას [40, 41, 42].

1.9. მაღალეფექტური მაპლასტიფიცირებელი დანამატები

სუპერპლასტიფიკატორები სპეციალურად შექმნილი ორგანული ნაერთებია, რომელთა გამოყენება ოპტიმალური დოზებით გვაძლევს შესაძლებლობას მივიღოთ მცირედძვრადი ნარევიდან, კონუსის ჯდენით 2-4 სმ. ძლიერძვრადი (სხმული) ბეტონის ნარევი, სიმტკიცის კლების გარეშე, როგორც ბუნებრივი გამაგრებით, ისე თბოტენიანი დამუშავების შემდეგაც (ГОСТ 24211-80).

სუპერპლასტიფიკატორის თვისებები ზუსტად განსაზღვრულია რეგლამენტით და მათი სინთეზი მიმდინარეობს სპეციალური ტექნოლოგიით. მიუხედავად იმისა, რომ ისინი შედარებით ძვირადღირებულია, მათი გამოყენება ფრიად რენტაბელურია – აიოლებს ბეტონის სამუშაოებს და ზრდის პროდუქციის ხარისხს. სუპერპლასტიფიკატორის სახეობის ამორჩევას ვხელმძღვანელობთ იმ პრინციპით, რომ მივიღოთ მაქსიმალური ეკონომიკური ეფექტი, კონკრეტულ პირობებში, კონკრეტული ნაკეთობებისათვის.

სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენებით (ცხრ. 4) საგრძნობლად იზრდება ბეტონის ნარევის ძვრადობა, რაც ზრდის ადვილჩაწყობადობას. ნაკეთობების დაყალიბებისას: მცირდება ასადულებებელი წყლის ხარჯი, იზრდება მასალის მედეგობა ჰიდროფიზიკური ზემოქმედებისადმი, კერძოდ ყინვამედეგობისადმი; მცირდება ცემენტის ხარჯი 20%-მდე; მცირდება ენერგოდანახარჯები 1,4-2,4-ჯერ ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავებისას. იოლდება მაღალი სიმტკიცის ბეტონების დამზადება; მცირდება ვიბროდაყალიბების დრო, რაც ზრდის მწარმოებლობას და აუმჯოსებს სამუშაო პირობებს.

ცხრილი 4

სუპერპლასტიფიკატორები ბეტონისა და დუღაბის ნარევებისათვის

დასახელება	პირობითი აღნიშვნა	ტექნიკური პირობები	ხარჯი ცემენტის მასიდან %-ში
სულფინირებული მელამინფორმალდეჰიდური ფისები	10-03 KM-30	44-3-505-81 6-05-19 26-82 L 10/33	0,3 – 0,9 0,3 – 0,9 0,3 – 0,9
სულფინირებული ნაფტალინოფორმალდეჰიდური ფისები	C-3 30-03 40-03	6-14-625-80 38-02-58-82	0,4 – 1 0,4 – 1 0,4 – 1
მოდIFIცირებული ლიგნოსულფონატი	MJC MTC-1	38 302111 –81 38 30287 – 79	0,3 – 0,6 0,3 – 0,6

რაციონალურია სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენება ნაგებობების მონოლითური მშენებლობის დროს, ხშირი არმირების კონსტრუქციებში, რთული კონფიგურაციის ბეტონის ნაკეთობებისათვის, ნაკეთობებისათვის ზედაპირის მაღალი ხარისხით, გადახურვის ფილებისათვის, კედლის

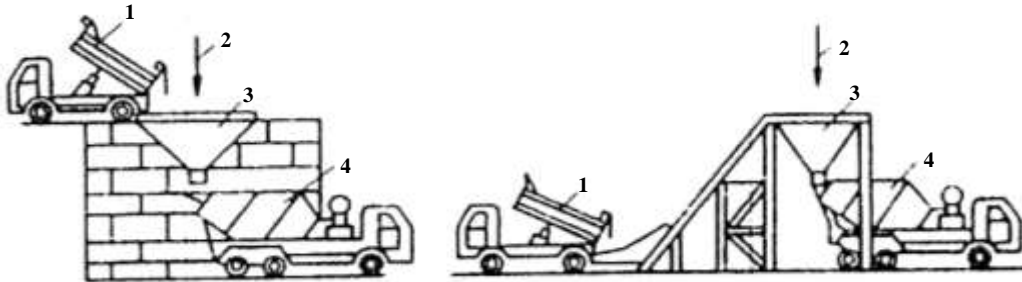
პანელებისა და მასიური კოლონებისათვის. ვიბროჰიდროდაწნეხილი მილებისათვის, წინასწარ დამაბული ფერმებისა და ნაკეთობებისათვის და სხვა. უნდა აღინიშნოს, რომ ქიმიური დანამატების გამოყენება მეტად არის დამოკიდებული კონკრეტულ საწარმოო პირობებზე. ამიტომ მისი გამოყენების წინ უნდა დაზუსტდეს მისი ოპტიმალური დოზირება კონკრეტული საწარმოო პირობებისათვის და დაკორექტირდეს ბეტონის შედგენილობა.

1.9.1. დანამატების მოქმედება ბეტონის და დულაბის თვისებებზე და მათი დამზადების ტექნოლოგიურ პროცესებზე. ბეტონის და დულაბის ნარევების ხანგამძლეობის გაზრდა

ბეტონის და დულაბის ნარევების ძვრადობას ვზრდით, რათა შევინარჩუნოთ ნარევები გათხევადებულ მდგომარეობაში, დიდი დროის განმავლობაში; ასეთი ბეტონის (დულაბის) ნარევები ინარჩუნებენ მოთხოვნილ ადგილჩაწყობადობას ბევრად უფრო ხანგრძლივი დროის მანძილზე, ვიდრე ბეტონები ქიმიური დანამატების გარეშე. ხანგამძლე ნარევების გამოყენება საშუალება გვაძლევს: გადავზიდოთ ისინი შორ მანძილზე და ამით შევამციროთ ახალი ბეტონის საწარმოების შექმნა; გავაუმჯობესოთ დაარმატურების, საყალიბო და ბეტონის სამუშაოების ორგანიზაცია, მონოლითური კონსტრუქციების აგებისას; გავაფართოვოთ დაბეტონების ფართები; გავაუმჯობესოთ კონსტრუქციების მონოლითურობის ხარისხი. მიქსერების მუშაობის ორგანიზების გაიოლების შესაძლებლობას; შევამციროთ წლის ხარჯი ბეტონის გამაგრების პერიოდში ცხელი და მშრალი კლიმატის პირობებში; გავზარდოთ ნაკეთობების ხარისხი, გავაუმჯობესოთ მათი ზედაპირები; გავზარდოთ შრომის მწარმოებლობა და შევამციროთ ენერგოდანახარჯები წარმოებაში, განსაკუთრებით ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების დროის შემცირებით.

ნარევებს წარმოების გარდა ამზადებენ ბეტონსარევ დანადგარებში და ავტობეტონსარევ მანქანებში (მიქსერებში). ბეტონის ნარევები, რომლებსაც

აწყოვენ ბეტონტუმბოებით უნდა აკმაყოფილებდნენ მოთხოვნებს წარმოდგენილს „ბეტონის ნარევის ჩაწობის სახელმძღვანელო ბეტონტუმბოებით (პომპებით)“ [43]. ეს სამუშაოები მოითხოვენ განსაკუთრებულ ყურადღებას, შეინარჩუნონ ეს თვისებები დიდი დროის განმავლობაში (ნახ. 9).



ნახ. 9. ბეტონის ნარევის გადატვირთვის მეორადი არევის სქემა ბუნკერში ან სკრიპერ დანადგარში

1 – ავტოთვიტიმცლელი; 2 – სუპერპლასტიფიკატორი;
3 – ბუნკერი; 4 – ავტობეტონსარევი (მიქსერი)

1.9.2. ქიმიური დანამატების მოქმედება ბეტონისა და დულაბის ნარევის ერთგვარობაზე

როგორც ცნობილია ბეტონები და დულაბები შედგება განსხვავებული ფაზებისგან: წვრილი და მსხვილი შემვსებები, ცემენტი, რომელიც სხვადასხვა ტიპის კრისტალებისგან და მინისებრი ზონებისგან შედგება. სამშენებლო მასალათმცოდნეობაში ამ მასალებთან მიმართებაში იხმარება ტერმინი „ერთგვაროვნება“. ამით ახასიათებენ ამ მასალების ერთგვარობას ანუ რამდენად აქვთ ნაკეთობების ცალკეულ ზონებს სიმტკიცის, სიმკვრივისა და სხვა მახასიათებლები.

ერთგვარობის ხარისხი მეტწილად განსხვავდება ბეტონების სიმტკიცესა და ხანგამძლეობას. მასალის რღვევა ყველაზე სუსტი ადგილებიდან იწყება. თუ ბეტონს აქვს საშუალო სიმტკიცე R , მაშინ მისი ცალკეული უბნები განსხვავდებიან სიმტკიცის მიხედვით $(R+\Delta R)$ -დან $(R-\Delta R)$ -მდე ზღვრებში. რაც ნაკლები ΔR , მით მეტია მასალის ერთგვარობის ხარისხი, ასეთ პირობებში ყველა ნაკეთობა დატვირთვისას დაირღვევა ყველაზე სუსტ ადგილზე $(R-\Delta R)$. შესაბამისად არაერთგვაროვანი მასალა ნაკლებად ხანგამძლეა.

ბეტონის და დუღაბის ერთგვარობა ისაზღვრება პირველ რიგში ნარევის რაოდენობრივი და ხარისხობრივი შედგენილობით – ცემენტის, შემცველების და წყლის ფარდობით, აგრეთვე შემცველების ფორმითა და ზომით, მათი ფარდობითი ზედაპირის სიდიდით; მეორე რიგში ნარევის ტექნოლოგიური პირობებით, გადაადგილების, ტრანსპორტირებისა და ჩაწყობის მიხედვით.

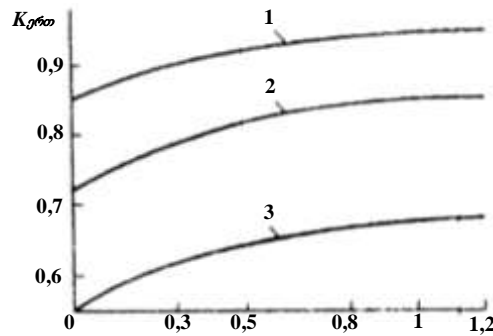
ბეტონისა და დუღაბის ნარევეს აუარესებს ისეთი ფაქტორები, როგორცაა არასაკმარისი არევა (როდესაც საუბარია ნაკლებად ძვრად ნარევებზე) ან ზედმეტი არევა, რომელსაც რიგ შემთხვევებში მიყვავართ ნარევების განშრევებამდე, როგორც საწარმოში ასევე ტრანსპორტირების დროს. ამის თავიდან ასაცილებლად თანამედროვე მშენებლობას, აქვს ისეთი ბეტონშიდები (მიქსერები) სადაც მიმდინარეობს ბეტონის არევა მთელი ტრანსპორტირების პერიოდში, ხოლო ჩაწყობის დროს ინტენსიური ვიბრირება.

ერთგვარობის გაზრდის ყველაზე ეფექტური გზა კი არის მაპლასტიფიცირებელი დანამატების შეყვანა ბეტონსა და დუღაბის ნარევებში. ექსპერიმენტებმა გვიჩვენეს, რომ სუპერპლასტიფიკატორის დამატებისას ნარევების ერთგვარობის კოეფიციენტი იზრდება (იმ ნარევებისთვის, რომლებიც სრულად არ განშრევედება $K_{ერთგ} = 1$). აგრეთვე შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ ცემენტის მუდმივი ხარჯისას, ქვიშის წილის გაზრდით იზრდება მასალების მედეგობა განშრევებისადმი.

აგრეთვე ერთგვარობა შეიძლება მიღწეულ იქნეს სუპერპლასტიკატორების, ნაცარწარმტაცის ან სხვა წმინდად დაფქული დანამატების, აგრეთვე სხვა მაპლასტიფიცირებელი დანამატების ერთდროული მოქმედებით. პლასტიფიკატორის და რომელიმე მაპლასტიფიცირებელი დანამატების თანაფარდობა უნდა იყოს 0,2:0,2% ცემენტის მასიდან.

ბეტონის ნარევების ერთგვარობის კონტროლისათვის ისაზღვრება სიმტკიცე, ამისათვის კომპონენტების არევის დამთავრებისთანავე ნარევის სხვადასხვა უბნებიდან ვიღებდით სინჯებს და ვამზადებთ სტანდარტულ ნიმუშებს. გამაგრების შემდგომ ნიმუშებს ვცდით კუმშვაზე, მათ შორის

სიმტკიცის სხვაობა გვაძლევს ბეტონის ერთგვარობის მახასიათებელს. ნიმუშების ერთგვარობა შეიძლება განვსაზღვროთ თანამედროვე ულტრაბგერის მეთოდით, ამ დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს აპარატის ცდომილება. აგრეთვე ანიზოტროპულობის კოეფიციენტის გაზომვით.



**ნახ. 10. ბეტონის ნარეგების ერთგვარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სუპერპლასტიკატორ დოზირებაზე, ნარეგის განსხვავებული ძვრადობის დროს
1 კ.ჯ 4-6 სმ. 2. 16-18 სმ. 3. 20-22 სმ.**

სტანდარტის ГОСТ 10181.4-81 „ბეტონის ნარეგები. განშრეგების განსაზღვრის მეთოდები“-ის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს, როგორც ჩვეულებრივი მკვრივი ბეტონების ნარეგების, ისე ნარეგები ფორიან შემვსებებზეც. განშრეგებას საზღვრავენ დუდაბის გამოყოფის და წყლის გამოყოფის მაჩვენებლების მიხედვით.

1.10. სამუშაოების წარმოება სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენებით

ჩვენს მიერ გამოყენებული სუპერპლასტიკატორები ჩვეულებრივ შეგვყავს ბეტონის ნარეგში წყალხსნარის სახით. დანამატი შეიძლება მიეწოდოს მომხმარებელს, როგორც სხვადასხვა კონცენტრაციის წყალხსნარის მდგომარეობაში, ასევე ფხვნილის ფორმით დაფასოებულ ტომრებში. ასეთ შემთხვევაში სამშენებლო მოედანზე ვამზადებთ მუშა ხსნარს ისე, რომ მისი რაოდენობა გათვალისწინებული იქნას თითო ანარეგზე. ეს ხსნარი შეიძლება დავამატოთ ბეტონის კომპონენტებს, როგორც ცალკე, ასევე ასადუღაბებებელ წყალთან ერთად ბეტონსარეგში.

ბეტონსარეგში მასალების ჩატვირთვა ხდება ჩვეული რიგითობით. ცემენტს და წყალს წონიან მასის მიხედვით $\pm 2\%$ -ის სიზუსტით, წვრილ და

მსხვილ შემავსებელს აგრეთვე მასის მიხედვით, სიზუსტით $\pm 3\%$ -ი, სუპერპლასტიფიკატორის ხსნარს კი მასის ან მოცულობის მიხედვით. დაუშვებელია ბეტონის ან დულაბის ნარევის ადულაბება $\pm 25^{\circ}\text{C}$ -ზე უფრო ცხელი წყლით.

როდესაც საუბარია მონოლითურ მშენებლობაზე, მაშინ სხმული ნარევის (კვ ≥ 12 სმ) შემთხვევაში გამოყენებული უნდა იქნეს მტკიცე და მკვრივი ყალიბები, რათა არ გამოჟონოს ცემენტის რძემ.

ბეტონის გამაგრება მიმდინარეობს, როგორც ბუნებრივ პირობებში, ასევე თბოტენიანი დამუშავებით. ამასთან უნდა გავითვალისწინოთ, რომ თბოტენიანი დამუშავებისას პლასტიფიცირებული ბეტონი მაგრდება უფრო სწრაფად, განსაკუთრებით საწყის პერიოდში.

წინასწარი დაყოვნების დროს საზღვრავენ ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის თბოტენიანი დამუშავების დაწყების წინ და ის არ უნდა იყოს 2 საათზე ნაკლები. წინასწარი დაყოვნების დროის შემცირებამ და ტემპერატურის სწრაფმა აწევამ შეიძლება ბატონის სტრუქტურაში აღძრას დეფექტები და სიმტკიცის ნაწილობრივი დაკარგვა გამოიწვიოს. თუკი გავზრდით წინასწარი დაყოვნების დროს 5 სთ-მდე, მაშინ ბეტონის სიმტკიცე გამაგრების ადრეულ პერიოდში გაიზრდება 20 %-ით 2 საათიან წინასწარი დაყოვნების ნიმუშებთან შედარებით.

აგრეთვე შესაძლებელია შევამციროთ იზოთერმული გახურების დრო, რომელსაც ვსაზღვრავდით ექსპერიმენტებით, ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის, აგრეთვე შეიძლება გამოვიყენოთ ელექტროგახურება. მაგრამ ნარევის წინასწარი გახურება სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით არ არის რეკომენდირებული, რადგან ბეტონის ნარევი მაღალ ტემპერატურებზე მალევე კარგავს ძვრადობას.

ფორმების დაზეთვა ჩვეულებრივ მიმდინარეობს. განსაკუთრებულ შემთხვევებში შეიძლება გამოყენებული იქნეს სპეციალური შედგენილობები (ლანოლინის წარმოების ნარჩენები) და რბილი პარაფინის ფუძეზე დამზადებული ემულსიები [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50].

1.11. დანამატების მოქმედება სიმტკიცისა და ჯდენის დეფორმაციებზე

სამშენებლო საქმეში ყველაზე ხშირად გამოიყენებენ მძიმე ბეტონებს, სადაც შემკვრელად გვევლინება პორტლანდცემენტი.

პლასტიფიკატორების გამოყენებისას, წყლის ხარჯის შემცირებასთან ერთად შეგვიძლია შევამციროთ ცემენტის ხარჯიც, ისე რომ ც/წყ დავტოვოთ უცვლელი. ამიტომ შეიძლება დავასკვნათ რომ დანამატების გამოყენება გვაძლევს ცემენტის საგრძნობი ეკონომიის საშუალებას, ისე რომ არ გავაუარესოთ სიმტკიცის და ადვილჩაწყობადობის მაჩვენებლები. აქ შეგვიძლია მოვიყვანოთ კონკრეტული მაგალითი. ამასთან უნდა დავძინოთ, რომ ყოველი კონკრეტული შემთხვევა ითხოვს შემოწმებას უშუალოდ სამუშაოების ჩატარების წინ. მოცემულ მასალებზე და დადგენილი ტექნოლოგიის მიხედვით.

განვიხილოთ სუპერპლასტიფიკატორ XelAH30N-ის მოქმედება გაორთქლილი, მკვრივ შემვსებებზე დამზადებული ბეტონების სიმტკიცეზე (შედგენილობა კგ/მ³; პორტლანდცემენტის მარკა 400-385კგ/სმ²; ქვიშა გარეცხილი – 600 კგ, ღორღი 5-20 მმ 1190 კგ. წყალი 192 ლ; ადვილჩაწყობადობა კჟ 1-2 სმ).

შეყვანილი დანამატები ახდენენ გავლენას არამარტო სიმტკიცის ცვლილებაზე, არამედ ჯდენითი დეფორმაციების შემცირებაზეც. ჯდენა არის ბეტონის მოცულობის შემცირება გამაგრების პროცესში. მასზე მოქმედებს, როგორც ბეტონის შედგენილობა, ისე გამოყენებული მასალების მახასიათებლები, წყ/ც ფარდობა, ბეტონის შემკვრივების ხერხი, გამაგრების თბოტენიანი დამუშავების პირობები, ბეტონის ასაკი გამოშრობის დასაწყისში, ბეტონის გაშრობის პერიოდი და ხასიათი და სხვა. ყველაზე მნიშვნელოვან ჯდენას განიცდის ცემენტის ქვა, ხოლო მასში შემვსებების შეტანა მკვეთრად ამცირებს ჯდენას. ჯდება იზრდება ბეტონის ასაკთან ერთად და გარემოს ტენიანობის შემცირებისას. ბეტონის ჯდენა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული წყლის ხარჯზე.

ბეტონის სიმტკიცე სუპერპლასტიკატორის დანამატით

დანამატი	დანამატის დოზირება ცემენტის მასიდან, %	R _{კუმ} %	
		თბოტენიანი დამუშავების დამთავრების თანავე	თ.ტ.დ-დან 4 საათის შემდეგ
უდანამატო		100	100
XelAH30N	0,4	142	151,8

ბეტონებში ქიმიურად ბმულია მხოლოდ 20 %-მდე წყალი ცემენტის მასიდან. ჭარბი წყლის რაოდენობა, ორთქლდება გამაგრების პროცესში, ტოვებს მასალაში ფორებს და აფაშრებს სტრუქტურას. ამ პროცესს კი მივყავართ ჯდენით დეფორმაციებამდე. თუ შრობა მიმდინარეობს საკმაოდ სწრაფად, მაშინ ეს დეფორმაციები შეიძლება იყოს საკმაოდ მნიშვნელოვანი და განაწილდება არათანაბარზომიერად, რაც მოგვცემს მასალის ზედაპირის ჯდენით გამოწვეულ დაზარვას. იმისათვის, რომ ეს თავიდან ავიცილოთ, პირველ რიგში მკაცრად უნდა დავიცვათ ტექნოლოგიური მოთხოვნები: გამოვიყენოთ სწორედ შერჩეული ნარევის შედგენილობები, უზრუნველვყოთ გამაგრების სასურველი რეჟიმი.

დასკვნა: მაპლასტიფიცირებელი დანამატები გვაძლევს საშუალებას შევამციროთ ადუღებებისათვის საჭირო წყლის ხარჯი და შესაბამისად წყლის ხარჯი ზოგადად, რომელიც ორთქლდება გამაგრებისას, რათა თავიდან ავიცილოთ ფორწარმოქმნა და შევამციროთ ჯდენითი დეფორმაციები.

1.11.1. ქიმიური დანამატების შერჩევა და დოზირება თბოდამუშავებისას

ქიმიური დანამატების არჩევას ვახდენდით იმ მოთხოვნების შესაბამისად, რომელიც წაყენებოდა ბეტონს (დუღაბს) მათი წარმოების ტექნოლოგიის მიხედვით და ამ დანამატების მოქმედების გათვალისწინებით ბეტონის ნარევის თვისებებზე და თვით ბეტონზე.

შესწავლილი და განხილული იქნა რიგი დანამატებისა და შემდეგ ავირჩიეთ უფრო ხელმისაწვდომი და ეფექტური კონკრეტულად ჩვენი

კვლევებისათვის დანამატები XelAH30N და PREMIA G180. თავიდანვე უარი ვთქვით ისეთ ზედაპირულ-აქტიურ დანამატებზე, როგორც არის ჰიდროფილურ-მაკლასტიფიცირებელი ტექნიკური ლინგოსულფონატები (JICT), რადგან ასეთი დანამატები მაკლასტიფიცირებელი მოქმედების გარდა ბეტონის და დუღაბის თბოგამყოფის პროცესს ანელებს გამაგრების პირველ ხანებში, რაც ზრდის ბეტონების ბზარწარმოქმნას.

აგრეთვე უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი ტიპის დანამატების გადაჭარბებული დოზირება დაუშვებელია და ნაკეთობების თბოდამუშავება მხოლოდ დამზოგი რეჟიმით უნდა მიმდინარეობდეს, მაგალითად, გავზარდოთ წინასწარი დაყოვნების დრო გაორთქლვის წინ: ტემპერატურის აწევას ვახდებთ 10-15°C-ის სიჩქარით საათში; ვამცირებთ იზოთერმული გახურების ტემპერატურას 40-50°C; ვამცირებთ ბეტონის ტემპერატურას სიჩქარით 10-15°C საათში. ასე რომ დანამატის დოზირების გადაჭარბება 0,05%-ით ცემენტის მასიდან ან გაორთქლვის მკაცრი რეჟიმების გამოყენებისას მასალის სიმტკიცე შეიძლება შემცირდეს 40-50%-ით.

BPII-34 – ახალი ტიპის ფენოლ-ფორმალდეჰიდური პლასტიფიკატორია ნატრიუმის სულფატითა და მონოეთანოლამინით. რეკომენდებული რაოდენობა 0,02-0,05 %-ია შემკვრელის მასიდან. დანამატის გამოყენება შესაძლებელია, ისეთი მასალებისთვის, რომელთა გამაგრება მიმდინარეობს თბოტენიანი დამუშავებით.

რაც შეეხება სუპერპლასტიფიკატორი C-3, მას ამზადებენ ნაფტალინსულფომჟავის პოლიკონდენსაციით და ფორმალდეჰიდით. მისი ძირითადი მოქმედება – არის ძლიერი მაკლასტიფიცირებელი. მისი შეყვანით ბეტონის ნარევი ძვრადობას ინარჩუნებს საკმაოდ ხანგრძლივად, მაგრამ ისიც გვევლინება გამაგრების შემნელებლად.

სუპერპლასტიფიკატორი MΦ-AP მელამინის პოლიკონდენსაციის ფორმალდეჰიდის, სულფანილმჟავა ნატრიუმის პროდუქტია. გარკვეულ ხანს თბილ სათავსოში მოთავსებით მისი შენახვა დაუშვებელია 30°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე, მას არ უნდა მოხვდეს პირდაპირი მზის სხივები და

არც ატმოსფერული ნალექები. ამიტომ ჩვენი აჩევანი შევაჩერეთ თანამედროვე XelAH30N და PREMIA G180-ზე.

1.11.2. დანამატების მომზადება

მაპლასტიფიცირებელი დანამატების, როგორც მშრალ, ისე თხევად ნაერთებს, ვხსნით წყალში მოცემულ კონცენტრაციამდე. მათ მოწოდებას კი ვახდენთ ან ადულაბებისათვის საჭირო წყლის რაოდენობასთან ერთად, ან უშუალოდ წყლის მიწოდების შემდეგ. ზოგიერთ დანამატს, უკეთესად გახსნისათვის ესაჭიროება გაცხელება 40-60°C-მდე. დანამატების დოზირებას ახდენენ წონითი და მოცულობითი მეთოდებით.

წონითი დოზირებისას დანამატის მუშა ხარჯს A წ, კგ-ბით, 1^3 ბეტონისათვის ვითვლით ფორმულით:

$$A_w = C / K ,$$

სადაც C – ცემენტის ხაჯია 1 მ^3 ბეტონისათვის, კგ-ში, K – დანამატის რაოდენობა % ცემენტის მასიდან, მშრალ ნივთიერებაზე გადათვლით; K – მუშა ხსნარის კონცენტრაცია %-ში.

მოცულობით დოზირებისთვის მუშა ხსნარის ხარჯი A_a კგ/მ³, განვსაზღვრავთ ფორმულით.

$$A_m \cdot 1000 / p = 1000 C / (Kp) ,$$

სადაც p – დანამატის მუშა ხსნარის სიმკვრივეა კგ/მ³. ასადულებებული საჭირო წყლის რაოდენობა, ლ-ში; V_d – წონით და მოცულობითი დოზირებისას განსაზღვრავენ ფორმულით.

$$V_d = V - [A_m p (1 - K/1000)] / 1000 ;$$

სადაც V – წყლის ხარჯია 1 მ^3 – ბეტონისათვის ლ-ში.

დანამატების მომზადებისა და დოზირებისთვის ვიყენებთ კასრებს, დოზატორებს, ცენტრიდანულ ტუმბოებს.

აწონილ მასალებს ვტვირთავთ მოქმედებაში მოყვანილ ციკლური მოქმედების შემრევში. მძიმე ბეტონების მოსამზადებლად დანამატების მუშა ხსნარი შეგვყავს ბეტონის ნარევში ასადულაბებელ წყალთან ერთად.

დანამატების გამოყენებისას უნდა გვახსოვდეს, რომ შერევის ხანგრძლივობა მძიმე ბეტონისათვის არ უნდა აღემატებოდეს 3 წთ-ს [51, 52, 53, 54].

ცხრილი 6

მძიმე შემკვებზე დამზადებული ბეტონის ნარევების შერევის უმცირესი ხანგრძლივობა სტაციონარულ სარევეებში

ბეტონის ნარევის მოცულობა ლ-ში	არევის ხანგრძლივობა, სარევეებში, წმ				
	გრავიტაციულში				იძულებითი მოქმედების (ყველა ნარევებისათვის)
	Π1	Π2	Π3	Π4	
500 და ნაკლები	90	75	60	60	50
500-ზე მეტი	150	120	90	90	50

საუკეთესო გამოყენება სუპერპლასტიფიკატორებმა ჰპოვეს წინასწარდაძაბული კონსტრუქციების წარმოებაში. კერძოდ, აღსანიშნავია B40 კლასის ნაკეთობების წარმოება, რაც განპირობებულია ნაკეთობების სიმტკიცისა და ხანგამძლეობისადმი გაზრდილი მოთხოვნებით. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ვიბროდასაყალიბებელი მოწყობილობები, რომლებსაც ვხმარობთ ტიპობრივ ტექნოლოგიურ ხაზებზე ხისტი ნარევების გასამკვრივებლად, ხასიათდებიან ენერჯის მნიშვნელოვანი ხარჯით, არასაკმარისი საიმედოობით, დამატებითი შრომითი დანახარჯებით, რათა ბეტონის ნარევი გადანაწილდეს ცალკეულ უჯრედებში.

ამიტომ ენერგო და მასალათევადობის შესამცირებლად და შრომითი პირობების გასაუმჯობესებლად გამოიყენებენ მაპლასტიფიცირებელ დანამატებს. მათი ოპტიმალური რაოდენობის შეყვანა ბეტონის ნარევეებში გვადლევს საშუალებას შევამციროთ სიხისტე 70-90 წმ-დან (ტექნიკური ვისკოზიმეტრის ჩვენების მიხედვით), კვ=5-6 სმ-მდე, წყლის ხარჯის გაზრდის გარეშე, ან შევამციროთ ბეტონის ნარევის წყლის შემცველობა 15-20 %-ით და გავზარდოთ ბეტონის სიმტკიცე 70-80 მპა-მდე.

ოპტიმალურ ვარიანტად ნაკეთობების დასამზადებლად ტიპიურ ტექნოლოგიურ ხაზებზე მიჩნეულია, მათი დამზადება დანამატებით. სიხისტის 20-30 წმ-ით, რაც უზრუნველყოფს ჩატანებული დეტალების

განყალიბებას მოცემულ ვადებში, 9-10 %-ით წყლის შემცირებით, რამაც მოგვცა შესაძლებლობა გვეწარმოებინა ვიბროგამკვრივება ერთ პოსტზე, გადატვირთვის გარეშე 1,5-2 წთ-ის განმავლობაში, დადგენილი 6 წუთის მაგივრად, ორ პოსტზე მიტვირთვით, ხელის შრომის გამორიცხვით, თბოტენიანი დამუშავების ციკლის შემცირების შესაძლებლობა 1-2 სთ, ამ ყველაფერ სიკეთეს თან სდევს ნაკეთობების ხარისხის გაუმჯობესებაც.

მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონის ნარევი შეჰყავთ მელამინ სულფატური მაპლასტიფიცირებელი დანამატები 0,5-0,7% ან 0,6-0,8% ოდენობით ცემენტის მასიდან, ხოლო მაღალ არმირებული და წყალქვეშა კონსტრუქციებისათვის მოიხმარება ნაფტალითსულფომჟავის და ფორმალდეჰიდის საფუძველზე დამზადებული სუპერპლასტიფიკატორები ისევ 0,6-0,8 %-ით ცემენტის მასიდან.

1.11.3. მაპლასტიფიცირებელი დანამატებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი

სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი წარმოებაში, განისაზღვრება არამარტო პირდაპირი, როგორც არის ცემენტის ხარჯის შემცირება, ბეტონების სიმტკიცის და ხანგამძლეობის გაზრდა, საწარმოს ენერგოტევადობის შემცირება, არამედ რიგი ირიბი ეფექტებით, როგორცაა: შრომითი ნაყოფიერების და პირობების გაუმჯობესება. ცხრ. 7-ში მოცემულია ეკონომიკური ეფექტის წყაროები, როდესაც საუბარია მოძველებული ტიპის მაპლასტიფიცირებელ დანამატებზე (მაგ. ბარდა, მელისა და სხვა). ეკონომიკური ეფექტიანობის დათვლა შედარებით ადვილია, მათი დაბალი ღირებულების გამო, მაგრამ სუპერპლასტიფიკატორების შემთხვევაში ეფექტი თითქოს ნაკლებად თვალსაჩინოა, რადგან მათი ღირებულება შედარებით მაღალია. შეიძლება მხოლოდ ცემენტის ეკონომიამ არ მოგვცეს მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტი, მაგრამ ამ დროს ემატება ირიბად მოქმედი ეფექტები, ნედლეულის კარიერების სიახლოვე და სატრანსპორტო დანახარჯების შემცირება.

ეკონომიკური ეფექტების წყაროები ქიმიური დანამატების გამოყენებისა

ძირითადი ეფექტი	ეკონომიკური ეფექტის წყაროები					
	შემცირება					
	ცემენტის ხარჯი	შრომის ტევადობა	ენერგიის ხარჯი	მასალების შეცვლა ბეტონებისათვის	ტექნოლოგიური პროცესის დაჩქარება	კონსტრუქციების ზომების შეცვლა
ბეტონის ნარევის ძვრადობის გაზრდა	-	შრომითი დანახარჯების შემცირება ბეტონის ჩაწყობისას	ენერგიის ღირებულების შემცირება, არევაზე, ჩაწყობაზე და გამკვრივებაზე	ღორღის და ქვიშის განსხვავება ფასში, ქვიშის წილის გაზრდისას	ხარჯების შემცირება მოწყობილობების ამორტიზაციაზე და ექსპლუატაციაზე	-
ბეტონის საპროექტო სიმტკიცის სწრაფი მიღწევა	ცემენტის ეკონომიით მიღებული დანახარჯი	საამქროს ხარჯების შემცირება	ენერგიის ღირებულების შემცირება თბოტენიან დამუშავებაზე		იგივე	-
ბეტონის სიმტკიცის გაზრდა	იგივე	-	-	მაღალი სიმტკიცის ცემენტის შეცვლა სხვა ცემენტებით	იგივე	ბეტონისა და არმატურის ხარჯის შემცირება

მაღალი სიმტკიცის ბეტონების B45-B60 კლასის გამოყენება გვაძლევს საშუალებას შევამციროთ ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების მასა; შესაბამისად შევამციროთ საარმატურე ფოლადის ხარჯი 40 კგ/მ³-ზე რაც აგრეთვე უწყობს ხელს კონსტრუქციების გაიაფებას, რადგან არმატურა ჩვენს ქვეყანაში დღემდე იმპორტირებულია.

ძირითადი წილი ეკონომიისა მიღებული სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენებით, მიიღწევა შრომითი დანახარჯების მნიშვნელოვანი შემცირებით ნაგებობების აღმართვისას. გამოყენებული სხმული ტექნოლოგიის მეშვეობით, ვიბროგამკვრივებაზე დახარჯული ელექტროენერჯის გამორიცხვით ან საგრძნობი შემცირებით.

ეკონომიკური ეფექტი იზრდება მოწყობილობების ბრუნვადობის გაზრდით, ანუ ერთეულ დროში მათი გამოყენების მიხედვით, ეს განსაკუთრებით ეხება კასეტური ტექნოლოგიების გამოყენებას, პანელების, შპალების და სხვა. ნაკეთობების წარმოებისას, რადგანაც ბეტონის ჩაწყობისა და თბოტენიანი დამუშავების პროცესები საგრძნობლად შემცირებულია. პარალელურად მიმდინარეობს შემკვრელის ხარჯის შემცირება 40-50 კგ/მ³, მცირდება ენერჯის ხარჯიც. აგრეთვე შესაძლებლობელი ხდება მუშახელის შემცირებაც. ეს ყველაფერი მოქმედებს ნაკეთობების თვითღირებულების შემცირებაზე.

დასკვნა: აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ სტენდური ტექნოლოგიის დროს უძრავი ფორმების გამოყენების შემთხვევაში იწარმოება 20 %-ზე მეტი ასაწყობი ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციები, წინასწარდამაბული გადახურვის ფერმები და კოჭები, დამაბული, ხშირად არმირებული კოლონები და ხიმინჯები. ასეთ დროს სუპერპლასტიფიკატორის გამოყენება უზრუნველყოფს 22,5-32,5 კლასის ცემენტის ეკონომიას 60-70 კგ/მ³. ამის გარდა ვიბროგამკვრივების დროს შეცირებას ან სრულიად უარის თქმას მასზე, რაც ამცირებს ელექტროენერჯის ხარჯს 50-70 %-ით.

აგრეთვე გასათვალისწინებელია ფორმების რემონტისა და აღდგენის ხარჯების ეკონომია.

მთლიანობაში B 15-B 30 კლასის ბეტონების წარმოება ნაკადურ-აგრეგატულ და კონვეიერულ ხაზებზე დაახლოებით გვადლევს იგივე ეკონომიკურ ეფექტს. ამის გარდა სხმული ტექნოლოგიების გამოყენება ამცირებს ხმაურისა და ვიბრაციის მავნე გავლენას ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

ცხრილი 8

წყალშეუღწევადობა სუპერპლასტიფიკატორის დანამატებით

შედგენილობა	მარკა წყალშეუღწევადობა	წყლის შეღწევა
2	B-	
2ა	B-14	
3	B-18-ზე მეტი	7,5
3ა	B-18-ზე მეტი	3,4
4	B-16-ზე მეტი	8,2
4ა	B-18-ზე მეტი	8
5	B-18-ზე მეტი	6,3
5ა	B-18-ზე მეტი	4,7

თავი 2

2.1. მასალები და კვლევის მეთოდები

ცემენტი და ბეტონი ძირითადი საშენი მასალაა. მათ ახასიათებთ დაბალი ღირებულება და ტექნოლოგიის განხორციელების სიმარტივე.

კონსტრუქციული მასალების რღვევისადმი წინაღობა განისაზღვრება მისი სტრუქტურის უნარით ხელი შეუშალოს ბზარების წარმოქმნას და განვითარებას. ექსპლუატაციის დროს ნაკეთობების ეფექტური მუშაობის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია არა მარტო მაღალი სიმტკიცის მასალების წარმოება, არამედ ამ მასალებს უნდა ქონდეს მაღალი წინაღობა ბზარების განვითარებისადმი. ამის განსახორციელებლად საჭიროა მასალის სტრუქტურის წარმოქმნის პროცესების ცოდნა, მასალის სტრუქტურის მოდიფიკაცია და სრულყოფა. ამის საფუძველზე სამშენებლო მასალების თვისებების გაუმჯობესების მიღწევა შესაძლებელია სხვადასხვა გზით: ბეტონის შემადგენლობაში ახალი სტრუქტურული ელემენტების შეყვანა, რომლებიც ხელს შეუშლიან ბზარების განვითარებას; შემადგენლობის კომპლექსური ქიმიზაცია; დისპერსული არმირება; ცემენტის და შემვსებების სახეობის შერჩევა და სხვა.

ლაბორატორიაში კვლევებისთვის გამოყენებული იქნა საქართველოში გავრცელებული ცემენტის ნიმუშები. სხვადასხვა კარიერების წვრილი და მსხვილი შემვსებები და მაკლასტიფიცირებელი დანამატები, მელმენტი ,Xel AH 30N დაCHRYSO® Fluid Premia 180 G.

2.2. საქართველოს სამშენებლო ბაზარზე არსებული EN 197 შესაბამისი ცემენტების გამოცდა

ბეტონი სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის ძირითადად მზადდება არაორგანული მჭიდა მასალების გამოყენებით. ბეტონის წარმოებაში უპირველესია პორტლანდცემენტი მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების ბეტონის მისაღებად. გამოყენებული ცემენტების ძირითად მახასიათებლად

ითვლება მინერალოგიური შედგენილობა, ცემენტის ცომის ნორმალური სისქე, დაფქვის სიწმინდე და აქტივობა. ამ სახის ბეტონების მისაღებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც ჩვეულებრივი, ასევე წიდა და პუცოლანური პორტლანდცემენტები.

წინა თავში განვიხილეთ სხვადასხვა ტიპის ცემენტების გამყარების დროს მიმდინარე პროცესები და მათი გავლენა ზედაპირული ბზარების წარმოქმნაზე. ორიოდ სიტყვა შეიძლება დავამატოთ ალუმინატოვანი ცემენტების გამოყენებაზე, რა დროსაც ადგილი აქვს სწრაფ სითბო გამოყოფას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ბეტონის ზედაპირის გაშრობა და დაშლაც კი, რადგან იზრდება შიდა წნევა. ამავე დროს ტემპერატურის მომატება ხელს უწყობს C_4ACH_{11} -ის წარმოქმნას ($CaCO_3$ -თან ურთიერთქმედების გამო), ამის შედეგად იზრდება აბრაზიული და კოროზიული მედეგობა. რაც შეეხება სტანდარტებს ცემენტის ასორტიმენტი ევროსტანდარტ EN 197-1-ის მიხედვით დსთ-ში და საქართველოშიც მოქმედ სტანდარტთან. GOCT -10178-92-თან შედარებით გაფართოებული მინერალური დანამატების რაოდენობრივი შემცველობაა.

ევროსტანდარტით EN 197-1-ის თანახმად ცემენტი იყოფა შემდეგ კლასებად: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5; კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით (მპა).

ევროკავშირის ქვეყნებში მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონების მისაღებად გამოიყენება პორტლანდცემენტი CEMI, CEMII – კომპოზიციური პორტლანდცემენტის აღნიშვნაა, ხოლო CEMIII – წიდაპორტლანდცემენტის.

საქართველოში ცემენტის წარმოება გადასულია ევროპულ სტანდარტ EN 197-1-ზე. ჩვენს მიერ გამოკვლეულ იქნა ადგილობრივ ბაზარზე ყველაზე მეტად გავრცელებული ქ. რუსთავის „ჰაიდელბერგი“-ს და თურქეთში ქ. ტრაპიზონში წარმოებული პორტლანდცემენტები CEM I 42,5R. ქვემოთ მოყვანილია, როგორც მათი ქიმიური შედგენილობა, აგრეთვე მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

ცხრილი 9

რუსთავის და ტრაპიზონის ქარხნების CEM I 42,5 R ცემენტების ქიმიური შედგენილობა %-ში

№	ცემენტის მწარმოებელი	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	20,32	5,24	3,00	62,28	2,57	0,58	2,97
2	ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	21,51	5,41	3,05	66,25	2,21	0,55	2,59

ცხრილი 10

ექსპერიმენტებში გამოყენებული პორტლანდცემენტების TN 196-ის ტესტირების შედეგები

№	ცემენტის მწარმოებლობა	დაფქვის სიწინდე		ცემენტის ცომის ნორმალური სისქე	შეკვრის ვადები წთ		სიმტკიცე კუმულატივ, მპა		
		ნარჩენი N 008 საცერზე	ხვედრითი ზედაპირი სმ ² /ა		დასაწყისი	დასასრული	2 დღის შემდეგ	7 დღის შემდეგ	28 დღის შემდეგ
1	რუსთავის ცემენტის ქარხანა	0,13 (7,0)	3412	29,2	109	170	21,26	36,20	54,8
2	ტრაპიზონის ცემენტის ქარხანა	0,6 (6,5)	3623	32,5	150	220	28,2	37,8	50,0

როგორც ცხრილებიდან ჩანს, ორივე ქარხნის ცემენტების თვისებები თითქმის იდენტურია და აკმაყოფილებენ ევროსტანდარტს EN 197-ის მოთხოვნებს.

კვლევის შემდგომ ეტაპზე გამოყენებულ იქნა ძირითადად რუსთავის ცემენტის ქარხნის CEMI 42,5 R ცემენტი, რომლის აქტივობა 50 მგპა. რადგან ბეტონის მაღალი ტექნიკური თვისებების მისაღწევად აუცილებელია ცემენტის ენერჯის მაქსიმალური გამოყენება, ცემენტის ქვის ოპტიმალური მიკროსტრუქტურის შექმნა.

2. გამოყენებული ღორღის თვისებების კვლევა. ყველასათვის ცნობილია, რომ ჩვეულებრივი ბეტონის შემთხვევაში შემდგომი თამაშობს ინერტული მასალის როლს, მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების ბეტონებში შემდგომის ხარისხსა და თვისებებს დიდი გავლენა აქვს ბეტონის სიმტკიცის ზრდაზე.

ამ სახეობის ბეტონისათვის გამოიყენება მკვრივი მთის ქანების დამსხვრევით მიღებული ღორღი. ღორღის სიმტკიცე კუმშვისას, წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში, სტანდარტის თანახმად, 1,5-ჯერ უნდა აღემატებოდეს დასამზადებელი ბეტონის მარკას. დასაშვებია უფრო დაბალი სიმტკიცის ღორღის გამოყენებაც, მაგრამ ამ დროს მისი სიმტკიცე არ უნდა იყოს ნაკლები მისაღები ბეტონის მარკაზე. ამ დროს საჭიროა ღორღის გამოცდა ბეტონში და შემდეგ შეიძლება მოხდეს მისი გამოყენება. მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების ბეტონში ძირითადად იყენებენ ბაზალტის, გაბროსა და გრანიტის ღორღს. უცხოეთში ძირითადად გამოიყენება ბაზალტის ღორღი. საქართველო მდიდარია ბაზალტის მარაგით, ამიტომ მისი შემდგომად გამოყენება მიზანშეწონილია. ნაშრომში განხილულია მარნეულის ბაზალტის ღორღის საბადო, შპს „ბორან-მანინგი“-ს, შპს „თიმალი“-ს, შპს „ჯი და ჯი“-ს და ქსოვრისი-ს კარიერების ღორღი.

ჩვენი მიზანი გახლდათ შემდგომების კვლევა და მათი ვარგისიანობის შემოწმება წარმოებაში. ჩვენი კვლევები წარმოადგენენ დღეისათვის გამოშვებული ღორღისა და ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების კვლევის შედეგებს.

2.3. მარნეულის ბაზალტის ღორღის ხარისხის ტესტირება

1.1. ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისთვის ბაზალტის ღორღის ტენიანობა $W=0,5\%$ -ს

1.2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით $\rho_n=2,78$ გ/სმ³;

1.3. ღორღის ნაყარი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით $\rho_z=1,44$ გ/სმ³.

1.4. ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით $V=(1-\rho_n/\rho_z)100=48,9\%$.

1.5. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 0,75%-ს რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

ბაზალტის ღორღის გრანულომეტრული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ГОСТ 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცდელ დანადგარზე.

ცხრილი 11

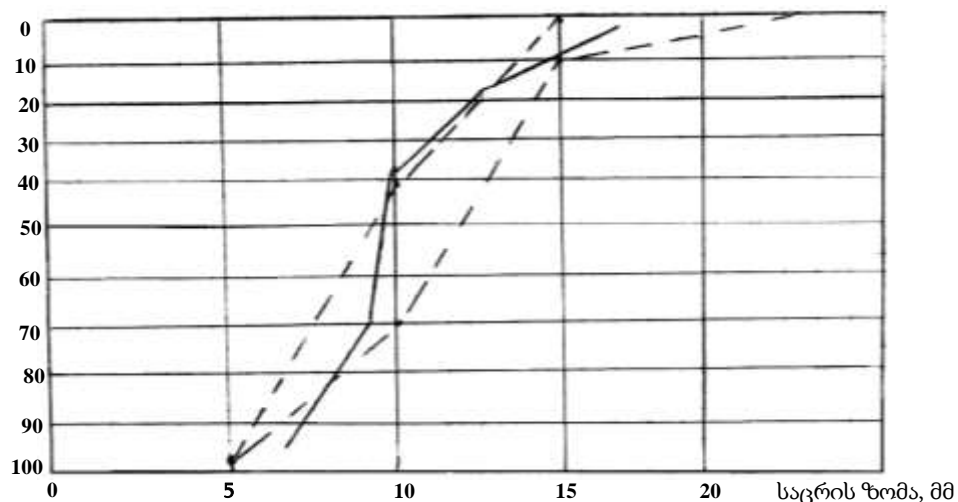
მარნეულის ბაზალტის ღორღის გრანულომეტრია

ნარჩენები	საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						გავიდა 6.30 მმ საცერში
	22	126	12,5	10	9,50	6,30	
კერძო გრ	0	204	1109,5	1372,5	216,5	2098,5	176
კერძო %	0	2,8	15,4	19,1	30,1	29,20	2,4
სრული %	0	2,8	18,2	37,4	67,4	96,7	99,1

მთლიანად საცერში გატარებული ღორღის რაოდენობა

$$G=204,0+1109,5+1372,5+2165+2098,5+176,0=7185 \text{ გრ.}$$

ცხრილის მიხედვით საზღვრავენ უდიდეს და უმცირეს ზომებს. ღორღის უდიდესი სიმახოს ზომას მიღებულია საცრის ზომა, რომელზეც დარჩენილი ღორღის რაოდენობა არ აღემატება 5%-ს. ხოლო უმცირეს ზომად მიღებულია საცრის ის ზომა, რომელზეც დარჩენილია არანაკლებ 95%-ისა (საცერში გასულია 5%). ჩვენს შემთხვევაში უმსხვილესი ღორღის ზომაა 16 მმ, ხოლო უმცირესი ღორღის ზომად შეიძლება ჩაითვალოს 5.0 მმ.



ნახ. 11. ბაზალტის გრანულომეტრული მრუდი

გამოკვლევული გრაფიკის მიხედვით გამოკვლევული ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონის მისაღებად გამოყენებული მსხვილი შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.

2.3.1. შპს ბორან-მაინინგი“-ს ღორღის ხარისხის ტესტირება

1.1. ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა $W=0,2\%$.

1.2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით $\rho_n = 2,5$ გ/სმ³.

1.3. ღორღის ნაყარი სიმკვრივე ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით $\rho_{nay} = 140$ კგ/მ³.

1.4. ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით $V = (1 - \rho_{nay} / \rho_n) \cdot 100 = 48,5\%$.

1.5. ფირფიტოვანი ნაწილაკები - 27%

1.6. სუსტი ქანები- 9,8%

1.7. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებრი მინარევების არსებობა ღორღში დადგენილია ГОСТ 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 0,65%-საც. ნაკლებია ნორმალური დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.

ღორღის გრანულომეტრული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით ГОСТ 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცრელ დანადგარზე.

ღორღის ანალიზი

კარიერი: შ.პ.ს. „ბორან-მაინინგი“

ცხრილი 12

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდი}	d _{უმც}
ვერძო მ;	გრ	-	-	27	1675	281	13	20	10
	%	-	-	1,35	83,92	14,08	0,65		
სრული % A _i		-	-	1,35	85,27	99,35	100		
ნორმა %, A _i				10-მდე	90-100				

დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად არ არის რეკომენდირებული.

2.3.2. შპს „თიმალი“-ს ღორღის ხარისხის ტესტირება

1.1. ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა აღმოჩნდა $W=3,51$.

- 1.2. ღორღის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით $\rho_n = 2,5$ გრ/სმ³.
- 1.3. ღორღის ნაყარი სიმკვრივე GOCT 8269-87-ის მიხედვით $\rho_{\text{ნაყ}} = 1430$ კგ/მ³
- 1.4. ღორღის ფორიანობა და ცარიელობა GOCT 8269-87-ის მიხედვით
 $V = (1 - \rho_{\text{ნაყ}} / \rho_n) 100 = 41,8$.
- 1.5. ღორღის ნემსისებრი და ფირფიტოვანი ნაწილაკები- 29,2%
- 1.6. ღორღის სუსტი ქანები - 7,4%
- 1.7. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებრი მინარევების არსებობა დადგენილია GOCT 8269-87-ის შესაბამისად შეადგენს 2,83%-ს, რაც მეტია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე 1%.
- ღორღის გრანულომეტრული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და GOCT 8268-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარდა ავტომატურ საცდელ დანადგარზე.

ღორღის ანალიზი

კარიერი: შპს „თიმალი“

ცხრილი 13

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	-	-	-	6,8	2465	402,5	8	2,5
	%	-	-	-	0,24	85,76	14		
სრული % A _i		-	-	-	0,24	86	100		
ნორმა %, A _i					10-მდე	95→100	95-100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად არარეკომენდირებულია.

2.3.3. შპს „ჯი და ჯი“-ის ღორღის ხარისხის ტესტირება

1.1. GOCT 8269-87 მიხედვით.

ღორღის ანალიზი

კარიერი: შპს „ჯი და ჯი“

ცხრილი 14

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	-	-		1711	31,39	139,2	10	5
	%	-	-		34,28	62,9	2,79		
სრული % A _i		-	-	-	34,28	97,18	100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად არარეკომენდირებულია.

2.3.4. შპს ბორან-მაინინგის ღორღის ხარისხი ტესტი სინჯი 2 მიხედვით

1.1. GOCT 8269-87-ის მიხედვით

ღორღის ანალიზი
კარიერი: შ.პ.ს. „ბორან-მაინინგი“ ცხრილი 15

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	–	–	0	1675	303	22	17	10
	%	–	–	0	83,75	15,15	1,1		
სრული % A _i		–	–	0	83,75	98,9	100		
ნორმა %, A _i				10-მდე	90-100				

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად არარეკომენდირებულია.

2.3.5. შპს ბორან-მაინინგის ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 3

1.1. GOCT 8269-87 მიხედვით

ღორღის ანალიზი
კარიერი: შ.პ.ს. „ბორან-მაინინგი“ ცხრილი 16

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	–	–	–	0	1600	400	7	2,5
	%	–	–	–	0	80	20		
სრული % A _i		–	–	–	0	80	100		
ნორმა %, A _i					10-მდე	90→100	95→100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად არარეკომენდირებულია.

2.3.6. შპს ბორან-მაინინგის ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 4

1.1. GOCT 8269-87 მიხედვით

ღორღის ანალიზი

კარიერი: შპს „ბორან-მაინინგი“

ცხრილი 17

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	–	–	–	20	3068	1835	10	5
	%	–	–	–	0,4	52,32	37,3		
სრული % A _i		–	–	–	0,4	62,72	100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად არარეკომენდირებულია.

2.3.7. ქსოვრისი-ს ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 1

1.1. GOCT 8269-87 მიხედვით

ღორღის ანალიზი

კარიერი: ქსოვრისი

ცხრილი 18

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		13	10	6,3	5	2,5	<2,5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	0	19	875	961	58	36	10	5
	%	0	0,97	44,89	49,3	2,97	1,87		
სრული % A _i		0	0,97	45,86	95,16	98,13	100		
ნორმა %, A _i		0,5	10-მდე	30-60	90-100	95→100	100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდირებულია.

2.3.8. ქსოვრისი-ს ღორღის ხარისხის ტესტის სინჯი 2

1.1. GOCT 8269-87 მიხედვით

ღორღის ანალიზი (ფრ. 10-20)

კარიერი: ქსოვრისი

ცხრილი 19

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	–	–	111,8	4475,4	412,8		20	10
	%	–	–	2,24	89,5	8,26			
სრული % A _i		–	–	2,24	91,74	100	100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი ვერ აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდირებულია.

2.3.9. კასპი-ს ღორღის ხარისხის ტესტი სინჯი 1

1.1. GOCT 8269-87 მიხედვით

ღორღის ანალიზი(ფრ. 5-10)

კარიერი: კასპი

ცხრილი 20

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		13	10	6,3	5	2,5	<2,5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	0	57	840	933	63	107	10	5
	%	0	2,85	42	46,65	3,15	5,35		
სრული % A _i		0	2,85	44,85	91,5	94,65	100		
ნორმა %, A _i		0,5	10-მდე	30-60	90-100	95→100	100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდირებულია.

2.3.10. კასპის ღორღის ხარისხის ტესტის სინჯი 2

1.1. GOCT 8269-87 მიხედვით

ღორღის ანალიზი (ფრ. 10-20)

კარიერი: კასპი

ცხრილი 21

ნარჩენები საცრებზე		საცრის ხვრეტის ზომები, მმ						მარცვლების ზომა	
		70	40	20	10	5	<5	D _{უდიდ}	d _{უმც}
კერძო მ;	გრ	–	–	145	4320	535		20	10
	%	–	–	2,9	86,4	10,7			
სრული % A _i		–	–	2,24	88,64	100	100		

დასკვნა: თანახმად GOCT 8267-93 შესწავლილი ღორღი აკმაყოფილებს სტანდარდის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდირებულია.

საქართველოს საწარმოების მიერ წარმოებული ქვიშის თვისებების კვლევა

2.4. მარნეულის ბაზალტის ქვიშის ხარისხის ტესტირება

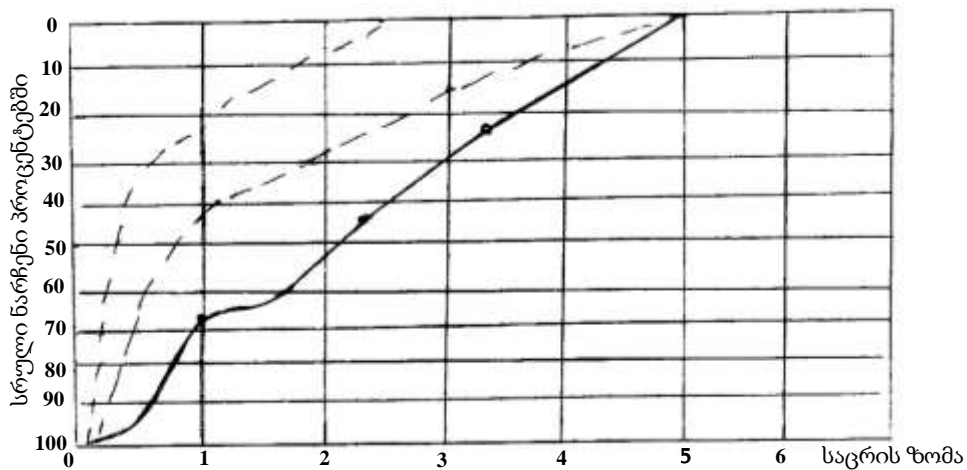
- 1.1. GOCT 8735-88-ის მიხედვით გამოცდის მომენტისათვის ქვიშის ტენიანობა აღმოჩნდა $W = 3,2\%$.
- 1.2. ქვიშის ნამდვილი სიმკვრივე EN 1097-7-ის მიხედვით $\rho_n = 2,75$ გ/სმ³.
- 1.3. ქვიშის ნაყარი სიმკვრივის GOCT 8735-88-ის მიხედვით $\rho_{ნაყ.} = 1,47$ გ/სმ³.
- 1.4. ქვიშის მარცვლების ფორიანობა დაცარიელობა GOCT 8735-88-ის მიხედვით $V = (1 - \rho_{ნაყ.} / \rho_n) 100 = 46,6\%$.
- 1.5. თიხოვანი, ლამისებური და მტვრისებური მინარევების არსებობა ქვიშაში დადგენილია GOCT 8735-88-ის შესაბამისად შეადგენს 1,90%-ს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე – 3 %

1.6. ქვიშის გრანულომეტრიული შემადგენლობა განსაზღვრულია EN 933-2-ით და ГОСТ 8735-88-ის მოთხოვნების შესაბამისად. ექსპერიმენტი ჩატარებულია ავტომატურ საცრელ დანადგარზე.

ცხრილი 22

მარნეულის ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრია

ნარჩენები	საცრის ხვრეტის ზომები, მმ										გავიდა 0,125 საცერი
	6,3	5	3,35	2,36	1,70	1,0	0,710	0,500	0,250	0,125	
კერძო გრ	0	134,5	1622,5	1483,5	11,61	525	1480	640	128	98	25,5
კერძო %	0	1,8	22,1	20,2	15,8	7,1	20,2	8,7	1,74	1,3	0,3
სრული %	0	1,8	23,9	44,1	59,9	67,0	87,2	95,9	97,64	98,94	99,2



ნახ. 12. ბაზალტის ქვიშის გრანულომეტრული მრუდი

მოლიანად საცერზე და საქვეშეზე დარჩენილი ქვიშის რაოდენობის ჯამი

$$G=134,5+1622,5+1483,5+525+1480+640+128=98+25,5=7336,6$$

$$\text{ქვიშის მოდული } M_{\text{ქვ}}=44,1+59,9+67,0+97,64+98,94/100=3,6.$$

ГОСТ 8736-93-ის მიხედვით წარმოდგენილი ქვიშის სისხოს მოდული $M_{\text{ქვ}}=3,6$.

მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშის კატეგორიას, ხოლო სრული ნარჩენით 0,63 და 0,16 მმ-იან საცრებზე, ნაკლები ქვიშის რაოდენობით (ნაკლები უნდა იყოს 5%) არ მიეკუთვნება პირველი კლასის ქვიშებს.

2.4.1. შპს „ბორან მაინინგი“-ის ქვიშის ხარისხის ტესტირება

1.1. GOCT 8735-88ის მიხედვით

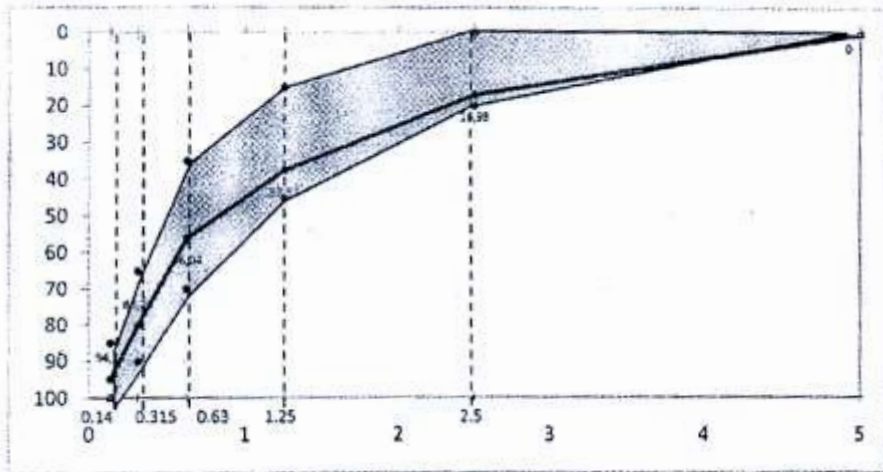
კარიერი: შპს „ბორან მაინინგი“

ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 23

ოქმის №	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							V _{სვ} , ტ/მ ³	V _{შრო} , ტ/მ ³	ღსა	სიცარიელე %	დაჭუჭყიანება %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცრებზე, %											
5	2,5		1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14							
34	10.05.2012	ა	0,1	17	20,6	18,47	24,2	14,49	5,15	1,2	1,3	2,86	51	5,12
		ბ		17	37,6	56,04	80,2	94,72	99,9					

ქვიშის მარცლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად GOCT 8736-93 გამოკვლეული ქვიშა მიეკუთვნება მსხვილ ქვიშათა რიცხს (Mr)=2,5-3,0 გრანულომეტრიის მიხედვით, ქვიშა აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, მაგრამ დაჭუჭყიანების მაჩვენებელი მაღალი აქვს. აქედან გამომდინარე, მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად არ არის რეკომენდებული.

2.4.2. ქსოვრისი-ს ქვიშის ხარისხის ტესტირება

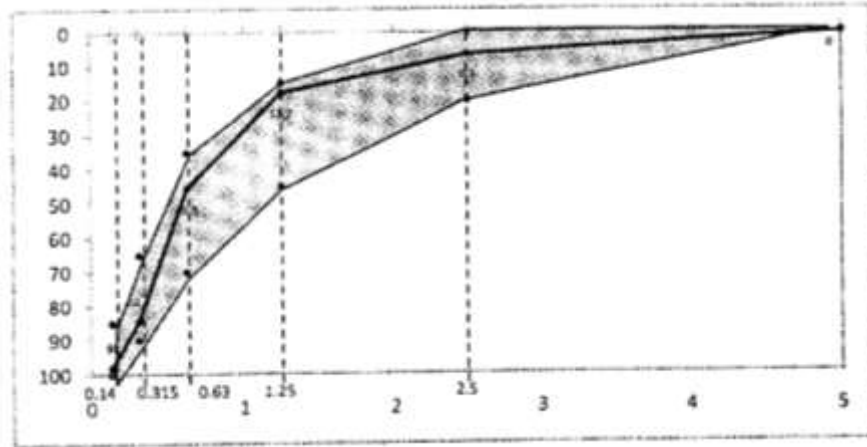
კარიერი: ქსოვრისი

ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 24

ოქმის №	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							V _{სვ} , ტ/მ ³	V _{შრო} , ტ/მ ³	ღსა	სიცარიელე %	დაჭუჭყიანება %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცრებზე, %											
5	2,5		1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14							
35	10.05.2012	ა	0,4	6,1	11,2	27,8	39	13,5	2	1,4	1,5	2,52	39,9	2
		ბ		6,5	17,7	45,5	84,5	98	100					

ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8736-93 გამოკვლეული ქვიშა მიეკუთვნება საშუალო სისხოს ქვიშების რიცხვს. ($M=2-2,5$). ის აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად – რეკომენდებულია.

2.4.3. შპს „დილი 95“-ის ქვიშის ხარისხის ტესტირება

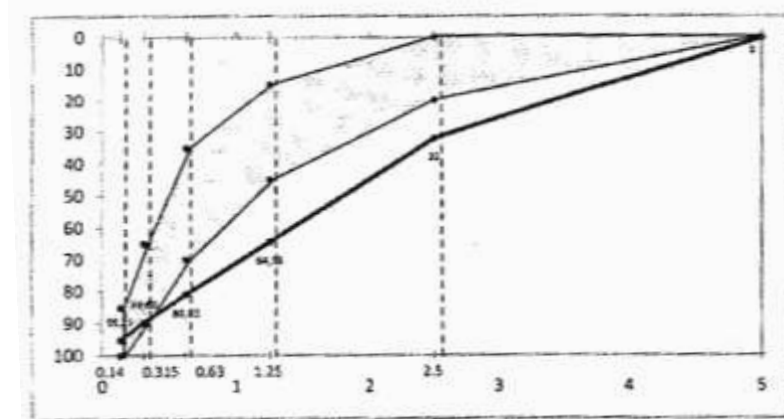
კარიერი: შპს „დილი 95“

დამსხვრეული ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 25

№ სინჯის	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							$W_{\text{სტ/შ}}$	$V_{\text{მომტ/შ}}$	ღსმ	სიცარიელე %	დაჭუჭყიანება %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
			სრული ნარჩენი საცრებზე, %											
ბ	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14							
50	14.05.2012	ა	0,5	32	31,9	16,45	8,85	5,57	4,61	3,2	1,44	3,62	46	4,61
		ბ		32	64,4	80,93	89,7	95,25	99,9					

ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ-8736-93 გამოკვლეული ქვიშა მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშების რიცხვს (I კლასი). როგორც გრანულომეტრია, ასევე დაჭუჭყიანების მაჩვენებელი არ აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს. შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად – არ არის რეკომენდებული.

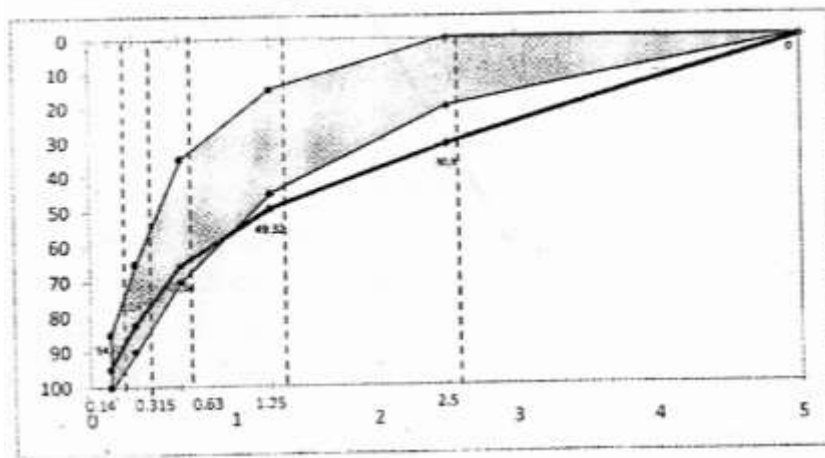
2.4.4. შპს „საბაჯგუფი“-ს (ბოლნისის რაიონი) ქვიშის ტექტირება

კარიერი: შპს „საბაჯგუფი“ – ბოლნისის რ-ნი სოფ. ხიდისყური
ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 26

№ სინჯის	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							W ₁₀₀ ტ/ტ	V _{შოი} ტ/ტ	ღმა	სიცარიელე %	დაჭუჭყიანება %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცრებზე, %											
		5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14						
57	15.05.2012	ა	10,7	20,1	18,5	16,32	1688	12,49	5,08	12	1,52	3,23	41	5,07
		ბ		30,8	49,3	65,64	82,4	94,92	100					

ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8737-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება სისხოს ქვიშების რიცხვს. ის ვერ აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამუზადებლად არ არის რეკომენდებული.

მტერისებრი ნაწილაკები – 3,92 თიხოვანი ნაწილაკები – 13,5

2.4.5. შპს „დილა 95“-ის (საგარეჯოს რ-ნი) ქვიშის ხარისხის ტესტი

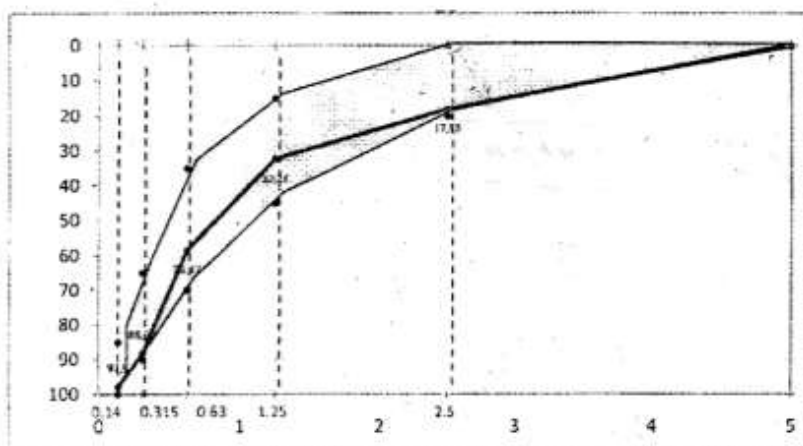
კარიერი: შპს „დილა 95), საგარეჯოს რ-ნი სოფ. ხაშში

ბუნებრივი – ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 27

№ სინჯი	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							W ₁₀₀ ტ/ტ	V _{შოი} ტ/ტ	ღმა	სიცარიელე %	დაჭუჭყიანება %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცრებზე, %											
		5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14						
84	03.09.2012	ა	3,9	14	14,4	26,19	29,8	9,63	2,02	11	1,6	2,95	44	2,02
		ბ		17,9	31,3	58,47	88,3	97,9	100					

ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8736-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშების რიცხვს. ის აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდებულია.
მტვრისებრი ნაწილაკები – 1,53, თიხოვანი ნაწილაკები – 0,49

2.4.6. შპს „სოკარი“-ს ქვიშის ხარისხის ტესტირება

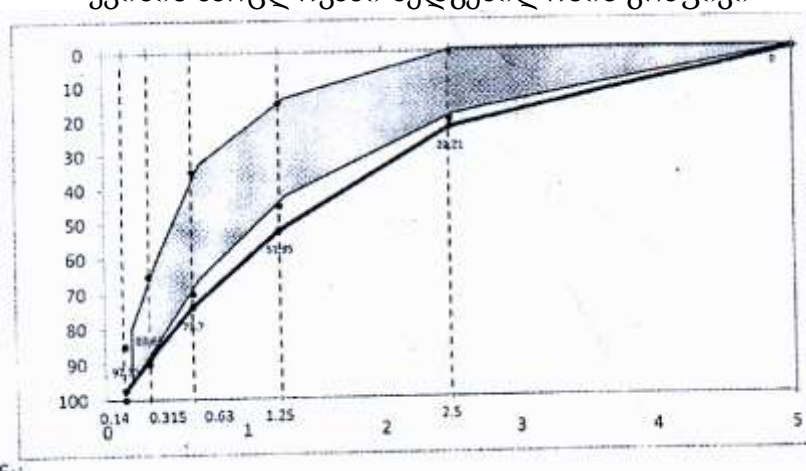
კარიერი: შპს „სოკარი“

ბუნებრივი-დამსხვრეული ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 28

№ სინჯის	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							W _{სვ} , ტ/მ ³	V _{შო} , ტ/მ ³	მსა	სიცარილე %	დაჭყლიანება %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცერზე, %											
			5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14					
87	04.09.2012	ა	0,7	21,5	29,7	21,75	15	8,65	2,67	5,38	1,4	3,34	47	
		ბ		22,2	52	73,7	88,7	97,31	100					

ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8736-93 გამოკვლეული ქვიშა მიეკუთვნება სიმსხვილის ქვიშათა რიცხვს. ის ვერ აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად, არ არის რეკომენდებული (სასურველია 5 მმ-იანი საცერის გასწორება)
მტვრისებრი ნაწილაკები – 1,72, თიხოვანი ნაწილაკები – 0,95

2.4.7. ქსოვრისის კარიერის ქვიშის ხარისხის ტესტირება სინჯი № 1

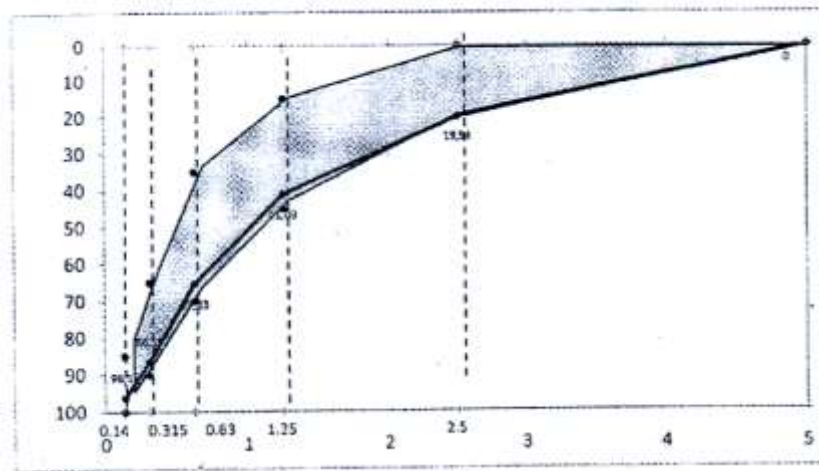
კარიერი: ქსოვრისი

დამსხვრეული ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 29

№ სიმჯის	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							W _{სვ} ტ/მ ³	V _{შპო} ტ/მ ³	ღსა	სიცარიელე %	დაჭედილობა %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცერზე, %											
			5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14					
94	15.09.2012	ა	2,2	17,8	21,2	24,24	21,2	9,6	3,82	6,9	1,5	3,09	39,7	3,82
		ბ		19,9	41,1	65,33	86,6	96,15	100					

ქვიშის მარცლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8736-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება მომატებული სიმსხვილის ქვიშების რიცხვს არ აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად – რეკომენდებულია.

(სასურველია თუ უკეთესად იქნება გარეცხილი).

მტვრისებრი ნაწილაკები – 2,33, თიხოვანი ნაწილაკები – 1,49

2.4.8. ქსოვრისის კარიერის ქვიშის ხარისხის ტესტირება სინჯი № 2

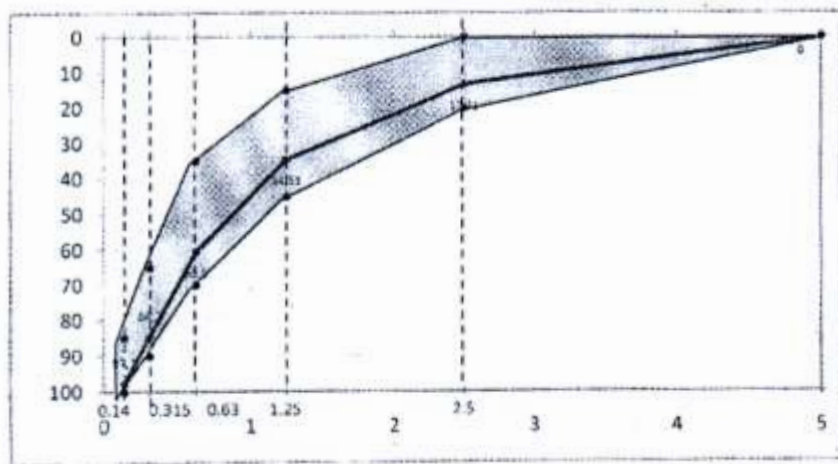
კარიერი: ქსოვრისი

ბუნებრივი ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 30

ოქ№	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							W _{სვ} ტ/მ ³	V _{შპო} ტ/მ ³	ღსა	სიცარიელე %	დაჭედილობა %
			კერძო ნარჩენი საცრებზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცერზე, %											
			5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14					
15	11.10.2014	ბ ნორმა, %	0-20	5-45	20-70	35-90	90-100	10-0	6,9	1,52	2,78	39,3	2,3	
		ა	0,5	12,8	21,2	26	24,2	14						2,3
		ბ		13,3	34,5	60,5	84,7	97,7	100					

ქვიშის მარცლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8736-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება სიმსხვილის ქვიშების რიცხვს. ის აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდებულია მტვრისებრი ნაწილაკები – 1,6, თიხოვანი ნაწილაკები – 0,7 $\Sigma=2,3\%$

2.4.9. კასპის ქვიშის ხარისხის ტესტი

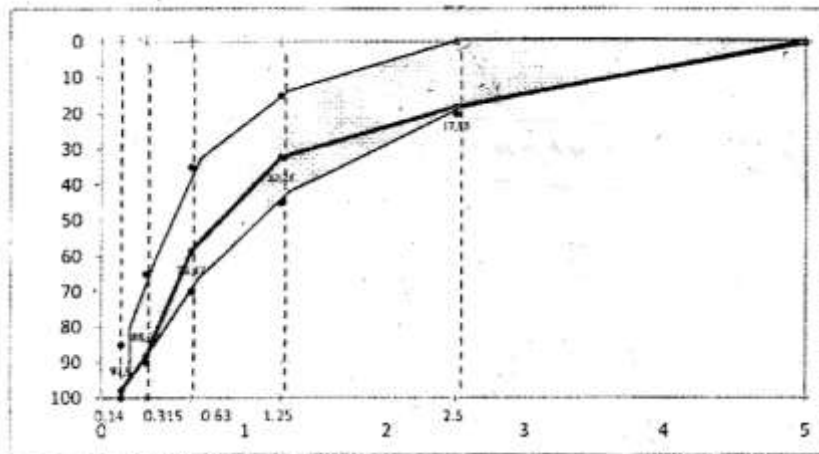
კარიერი: კასპი

ბუნებრივი – ქვიშის ანალიზი

ცხრილი 31

№ სინჯი	გასინჯვის თარიღი	ა	საცრითი ანალიზი							W ₃₀ ტ/ტ	V ₃₀₀ ტ/ტ	ღმ	სიცარიელე %	დაჭეჭიანება %
			კერძო ნარჩენი საცერზე, %											
		ბ	სრული ნარჩენი საცერზე, %											
			5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14					
37	05.05.2018	ა	3,72	13,5	13,2	28,4	31,2	8,8	1,18	1,3	1,65	2,95	41	1,18
		ბ		17,22	30,42	61,62	92,82	100	100					

ქვიშის მარცლოვანი შედგენილობის გრაფიკი



დასკვნა: თანახმად ГОСТ 8736-93 შესწავლილი ქვიშა მიეკუთვნება მსხვილი ქვიშების რიცხვს. ის აკმაყოფილებს სტანდარტის მოთხოვნებს, შესაბამისად მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის დასამზადებლად რეკომენდებულია. მტვრისებრი ნაწილაკები – 0,95, თიხოვანი ნაწილაკები – 0,23

2.5. წყალი ბეტონისათვის

ბეტონის ნარევის მოსამზადებლად გამოიყენება წყალი, რომელიც უნდა აკმაყოფილებს სტანდარტს 2373-79 „ბეტონისა და ნარევის მოსამზადებლად განკუთვნილი წყალი. ტექნიკური პირობები“. წყლის ხარისხი ფასდება მავნე მინარევების მიხედვით. წყლის წყალბადის მაჩვენებელი (pH) უნდა იყოს 4-დან 12,5-მდე წყალში არ დაიშვება შაქრისა და ფენოლის არსებობა, რამეთუ ისინი აყოვნებენ ცემენტის ჰიდრატაციას და შესაბამისად ახანგრძლივებენ ბეტონის ნარევის შეკვრის ვადას.

არ დაიშვება წყალში ნავთობპროდუქტები, ზეთი და ცხიმი. ისინი ილექებიან ცემენტის მარცვლის ზედაპირზე და აგრეთვე ანელებენ მის ჰიდრატაციას.

განსაკუთრებით საშიშია წყალში ხსნადი მარილის, სულფატ-იონის და ქლორის იონის არსებობა. მათ შეუძლიათ გამოიწვიონ ბეტონის შეკვრის ვადების და გამაგრების სიჩქარის უკონტროლო ცვლილება და რაც ყველაზე მთავარია, რკინაბეტონში არმატურის კოროზიის წარმოქმნის საშიშროება.

ბეტონის ნარევის დასამზადებლად და გამაგრებული ბეტონის მოსარწყავად, ტესტირების გარეშე, შეიძლება სასმელი წყლის გამოყენება.

წყლის ანალიზი უნდა ჩატარდეს სამშენებლო ლაბორატორიაში. იმ შემთხვევაში თუ ანალიზის ჩატარება არ ხერხდება, მზადდება საკონტროლო ნიმუშები: თუ ამ წყალზე დამზადებული ბეტონის სიმტკიცე არ ჩამოუვარდება სასმელ წყალზე დამზადებული ნიმუშების სიმტკიცეს-წყალი ვარგისია.

2.6. გამოყენებული დანამატები

როგორც გამოცდილებამ გვიჩვენა სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენება საგრძნობლად ცვლის ბეტონის სტრუქტურულ მახასიათებლებს და ფართო დიაპაზონში არეგულირებს, როგორც ბეტონის ნარევის, ასევე გამაგრებული ბეტონის თვისებებსაც.

კვლევები ჩატარდა ფრანგული წარმოების სპ Xel AH30N, გერმანული წარმოების მელმენტზე და ფრანგული წარმოების CHRYSO PREMIA G 180.

პირველი ორი პლასტიფიკატორი წარმოადგენს სულფირებულ მელამინ-ფორმალდეჰიდურ ფისს, ხოლო მესამე-პოლიკარბოქსილატს. ხასიათდებიან მკვეთრად გამოხატული მაპლასტიფიცირებელი თვისებებით. შესახედად ისინი გამჭვირვალე უფერო სითხეებია. მშრალი ნარჩენი 29,4%-ია. ფხვნილის სახით შეტანილი დანამატის ოპტიმალური რაოდენობა 0,5%-ია, შემკვრელის მასიდან. ჩვენს შემთხვევაში დანამატების გამოყენებამ მოგვცა შესაძლებლობა გაგვეზარდა ბეტონის სიმტკიცე 18 %-ით, ხოლო ცემენტის ხარჯის 15%-ით შემცირებისას ასადულაბებელი წყლის შემცირების ხარჯზე, შეგვენარჩუნებინა ბეტონის საწყისი სიმტკიცე.

დღეს ჩვენს ქვეყანაში უხვად შემოდის სხვადასხვა ქვეყანაში დამზადებული მაპლასტიფიცირებელი დანამატები, ვინაიდან ჩვენი არჩევანი შევაჩერეთ ფრანგული წარმოების სუპერპლასტიფიკატორ CHRYSO-ზე, რადგან იგი გამაგრების დამაჩქარებელია. მისი მეშვეობით შეგვიძლია მივიღოთ მაღალი სიმტკიცის ბეტონი და შევამციროთ თბოდამუშავების რეჟიმის ხანგრძლივობა. არსებობს უდიდესი ნაირსახეობები დანამატებისა, მაგრამ არ ჩავუღრმავდებით მათ კლასიფიკაციას და თითოეული მიმართულების დანამატის აღწერას, რადგან ეს საკითხი არ არის ჩვენი სამუშაოს ძირითადი ნაწილი და შევხებით მხოლოდ „ბეტონისა და დულაბის“ ნარეგების რეოლოგიური თვისებების რეგულატორებს ანუ სუპერპლასტიკატორებს, მაპლასტიფიცირებელი და წყალშეკავების უნარის დანამატებს.

მოთხოვნები გამოყენებული მასალებისადმი

- 2.1. ცემენტები, რომლებიც გამოიყენება სპ-იანი ბეტონის დასამზადებლად უნდა აკმაყოფილებდეს მოთხოვნებს ГОСТ 10178-92 „პორტლანდ-ცემენტი, წიდაპორტლანდცემენტი, პუცოლანური პორტლანდცემენტი და მათი სახესხვაობები“, ან საშუალო ალუმინატოვანი ცემენტის ჯგუფებისათვის.
- 2.2. მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონებისათვის ცემენტებს უნდა ჰქონდეს რაც შეიძლება მეტი აქტივობა და ცემენტის ცომის ნორმალური სისქე.

- 2.3. შემვსები ბეტონებისათვის სუპერპლასტიფიკატორების დანამატებით უნდა აკმაყოფილებდნენ სტანდარტებს ГОСТ 10268-92 „შემვსებები მძიმე ბეტონისათვის – ტექნიკური პირობები“.
- 2.4. სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონებში, შემვსებები მოიხმარება მხოლოდ სუფთა, ანუ გარეცხილი. მტვრისებრი, თიხოვანი და ლამოვანი მინარევების ქვიშაში არ უნდა აღემატებოდეს 1% (მასის მიხედვით). ღორღში, ნებისმიერი და ფირფიტოვანი ფორმის მარცვლები უნდა იყოს მინიმუმამდე დაყვანილი და არ უნდა აღემატებოდეს 10%.
- ღორღის სიმტკიცე კუმშვაზე წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში, უნდა აღემატებოდეს ბეტონის სიმტკიცეს არანაკლებ 1,5-ჯერ. რეკომენდებული ღორღის ფრაქციებია: 5-10; 10-20; მმ.
- 2.5. ბეტონის ნარევის მაღალი ერთგვაროვნების უზრუნველყოფის მიზნით, ნარევის დასამზადებლად საჭიროა გამოვიყენოთ მსხვილი შემავსებელი შედგენილი სხვადასხვა ფრაქციისაგან. დოზირებულ პროცენტებში მასის მიხედვით (ცხრილი 16).
- 2.6. შემვსებები ბეტონებისათვის სუპერპლასტიკატორის დანამატით როგორც წესი უნდა იყოს მშრალი. ბეტონებისათვის 600 მარკამდე დასაშვებია ნესტიანი შემვსების მოხმარება მისი წყლის შემცველობის გათვალისწინებით, ბეტონის ნარევის კომპონენტების დოზირებისას.

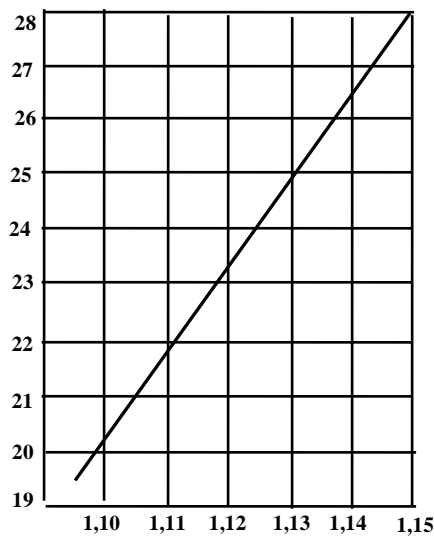
ცხრილი 32

მსხვილი შემავსებელი შედგენილი სხვადასხვა ფრაქციისაგან

შემვსების უდიდესი სისხო	სრული ნარჩენები პროცენტებში მასის მიხედვით, ზომების მიხედვით, მმ			
	40	20	10	5
40	0-5	50-60	75-80	100
20		0-5	65-75	100
10			0-5	100

- 2.7. წყალი ბეტონის ნარევისათვის სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით უნდა აკმაყოფილებდეს სტანდარტს „ბეტონისა და რკინაბეტონის მონოლითური კონსტრუქციები. სამუშაოების წარმოებისა და მიღების წესები“. ГОСТ 2874-4 წყალი უნდა იყოს გასუფთავებული ან სასმელი.

- 2.8. არმატურისთვის ფოლადი, კონსტრუქციების არმირებისთვის უნდა შეესაბამებოდეს ГОСТ 13015-9 „რკინაბეტონის ნაკეთობები. საერთო ტექნიკური მოთხოვნები“.
- 2.9. ჩატანებულ ფოლადის დეტალებს აუცილებლად უნდა ჰქონდეთ ანტიკოროზიული დაფარვა და შეესაბამებოდეს „დროებით მოთხოვნებს ფოლადის ჩატანებული დეტალების და შედუღებული შეერთებების ანტიკოროზიული დაცვის შესახებ სამშენებლო კონსტრუქციებში“ (CH 262-67).
- 2.10. სუპერპლასტიფიკატორი სინთეტური ნივთიერებაა, იწარმოება, როგორც გამჭვირვალე, ოდნავ ზეთოვანი ხსნარი. მასში მშრალი ნივთიერების შემცველობა სიმკვრივის დამოკიდებულებით 20°C ტემპერატურაზე მოყვანილია ნახ. 13-ში.



ნახ. 13. მშრალი მასალის შემცველობის დამოკიდებულება %-ში, ხსნარის სიმკვრივეზე 20°C-ის ტემპერატურის დროს

ცხრილი 33

მაკლასტიფიცირებელი დანამატის ტექნიკური მოთხოვნები

დასახელება	ნორმა
1. გარეგნული სახე	გამჭვირვალე, ოდნავ ზეთოვანი ხსნარი, დაიშვება ცოტაოდენი ნალექი
2. ხსნარის სიმკვრივე 20%, 20°C ტემპერატურის დროს	1,103
3. ხსნარში მშრალი პროდუქტის წილი %	20
4. pH 20%-იანი წყალხსნარის	6,8–7,2

ხსნარის სიმკვრივე არეომეტრის მეშვეობით განისაზღვრება. მზის სხივების ზემოქმედება სრულიად გამორიცხულია.

შენახვის საგარანტიო ვადა 3 თვეა, ამ ვადის გასვლის შემდეგ სუპერპლასტიფიკატორის ვარგისიანობა უნდა გაისინჯოს თავიდან ტექნიკური პირობების შესაბამისად.

საერთოდ მაპლასტიფიცირებელ დანამატებთან მუშაობისას საჭიროა დაცული იქნას პირადი ჰიგიენის ზომები.

2.6.1. ბეტონის შედგენილობის შერჩევის რიგითობა მაპლასტიფიცირებელი დანამატებით „მელმენტით, Xel AH30N და PREMIA G180-თი

- 3.1. ბეტონის შედგენილობის შერჩევა სუპერპლასტიფიკატორების დანამატებით რეკომენდებულია ჩატარდეს ისე, რომ უდანამატო ბეტონის დაპროექტებულ და შერჩეულ შედგენილობას გაუკეთდეს კორექტირება.
- 3.2. ბეტონის შედგენილობის შერჩევა სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით წარმოებს ბეტონის ნარევის ძვრადობის, სიხისტის მაჩვენებლებისა და ბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით. ამ დროს საჭიროა დაცული იქნას შემდეგი პირობები:
 - ა) წყალცემენტის ფარდობა ბეტონის ნარევისა დანამატით არ უნდა იყოს მეტი, ვიდრე ბეტონის დანამატის გარეშე (აგრეთვე გათვალისწინებული უნდა იყოს წყლის რაოდენობა სუპერპლასტიფიკატორის წყალხსნარში);
 - ბ) ქვიშის წილის შემცველობა შემსვების ნარევაში ბეტონისათვის სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით უნდა იყოს იგივე რაც ბეტონისათვის დანამატის გარეშე.
- 3.3. ბეტონის შედგენილობის კორექტირება სუპერპლასტიფიკატორის დანამატებით, ბეტონის ნარევის ძვრადობის გასაზრდელად, მდგომარეობს იმაში, რომ დავადგინოთ დანამატისა და ქვიშის ოპტიმალური რაოდენობა შემავსებლის ნარევაში. ამ მიზნით შეყვანილი სუპერპლასტიფიკატორის რაოდენობა რეკომენდირებულია განისაზღვროს 1,4 გრაფიკის მიხედვით (იხ. გრაფიკი)

M-400 მარკის ბეტონებისათვის

№№	მასალების დასახელება	შედგენილობები						სიმტკიცის მაჩვენებლები						
		საწარმოო დანამატის გარეშე			საწარმოო დანამატის გამოყენება			თბოტენიანი დამუშავების შემდეგ		ბუნებრივი (ნორმალური) გამყარების პირობები				
		ხარჯი 1 მ ³ ბეტ.	კ/ჯ სმ	წ/ც	ხარჯი 1 მ ³ ბეტ.	კ/ჯ სმ	წ/ც	R ¹	R ²⁸	R ¹	R ³	R ⁷	R ¹⁴	R ²⁸
1	ცემენტი	630			530									
2	ქვიშა	500			650									
3	ღორღი	1050	7-9	0,365	1000	13-15	0,351	$\frac{390}{250}$	$\frac{555}{405}$	$\frac{276}{192}$	$\frac{384}{297}$	$\frac{510}{363}$	$\frac{587}{382}$	$\frac{628}{418}$
4	წყალი	230			186									
5	დანამატი	–			(0,4%) 2,12									

M-300 მარკის ბეტონებისათვის

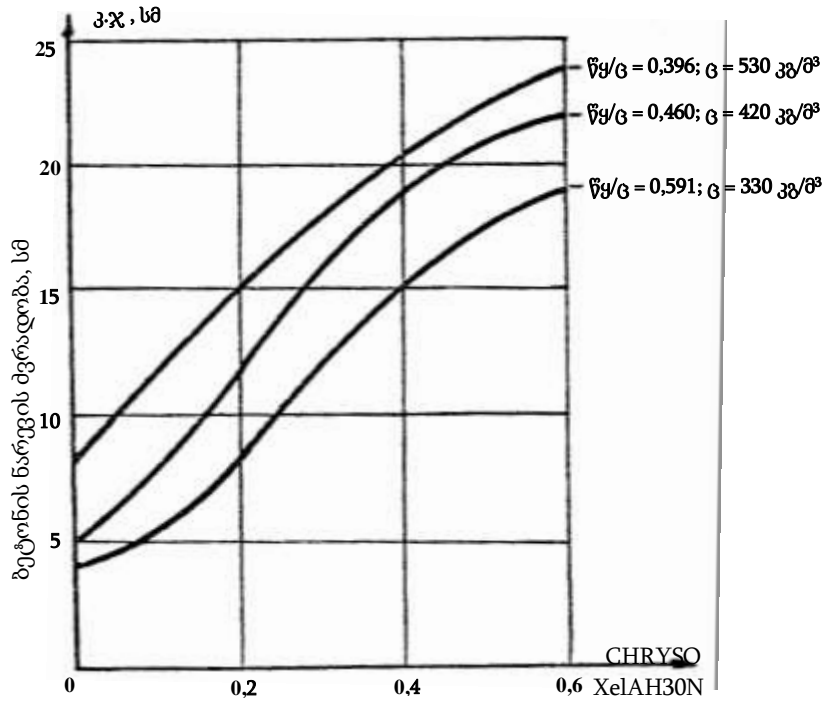
№№	მასალების დასახელება	შედგენილობები						სიმტკიცის მაჩვენებლები					
		საწარმოო დანამატის გარეშე			საწარმოო დანამატის გამოყენება			თბოტენიანი დამუშავების შემდეგ		ბუნებრივი (ნორმალური) გამყარების პირობები			
		ხარჯი 1 მ ³ ბეტ.	კ/ჯ სმ	წ/ც	ხარჯი 1 მ ³ ბეტ.	კ/ჯ სმ	წ/ც	R ¹	R ²⁸	R ¹	R ³	R ⁷	R ²⁸
1	ცემენტი	424			424								
2	ქვიშა	680			680								
3	ღორღი	1160	4-6	0,46	1160	10-12	0,408	$\frac{266}{175}$	$\frac{325}{302}$	$\frac{90}{50}$	$\frac{208}{132}$	$\frac{274}{200}$	$\frac{355}{290}$
4	წყალი	195			173								
5	დანამატი	-			(0,4%) 1,7								

სუპერპლასტიფიკატორის გამოყენების ოპტიმალური დოზირება და სხვა მაჩვენებლები მოცემულია ჰაიდელბერგის კასპისა და რუსთავის პორტლანდცემენტებისათვის.

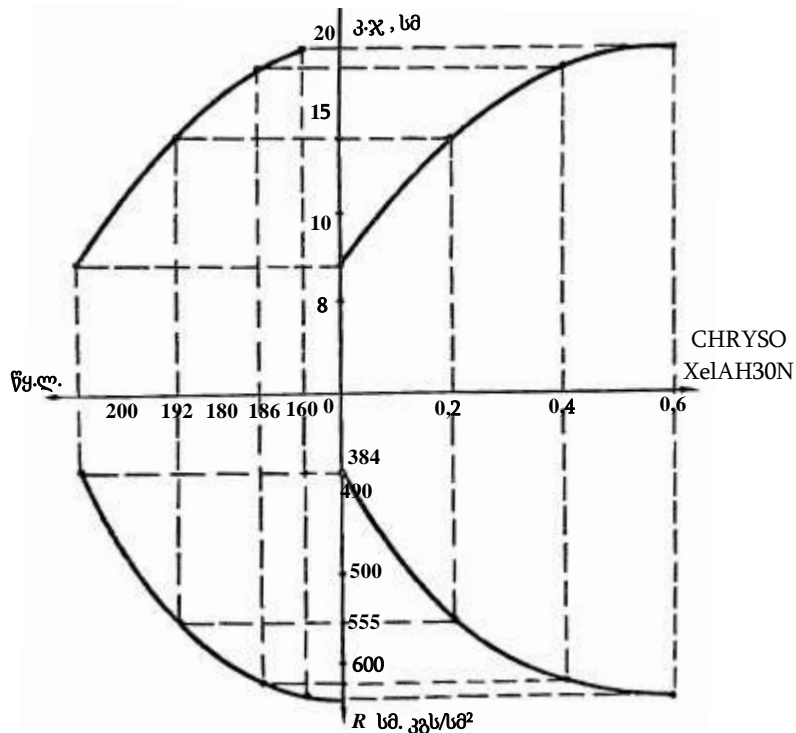
- 3.4. წყალმოთხოვნის სიდიდის შემცირება ბეტონის ცემენტის ცომის დუღაბში სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით განისაზღვრება FOCT – 310.4-92 „ცემენტები. სიმტკიცის ზღვარის განსაზღვრის მეთოდები ღუნვასა და კუმშვაზე“.
- 3.5. იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა გამოვიყენოთ მაკლასტიფიცირებული დანამატი, ბეტონის სიმკვრივისა და სიმტკიცის მომატებისათვის, მაშინ ბეტონის ნარევის ძვირადობა განისაზღვრება ადუღაბებისათვის საჭირო წყლის შემცირებული ხარჯით და დუღაბის წყალმოთხოვნის შემცირების მიხედვით.
- 3.6. მელამინ-ფორმალდეჰიდური ტიპის, ანუ XelAH30N ან G-180-ის გამოყენება ცემენტის ხარჯის შემცირების მიზნით შესაძლებელია ცემენტისა და წყლის ხარჯის ერთდროული შემცირებით, წყ/ც. ფარდობის შენარჩუნებით. (ნახ. 17).
- 3.7. არჩეული ნარევიდან ვაყალიბებთ ნიმუშებს, რათა გამოვცადოთ სიმტკიცეზე კუმშვისას. სუპერპლასტიფიკატორის ოპტიმალურ დოზირებად ითვლება ის რაოდენობა, რომლის შეტანისას მიიღწევა ნარევის მაქსიმალური პლასტიფიცირება, ან ცემენტის ხარჯის შემცირება.

2.6.2. სუპერპლასტიფიკატორ Xel AH30N,მელმენტისა და CHRYSO PREMIA G180 შეყვანა ბეტონის ნარევაში

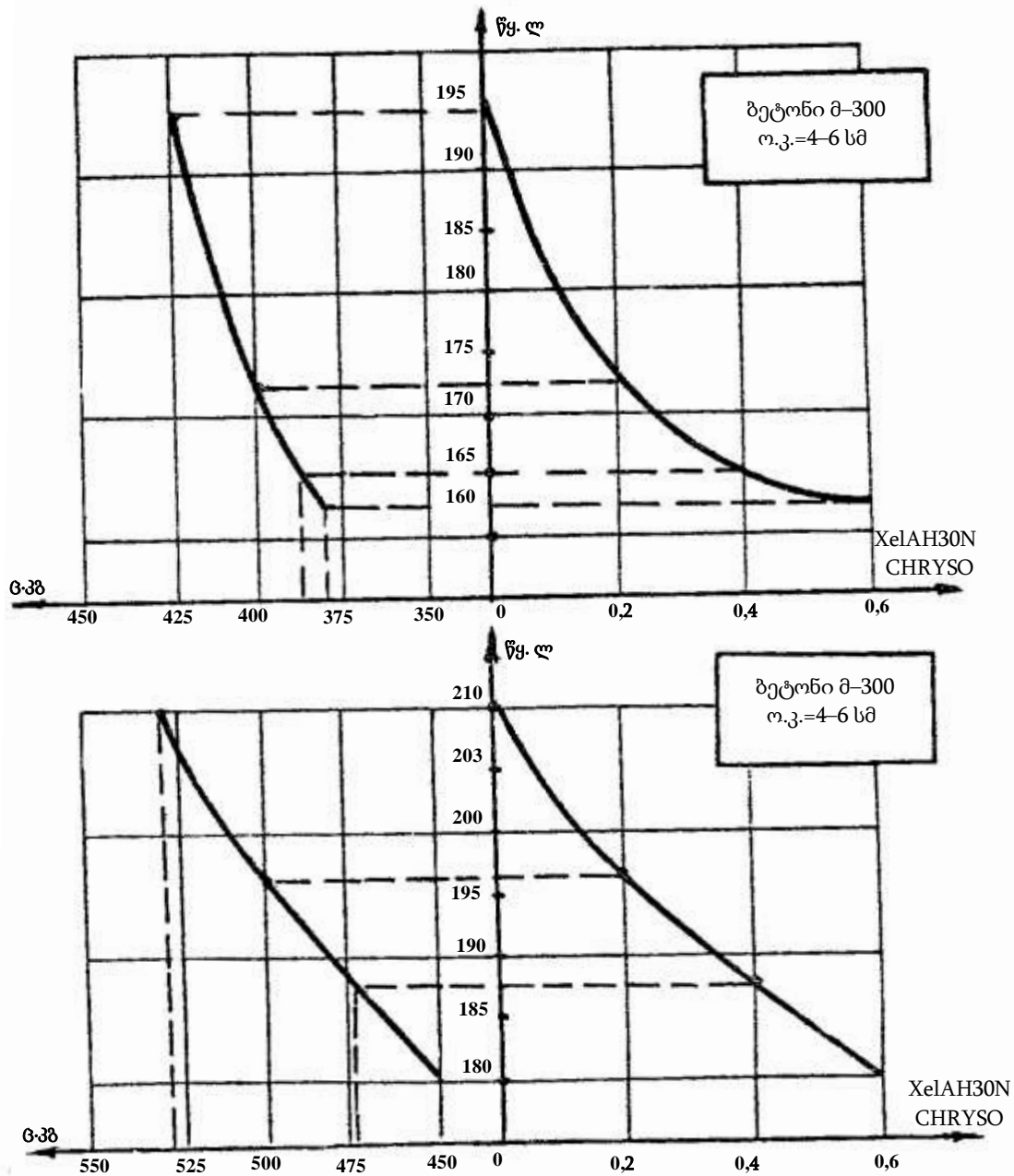
- 4.1. სუპერპლასტიფიკატორი ბეტონის ნარევაში შეიყვანება 20%-იანი წყალხსნარის სახით. ამ დროს დანამატი შეიძლება შეყვანილ იქნას ნარევაში, ცალკე ხსნარის სახით, ან ასადუღაბებელ წყალთან ერთად.
- 4.2. თუ ჩვენ გვაქვს სუპერპლასტიფიკატორის მშრალი კონცენტრატი ან სამუშაო კონცენტრირებული 20%-იანი ხსნარი, ხსნარი სასურველია მომზადდეს 0,5 საათით ადრე გამოყენებამდე.



ნახ. 14. სუპერპლასტიფიკატორის ხარჯის დადგენა ბეტონის ნარევის დასახული ძვრადობის მისაღებად სხვადასხვა წყ/ც-ისა და ცემენტის ხარჯისას



ნახ. 15. წყლის ხარჯისა და სუპერპლასტიფიკატორის დამოკიდებულება ბეტონის სიმტკიცეზე და ნარევის ძვრადობაზე, ცემენტისა და შემესებების უცვლელი რაოდენობისას



ნახ. 16. ცემენტის, წყლის და სუპერპლასტიფიკატორების ხარჯის დადგენა, შემცველების მოცემული ხარჯისას ბეტონებისათვის

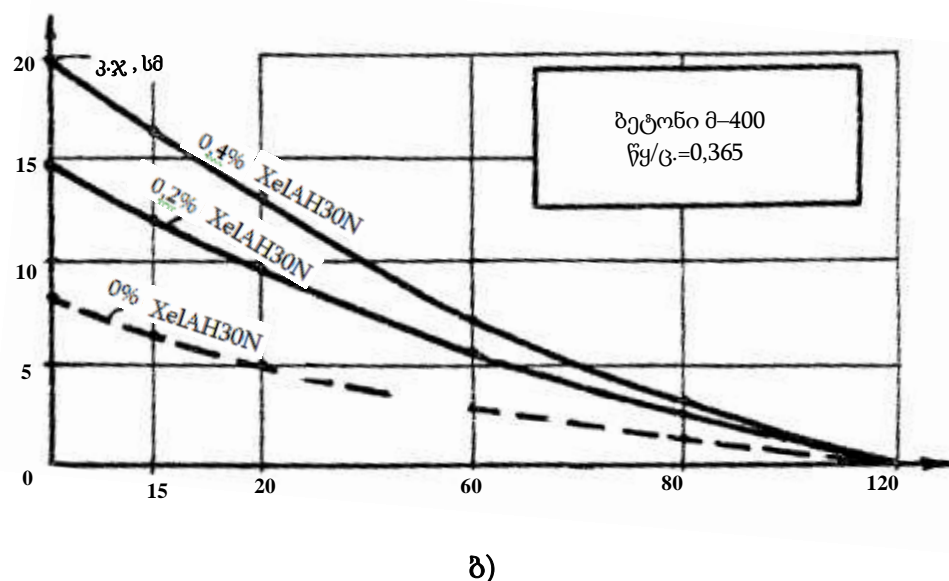
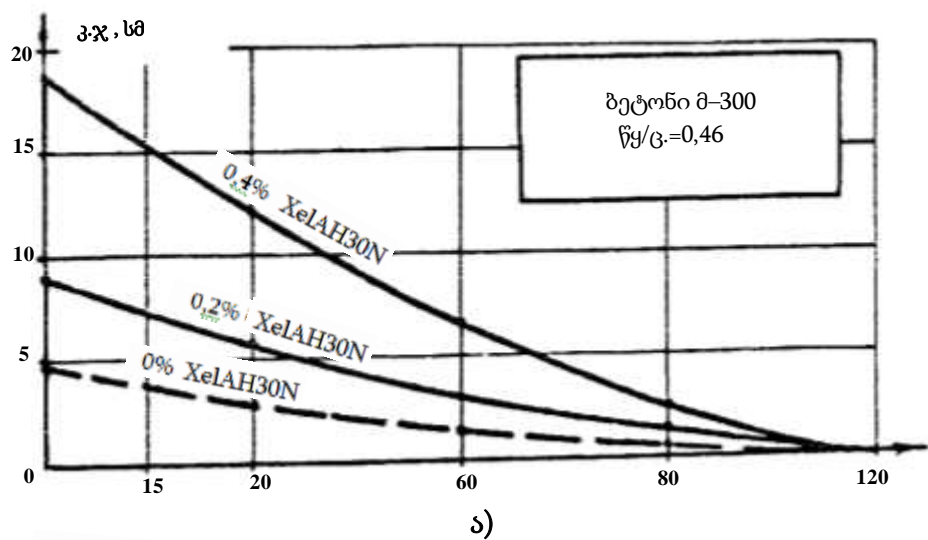
4.3. საჭირო რაოდენობის დანამატის შეტანა ბეტონის ნარევიში მიმდინარეობს საწარმოო პირობების გათვალისწინებით ბეტონის კვანძზე ცალკე მიმაგრებულ დოზატორიდან ან ასადულაბებელ წყალთან ერთად. სუპერპლასტიფიკატორის დოზირების სიზუსტე არის $\pm 1,0\%$ მიღებული კონცენტრაციის სამუშაო ხსნარის მოცულობიდან.

2.6.3. პლასტიფიცირებული ბეტონის ნარევის მომზადება და ტრანსპორტირება

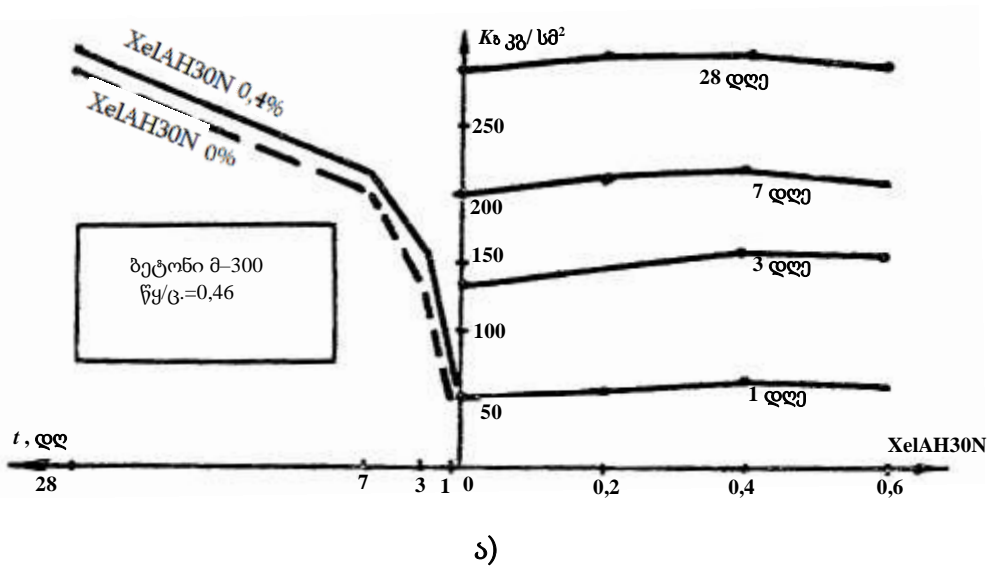
- 5.1. ბეტონის მომზადების ტექნოლოგია მაპლასტიფიცირებელი დანამატით ჩვეულებრივისგან განსხვავდება იმით, რომ ბეტონსარევი წყალთან ერთად მიეწოდება საჭირო დანამატის რაოდენობა, განსაზღვრული შედგენილობის დროს. ამ დროს ბეტონის კომპონენტების არევის ხანგრძლივობა უნდა შეესაბამებოდეს მოთხოვნებს (СНП-П-В 1-70) „ბეტონისა და რკინაბეტონის მონოლითური კონსტრუქციების სამუშაოების წარმოების და მიღების წესები“. ბეტონის ნარევის მომზადება სასურველია მიმდინარეობდეს იძულებითი მოქმედების ბეტონსარევიებში, რადგან ისინი უზრუნველყოფენ კომპონენტების ხარისხიან არევას.
- 5.2. დრო პლასტიფიცირებული ბეტონის არევის მომენტიდან ყალიბში ჩაწყობამდე და ტრანსპორტირება ბეტონისა დანიშნულებისამებრ უნდა იყოს 1,7 გრაფიკით დადგენილ ზღვრებში.
- 5.3. ტრანსპორტირება ბეტონის ნარევის სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით, მილგაყვანილობებით, ბეტონტუმბოებით და სხვა. ბეტონის ნარევის საჭირო კონსისტენცია უნდა დაინიშნოს ნარევის ძვირადობის დაკარგვის დროის გათვალისწინებით 1.7 გრაფიკით.

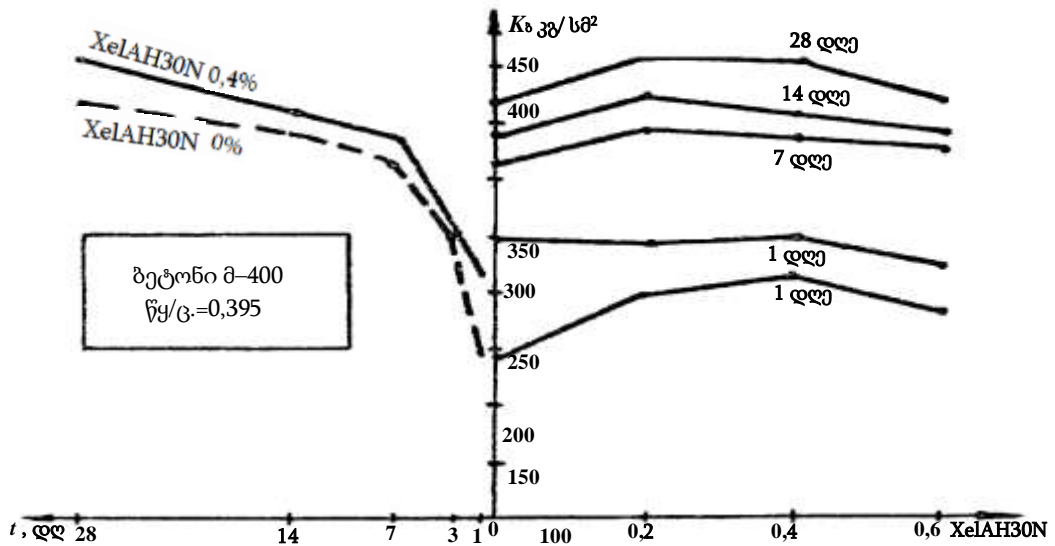
6. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების და კონსტრუქციები დაყალიბება

- 6.1. სუპერპლასტიკატორების გამოყენება ცემენტის გაზრდილი ხარჯებისას (450 კგ/მ³ და მეტი) გვაძლევს შესაძლებლობას გამოვიყენოთ დაბეტონების ტექნოლოგია ვიბრირების გარეშე, ხოლო შემცირებული ცემენტის ხარჯებისას, შეიძლება დაგვჭირდეს ნაწილობრივი ვიბროგამკვრივება. დამზადების ტექნოლოგიური რეჟიმი დადგენილია დასაბეტონებელი კონსტრუქციის სახეობის გათვალისწინებით, (გრაფიკა ნახ. 17). აუცილებელია ფორმების დახეთვა, ძვრადი და სხმული ბეტონის ნარევიების გამოყენებისას. ემულსია და სხვა მასალები, ფორმების დასაზეთად არ უნდა რეაგირებდნენ დანამატთან.



ნახ. 17. ბეტონის წარების ძვრადობის ცვლილება სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით, დაყოვნების დროის მიხედვით





ბ)

ნახ. 18. ბეტონის სიმტკიცის ცვლილების დინამიკა დროში სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით

7. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობების და კონსტრუქციების გამაგრების და თბოდამუშავების რეჟიმები

- 7.1. ბეტონის ნარეგების გამაგრება სუპერპლასტიფიკატორების დანამატით შესაძლებელია ნორმალური რეჟიმის დროს (გამაგრება ნორმალურ პირობებში), ასევე თბოდამუშავებით სასურველია გაორქლვით.
- 7.2. ბეტონის ნარეგის თბოდამუშავება, სუპერპლასტიფიკატორის დანამატით შეიძლება ჩატარდეს რბილი რეჟიმით იზოთერმული გახურების ტემპერატურის შემცირებით $50^{\circ}-60^{\circ}$ -მდე და ციკლის საერთო ხანგრძლივობის შემცირებით კონკრეტული პირობებისათვის, ნაკეთობების სახეობის გათვალისწინებით, ცემენტის და სხვა მაჩვენებლებით.
- 7.3. შესაბამისი ლაბორატორიული შემოწმებით, დასაშვებია თბოდამუშავება დაჩქარებული (ფორსირებული) რეჟიმით, ან უფრო შემცირებული ტემპერატურით იზოთერმული გახურებისას (40° -მდე).

თავი 3

ბეტონისა და ბეტონის ნარევის მექანიკური თვისებების კვლევის მეთოდები

პორტლანდცემენტის აქტიობა განისაზღვრება სტანდარტის 310.4-81 „ცემენტები. ღუნვისა და კუმშვისას კუმშვაზე ზღვრის განსაზღვრა“-ით.

ბეტონის შედგენილობის შერჩევა წარმოებდა სტანდარტის 27006-86 შესაბამისად „ბეტონები შედგენილობის შერჩევის წესები“. ბეტონის ჩაწყობა განისაზღვრებოდა სტანდარტ 7473-2010-ით „ბეტონის ნარევი. ტექნიკური პირობები“. სიმტკიცის განსაზღვრა – სტანდარტ 10180-90-ის შესაბამისად „ბეტონები. სიმტკიცის განსაზღვრის მეთოდები საკონტროლო ნიმუშების მიხედვით“ მუშა შედგენილობის ბეტონის ნარევისგან დამზადებული ნიმუშების სერიაზე, ინახებოდა სტანდარტ 18105-ით დადგენილი პირობების თანახმად.

ბეტონის გამოცდა ყინვამედეგობაზე ხორციელდებოდა სტანდარტის 10060.3-95 თანახმად „ბეტონები. ყინვამედეგობის დადგენის დაჩქარებული განსაზღვრის დილატომეტრიული მეთოდი“ მოწყობილობით დოდ-იუ 0.5 კ/ზ.

ღრუტანიანი გადახურვის ფილების და შპალების გამოცდა ბზარმედეგობაზე (გამოსაცდელი მანქანა ტიპი დგ-40) ხორციელდებოდა სტანდარტ 10629-88-ით.

3.1. ექსპერიმენტალური კვლევის ფაქტორული სივრცე

წარმოდგენილია მონაცემები სადისერტაციო კვლევის წინაშე დასმული ექსპერიმენტალური კვლევების შესახებ.

განხილულია ნაკეთობის თბოტენიანი დამუშავების საერთო ციკლის პერიოდები: წინასწარი დაყოვნება; ტემპერატურის მატება, ტემპერატურული გრადიენტის გათვალისწინებით; იზოთერმული დაყოვნება დადგენილ ტემპერატურაზე, გაცივება. თბური დამუშავების რეჟიმები შერჩეულია

ნაკეთობის სისქის, გამოყენებული ცემენტის სახის, ბეტონის მოთხოვნილი სიმტკიცის, ორთქლის მიყვანის ხერხის და სხვა ფაქტორების გათვალისწინებით.

ბეტონის გაორთქლვა მნიშვნელოვნად აჩქარებს გამყარების ფიზიკურ ქიმიურ პროცესებს, რაც საშუალებას იძლევა მოკლე დროში მივიღოთ სასურველი სიმტკიცის ნაკეთობა. ბეტონში სტრუქტურული ცვლილებების თავიდან აცილების მიზნით მივმართავთ წინასწარ დაყოვნებას. წინასწარი დაყოვნების ხანგრძლივობა არ არის დადგენილი და დამოკიდებული რამდენიმე ფაქტორებზე (ცემენტის აქტივობაზე და სხვა) და მერყეობს 1-დან 5-სთ-მდე ფარგლებში. წინასწარი დაყოვნების ოპტიმალური ხანგრძლივობა და ტემპერატურის აწევის სიჩქარე მოცემულია ცხრ. 36.

ცხრილი 36

ბეტონის წინასწარი დაყოვნების რეკომენდებული ხანგრძლივობა

ცემენტისა და ბეტონის კლასი/მარკა	ბეტონის საწყისი სიმტკიცე, მპა	წინასწარი დაყოვნების ხანგრძლივობა, 20°C	კამერაში ტემპერატურის აწევის სიჩქარე °C/საათში
ბეტონი M-300 და M-400	0,1...0,2	2,0...2,5	20...25
პორტლანდცემენტი M-500	0,3...0,5	3,0...3,5	35...40
ბეტონი M-500 და M-600	0,1...0,2	1,5...2,0	25...30
პორტლანდცემენტი M-600	0,3...0,5	2,0...2,5	40...45

იზოთერმული გახურების ოპტიმალური ტემპერატურა პორტლანდ-ცემენტის შეკვრელად გამოყენებისას, არის 80-85°C, ხოლო წიდაპორტლანდ-ცემენტის და პუცოლანური პორტლანდცემენტის გამოყენების დროს 90-95°C. ზოგიერთ შემთხვევაში რეკომენდებული იზოთერმული გახურების ტემპერატურა 60-70°C-ია. თბოდამუშავების რეჟიმებმა უნდა უზრუნველყოს ბეტონების მიღება, რომლებიც პასუხობენ უპირველესად სიმტკიცის მოთხოვნებს და შემდეგ სხვა დანარჩენ თვისებებს. რეჟიმის დანიშვნა გაორთქლვის დროს ხორციელდება ცემენტის აქტიურობის გათვალისწინებით. ეს გვადლევს საშუალებას ავირჩიოთ ცემენტები, რომლებითაც მიიღება საუკეთესო ეფექტი. ცემენტის აქტივობის შეფასების მიზნით განისაზღვრება მისი ეფექტურობის კოეფიციენტი გაორთქლვისას.

$$K_c = R_c / R_c^{28} . \quad (1)$$

სადაც R_c -ცემენტის აქტივობაა გაორთქვის დროს; R_c^{28} ნორმალური გამაგრების ცემენტის აქტივობაა 28 დღე/დამ.ასაკში (ГОСТ 310,4-92) R_c – ცემენტის ეფექტურობის კოეფიციენტის მიხედვით ავირჩიეთ ცემენტის ჯგუფი მე-37 ცხრილიდან.

ცხრილი 37

კოეფიციენტ R_c მნიშვნელობა

ცემენტის ჯგუფი	ცემენტის სახე	R_c
I	მაღალეფექტური	$\geq 0,68$
II	საშუალოდ ეფექტური	0,57 ...0,67
III	დაბალეფექტური	$\leq 0,56$

იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლივობა გაორთქლისას უნდა დაინიშნოს გამოყენებული ცემენტის ჯგუფის, განყალიბებისა და ბეტონის გასაშვები სიმკიცის მიხედვით. 38 -ე ცხრილში წარმოდგენილია სხვადასხვა სიმკიცის ბეტონის საორიენტაციო მნიშვნელობები, სხვადასხვა მარკის ცემენტების გამოყენებით. ეს მნიშვნელობები დამოკიდებულია იზოთერმული გახურების ხანგრძლივობაზე, კამერაში გარემოს ტემპერატურისა და საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის ვადებზე ცხრ. 39 პორტლანდცემენტზე და წიდაპორტლანდცემენტზე (-400.. -500) დამზადებული მძიმე ბეტონის სიმკიცის ზრდის დამოკიდებულება თბოტენიანი დამუშავების ციკლზე (80-85°C), ბეტონის კლასზე და საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის ვადებზე.

კასეტებში ნაკეთობების თბოდამუშავებისას ნაკეთობების გახურება ხდება კონტაქტური მეთოდით. კასეტების თბონაკვეთურების გასახურებლად გამოიყენება განსხვავებული თბომატარებლები: წყლის ორთქლი, ცხელი ჰაერი, საწვავის წვის პროდუქტები, ტენები და სხვა ელექტოგამხურებლები. ნაკეთობების თბოდამუშავებისას კასეტებში, თბომატარებლების მიმართ წაყენებული ძირითადი მოთხოვნაა ნაკეთობის მთელი ზედაპირის თანაბარზომიერი გაცხელება. ტემპერატურათა სხვაობა გამყოფ ნაკვეთურებს შორის დასაშვებია არაუმეტეს 15-20°C-ისა. ნაკეთობის უკეთ გახურების მიზნით მიზანშეწონილია 50-60°C-მდე შემთბარი ბეტონის გამოყენება. იზოთერმული გახურების სტადია შედგება ორი პერიოდისაგან: ორთქლის

ბეტონის კლასისა და საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის ვადები

საპროექტო სიმტკიცე 28 დღ/დამის ასაკში	ბეტონის ც/წყ საორიენტაციო მნიშვნელობა	თბოტენიანი დამუშავების საერთო ციკლი, სთ	ბეტონის სიმტკიცე %-ში საპროექტოსთან შედარებით თბოტენიანი დამუშავების შემდეგ, საკონტროლო ნიმუშების გამოცდისას, სთ			
300	2-1,7	5	28-38	35-45	38-48	41-51
300	2-1,7	7	38-48	45-55	48-58	50-60
300	2-1,7	9	47-57	52-62	55-65	58-68
300	2-1,7	11	52-62	57-67	60-70	63-73
300	2-1,7	13	56-66	60-70	64-74	66-76
300	2-1,7	16	60-70	63-73	66-76	68-68
300	2-1,7	20	62-72	65-75	68-78	70-80
400	2,5-2,2	5	36-46	40-50	43-53	46-56
400	2,5-2,2	7	46-56	50-60	53-63	55-65
400	2,5-2,2	9	52-62	56-71	64-74	65-74
400	2,5-2,2	11	58-68	61-71	64-74	65-75
400	2,5-2,2	13	62-72	65-75	68-78	69-79
400	2,5-2,2	16	65-75	68-78	70-80	71-81
400	2,5-2,2	20	66-86	70-80	72-82	72-82
500	3-2,8	5	42-52	45-55	48-58	50-60
500	3-2,8	7	55-62	55-65	58-68	50-60
500	3-2,8	9	59-69	62-72	65-75	66-76
500	3-2,8	11	64-74	67-77	70-80	71-80
500	3-2,8	13	67-77	70-80	73-83	74-84
500	3-2,8	16	70-80	73-83	75-85	75-85
500	3-2,8	20	72-82	75-86	76-86	76-86

შენიშვნა: თბოტენიანი დამუშავების საერთო ხანგრძლივობა შეესაბამება შემდეგ რეჟიმებს: 5 სთ – (0,5)+2 +2 = 0,5; 7 სთ – (1)+2+3,5+0,5; 9 სთ – (1)+3+4+1; 11 სთ – (2)+3+5+1; 13 სთ – (2)+3+6+2; 16 სთ – (2)+3+9+2; 20 სთ – (2)+3+13+2.

თბოლდამუშავების რეჟიმები სხვადასხვა ჯგუფის ცემენტისათვის

თბოლდამუშავების სტადია	ცემენტის ჯგუფი	
	I	II
წინასწარი დაყოვნება, სთ	1-3	2-3
ტემპერატურის აწევა 80-85°C,	3-4	3-4
იზოთერმული გახურება, სთ	6-12	6-12
გაცივება, სთ	2	2

მიწოდება თბურ ნაკეთურში და ტემპერატურის შენარჩუნება შემდგომი დაყოვნებით, სითბოს მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ. სათბობი ნაკეთურების სპეციალური გაცივება საჭირო არ არის.

თბოლდამუშავების საერთო ციკლის შესამცირებლად გამოვიყენეთ არაერთი ღონისძიება: მაგ. მცირე დაწნევის კამერებში, გაორთქლვა ჭარბი

წნევით 0,3 მპა-მდე; გაორთქლვა მიტვირთვით. ამ დროს თბოდამუშავების ხანგრძლივობა მცირდება 1-1,5 სთ, წინასწარ გახურებული ბეტონის ნარევის 55°C დროს, 1-2 სთ-მდე, გამაგრების დამაჩქარებელი დანამატების გამოყენებისას 2-4 საათით. თბოდამუშავების რეჟიმების დანიშვნისას, აუცილებლად გავითვალისწინეთ ნაკეთობის გაბარიტული ზომები, განსაკუთრებით სისქე, ბეტონის სახე (მსუბუქი, მძიმე) დანიშნულება და კონსტრუქციის მუშაობის პირობები.

კვლევებით დავადგინეთ, რომ ბეტონის თვისებები და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები განისაზღვრება, არა იმდენად ფაზური გარდაქმნებითა და ახალწარმონაქმნების ფაზური შედგენილობით, რომლებიც წარმოიშვება ცემენტის ჰიდრატაციის დროს, არამედ ბეტონის მთლიანი სტრუქტურით. ასე, მაგალითად, ჰიდრატაციის პროცესი 20°C-დან 80°C-მდე გახურებისას, აჩქარებს რეაქციებს 6-ჯერ, ხოლო 100°C-მდე კი 10-ჯერ.

სხვადასხვა ჯგუფის ცემენტებზე დამზადებული მძიმე ბეტონების სიმტკიცის ზრდის დინამიკა მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

ცხრილი 41

სხვადასხვა ჯგუფის ცემენტებზე დამზადებული მძიმე ბეტონების სიმტკიცის ზრდის კინეტიკა

ბეტონის კლასი (მარკა)	ცემენტის ჯგუფი	K_n	იზოთერმული გახურების ტემპერატურა, C°	სიმტკიცე, % R ₂₈ -დან იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლივობასთან მიმართებაში, სთ			
				4	6	12	18
B 22,5 (300)	I	0,68	80	57065	65-71	71-75	75-77
			60	38-46	47-54	55-60	64-67
			40	16-25	30-38	41-47	52-56
	II	0,57-0,67	80	51,59	60-67	67-72	73-75
			60	30-39	40-48	50-56	60-64
			40	11-20	26-36	35-42	45-50
	III	0,56	80	44-53	53-61	60-60	68-72
			60	20-30	32-41	42-49	52-57
			40	-	17-27	25-33	33-39
B 30 (400)	I	0,68	80	65-70	70-75	77-80	80-81
			60	44-50	53-59	62-66	73-75
			40	26-34	38-45	50-55	62-65
	II	0,57-0,67	80	58-64	65-70	73-77	78-80
			60	46-53	46-53	57-62	67-70
			40	35-43	35-43	44-50	52-56
	III	0,56	80	48-57	58-68	67-72	76-79
			60	24-33	38-46	50-56	61-75
			40	11-20	22-31	32-39	41-46

ცხრილი 41-ის გაგრძელება

ბეტონის კლასი (მარკა)	ცემენტის ჯგუფი	K_n	იზოთერმული გახურების ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$	სიმტკიცე, % R_{28} -დან იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლიობასთან მიმართებაში, სთ			
				4	6	12	18
1	2	3	4	5	6	7	8
B 37,5 (500)	I	0,68	80	69-74	74-78	81-83	83-84
			60	49-56	58-63	67-71	75-76
			40	34-42	45-51	56-61	65-67
	II	0,57-0,67	80	64-70	70-75	76-79	81-82
			60	45-53	53-60	61-65	70-72
			40	11-20	22-31	32-39	41-46
	III	0,56	80	56-63	63-69	70-74	77-79
			60	28-36	45-52	54-58	64-67
			40	16-25	28-36	35-41	43-67

შენიშვნა: გახურების ყველა ტემპერატურაზე, მიღებულია რომ წინასწარი დაყოვნების დრო არის 2 სთ, ტემპერატურის აწევის სიჩქარე 15°C/სთ -ში, გაცივება კამერაში – 2 სთ, ნიმუშების გამოცდა წარმოებს თბოდამუშავების 4 სთ-ის შემდეგ.

თბოტენიანი დამუშავებისას პორტლანდცემენტზე და წიდაპორტლანდცემენტზე დამზადებული მძიმე ბეტონის (B30-40) სიმტკიცის მატება წარმოდგენილია ქვემოთ მოცემულ 42-ე ცხრილში.

ცხრილი 42

პორტლანდცემენტზე და წიდაპორტლანდცემენტზე დამზადებული მძიმე ბეტონის (B30-40) სიმტკიცის მატება

ბეტონის საპროექტო კლასი 28 დღ/დ	ბეტონის საორიენტაციო ც/წყ	თბოტენიანი დამუშავების საერთო ციკლი, სთ	ბეტონის სიმტკიცე, საპროექტოდან %, საკონტროლო ნიმუშების გამოცდისას თტდ-ის შემდეგ			
			0,5 სთ-ის შემდეგ ცხელ მდგომარეობაში	4 სთ-ის შემდეგ	12 სთ-ის შემდეგ	24 სთ-ის შემდეგ
1	2	3	4	5	6	7
B-22.5	2-1,7	5	28-38	35-45	38-48	41-51
		7	38-48	45-55	48-58	50-60
		9	47-57	52-62	55-65	58-68
		11	52-62	57-67	60-70	63-73
		13	56-66	60-70	64-74	66-76
		16	60-70	63-73	66-76	68-78
		20	62-72	65-75	68-78	70-80
B-30	2,5-2,2	5	37-46	40-50	43-53	46-56
		7	46-56	50-60	53-63	55-65
		9	52-62	56-66	60-70	61-71
		11	58-68	61-71	64-74	65-75
		13	62-72	65-75	68-78	69-79
		16	65-75	68-78	70-80	71-81
		20	66-76	70-80	72-82	72-82

ცხრილი 42-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7
B-40	3-2,8	5	42-52	45-55	48-58	50-60
		7	52-62	55-65	58-68	60-70
		9	59-69	62-72	65-75	66-76
		11	64-74	67-77	70-80	71-81
		13	67-77	70-80	73-83	74-84
		16	70-80	73-83	75-85	75-85
		20	72-82	75-85	76-86	76-86

შენიშვნა: თბოტენიანი დამუშავების საერთო ხანგრძლიობა შეესაბამება შემდეგ რეჟიმებს: 5 სთ – (0,5) + 2 + 2 + 0,5 სთ; 7 სთ – (1) + 2+ 3,5 + 0,5 სთ;
 9 სთ – (1) + 3 + 4 + 1 სთ; 11 სთ – (2) + 3 + 5 + 1 სთ;
 13 სთ – (2) + 3 + 6 + 2 სთ 16 სთ – (2) + 3 + 9 + 2 სთ;
 20 სთ – (2) + 3 + 13 + 2სთ;

ცხრილი 43

მძიმე ბეტონის თბური დამუშავების რეჟიმები თბოთერმული დაყოვნების 80-85°C ტემპერატურაზე (ბეტონის გასაშვები სიმტკიცე 70%-ის საპროექტოდან)

ბეტონის კლასი	თბოდამუშავების რეჟიმები სთ-ში, ბეტონის ნაკეთობების სისქისას, მმ-ში		
	160-მდე	300-მდე	300-ზე მეტი
B-22.5	9 (3+4+2)	10 (3+5+2)	11 (3,5+5+2,5)
B-30	8,5 (3+3,5+2)	9(5 (3+3,5+2)	10,5 (3+4,5+2,5)
B-40	8 (3+3+2)	9 (3+4 +2)	10 (3+4,5+2,5)
B-45	7 (3+2+2)	8 (3+3+2)	9 (3+3,5+2,5)

შენიშვნა: 400 მ-მდე წიდაპორტლანდცემენტის გამოყენებისას იზოთერმული გახურების ხანგრძლიობა იზრდება 1,5-2 საათით, ცხრილში მოცემულთან შედარებით. ხოლო ქიმიური დანამატების გამოყენებისას თტდ-ის ციკლი მცირდება 1-3 სთ-ით, ტემპერატურის აწევის და იზოთერმული დაყოვნების ხარჯზე.

როდესაც ვსაუბრობთ წინასწარდამაბულ კონსტრუქციებზე, უნდა აღინიშნოს, რომ წინასწარდამაბვის ფაქტიური დანაკარგი, რომელიც ტემპერატურის სხვაობით წარმოიქმნება, არ უნდა აღემატებოდეს საპროექტოს, აუცილებელია რომ ტემპერატურის სხვაობა 65°C-ს არ აღემატებოდეს, ხოლო იზოთერმული გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა 80°C-ს. ხაზოვან სტენდებზე დამზადებული წინასწარდამაბული კონსტრუქციების თბოდამუშავების საორიენტაციო რეჟიმებს ვიღებთ:

	დრო, სთ
ტემპერატურის აწევა 50°C-მდე	2
იზოთერმული გახურება 50°C-ის დროს	4
ტემპერატურის აწევა 80°C-მდე	1
იზოთერმული გახურება 80°C-ზე	7
გაცივება	1

სულ 15

შენიშვნა: ნაკეთობების პოლიგონებზე დამზადებისას, ზამთრის პერიოდში უარყოფითი ტემპერატურებზე თბოდამუშავება გრძელდება 2 სთ-ით.

32,5 და 42,5 კლასის პორტლანდცემენტზე და მინერალურ დანამატთან პორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონის სიმტკიცის მატების კოეფიციენტები დამოკიდებული თბოტენიანი დამუშავების ციკლზე 80-85°C-ზე

ცხრილი 44

ბეტონის საპროექტო კლასი 28 დღ/დამე	თბოდამუშავების საერთო ციკლი, სთ	ბეტონის სიმტკიცის მატების კოეფიციენტები თბოტენიანი დამუშავების შემდეგ გამოცდისას სთ-ში		
		4 სთ-ის შემდეგ	12 სთ-ის შემდეგ	24 სთ-ის შემდეგ
B-22.5	5	1,18	1,26	1,34
	7	1,15	1,21	1,25
	9	1,09	1,14	1,19
	11	1,08	1,13	1,18
	12	1,06	1,12	1,15
	16	1,04	1,09	1,12
	20	1,04	1,08	1,11
B-30	5	1,09	1,15	1,12
	7	1,07	1,13	1,16
	9	1,06	1,12	1,15
	11	1,05	1,09	1,10
	13	1,04	1,08	1,09
	16	1,04	1,07	1,08
B-40	5	1,06	1,12	1,16
	7	1,05	1,10	1,13
	9	1,04	1,09	1,10
	11	1,03	1,08	1,09
	13	1,04	1,07	1,08
	17	1,04	1,06	1,07

შენიშვნა: ბეტონის სიმტკიცე, კამერიდან გამოღებული ცხელი ნიმუშების გამოცდისას (არა უგვიანეს 30წთ-ის შემდეგ) მიღებულია 1-ის ტოლად.

2. კოეფიციენტები დადგენილია 10×10×10 სმ-იანი საკონტროლო კუბების გამოცდისას. დიდი ზომის ნიმუშებისათვის სიმტკიცის მატების კოეფიციენტები უნდა დავადგინოთ ცდების საფუძველზე.

რეკომენდებულია ნაკეთობის თტდ-ბა თავიდან ვაწარმოოთ ბეტონის მიერ განსაყალიბებელი სიმტკიცის მიღებამდე (40-50% საპროექტო სიმტკიციდან, შემდგომი დამუშავებით საამქროში თტდ-ის გარეშე არა ნაკლებ 5°C-ზე.

ცხრილი 45

წინასწარგახურებული ბეტონის ნარევის თბოტენიანი დამუშავების საორიენტაციო ხანგრძლიობა კამერებში

ბეტონის საპროექტო კლასი	ბეტონის სიმტკივე, % საპროექტოდან	თბური დამუშავების საერთო ხანგრძლივობა სთ-ში, დაყალიბების მომენტში ნარევის ტემპერატურისას, °C				
		15-20	40-45	46-55	56-60	61-75
B-22.5	50	8	7	6	5,5	5
	70	12	10	9	8,5	7,5
B-30	50	7	6	5	–	–
	70	11	9	8	–	–

შენიშვნა: თბოტენიანი დამუშავების საერთო ხანგრძლიობა მოიცავს; ტემპერატურის აწევას, იზოთერმულ დაყოვნებასა და გაცივებას კამერაში.

ცხრილი 46

წინასწარგახურებული ბეტონის ნარევის თბოტენიანი დამუშავების საორიენტაციო ხანგრძლივობა კასეტებში

ბეტონის საპროექტო კლასი	ბეტონის სიმტკივე, % საპროექტოდან	თბური დამუშავების საერთო ხანგრძლივობა სთ-ში, დაყალიბების მომენტში ნარევის ტემპერატურისას, °C				
		15-20	40-45	46-55	56-60	61-75
B-22.5	70	9	9,5	8	7,5	7

შენიშვნა: თბოდამუშავების საერთო ხანგრძლიობა მოიცავს, კასეტებში ტემპერატურის აწევას, იზოთერმულ დაყოვნებას ორთქლის მიწოდებით და დაყოვნებას ორთქლის მიწოდების გარეშე.

3.2. ბეტონში ტემპერატურის დინამიკური ველების კვლევა

ბეტონში სტრუქტურული დარღვევები შეიძლება წარმოიქმნას ტემპერატურის აწევის და დაწევის პერიოდებში. მათი თავიდან აცილების

მიზნით მივმართეთ ბეტონის წინასწარ დაყოვნებას, რაციონალურად ავირჩიეთ ტემპერატურის აწვევის და დაწვევის სიჩქარეები, გამოვიყენოთ თბილი ბეტონის ნარევი (წინასწარ ვახურებთ ორთქლით ან ელექტროდენით). ნაკეთობის გახურება თბოდამუშავების პირველ პერიოდში ზოგჯერ იწვევს რიგ არასასურველ მოვლენებს: ნაკეთობის ზედაპირზე კონდენსატის წარმოქმნას; როდესაც გასაორთქლ კამერაში ორთქლის წნევა აჭარბებს ორთქლის წნევას ნაკეთობაში და ნაკეთობა შთანთქავს წყლის მცირე რაოდენობას, რომელიც წარმოიქმნება მის ზედაპირზე, გაუმაგრებელი ბეტონის ზედა ფენებში ტენის მატება კი იწვევს მის გადაადგილებას ცენტრისკენ და ზედა ფენების უმნიშვნელო გაჯირჯვას. ამავდროულად ზოგჯერ შეინიშნება მოცულობის შემცირება. ტემპერატურული გრადიენტის მატებას მივყავართ ძაბვების წარმოქმნამდე, რადგან გარე, ბეტონის მეტად გახურებული ფენების მოცულობა იზრდება უფრო მეტად, ვიდრე შიგა ფენები. სწორედ ამ პერიოდში სწრაფი გახურებისას შეიძლება წარმოიქმნას ბზარები და დაირღვეს კონტაქტი ცემენტის ქვასა და შემვსებს შორის. ტემპერატურული გრადიენტი გარე და შიგა ფენებს შორის გრძელდება იმ დრომდე, ვიდრე ნაკეთობა არ გახურდება მთელი კვეთით. თბური დამუშავების წინ ნაკეთობის წინასწარი დაყოვნება ქმნის ბეტონის საწყისი სიმტკიცის აკრების ხელსაყრელ პირობებს, რათა ბეტონის სტრუქტურის დაურღვევლად მივალწიოთ გასაშვებ სიმტკიცეს თბოდამუშავებისას. წინასწარი დაყოვნება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია უყალიბოდ ნაკეთობების თბოდამუშავებისას, ასევე დიდი ზედაპირიანი ნაკეთობების გაორთქლვის შემთხვევაში. ცემენტის ეგზოთერმია დამოკიდებულია მის მინერალოგიურ შედგენილობაზე, დაფქვის სიწმიდეზე, წყ/ც-ის ფარდობაზე, ცემენტის ცომის ტემპერატურაზე და სხვა ნაკლებად მნიშვნელოვან ფაქტორებზე. მაღალთერმული ცემენტების დიდი შემცველობისას, სწრაფი გახურების დროს ბეტონის ტემპერატურამ შეიძლება საგრძნობლად გადააჭარბოს წყლის დუღილის ტემპერატურას, რასაც აგრეთვე მივყავართ

დესტრუქციულ პროცესებამდე. ამასთანავე, უნდა აღინიშნოს, რომ თუ ეგზოთერმიის ხარჯზე ბეტონში გასაორთქლი კამერის მაქსიმალურ ტემპერატურაზე მეტი ტემპერატურა არ განვითარდება, მაშინ ის დადებით როლს შეასრულებს, რადგანაც ხელს შეუწყობს ნაკეთობის უფრო სწრაფ გახურებას და ტემპერატურული ძაბვების შემცირებას, შესაბამისად მცირდება გათბობის ხარჯი. რაციონალურად შერჩეული რეჟიმის პირობებით ავიცილეთ თავიდან დესტრუქციული პროცესები. პირველ საათში ტემპერატურის ზრდის სიჩქარე $10-15^{\circ}/\text{სთ}$, მეორე საათში $15-20^{\circ}/\text{სთ}$. შემდეგ კი – $25-30^{\circ}/\text{სთ}$ და ა.შ. გამოვიყენეთ ტემპერატურის აწევის საფეხურებრივი რეჟიმიც, რომლის დროსაც 1-1,5 სთ-ში ტემპერატურა იწევს $30-40^{\circ}\text{C}$ -მდე, ნაკეთობა ამ ტემპერატურაზე ყოვნდება 1-2 სთ. შემდეგ კი ხდება ტემპერატურის მომატება საბოლოო ნიშნულამდე. სასურველია აგრეთვე ტემპერატურის აწევის პერიოდში კამერის გარემოს ფარდობითი ტენიანობის 40-60%-მდე შემცირება. ამ დროს ბეტონის სიმტკიცე იზრდება დაახლოებით 10-15%-ით. იზოთერმული გახურების ოპტიმალური ტემპერატურა პორტლანდცემენტის შემკვრელად გამოყენებისას $80-85^{\circ}\text{C}$ -ია. ხოლო წიდაპორტლანდცემენტის და პუცოლანური პორტლანდცემენტების გამოყენების დროს $90-95^{\circ}\text{C}$.

კასეტებში ნაკეთობების თბური დამუშავების დროს ნაკეთობათა გახურება ხდება კონტაქტური მეთოდით (ცხრ. 47). ამ დროს თბომატარებლებად გამოიყენება წყლის ორთქლი, ცხელი ჰაერი, ტენები, ბადისებრი და სხვა ელექტროგამახურებლები. თბომატარებლებს წაყენებათ მოთხოვნა, ნაკეთობის მთელი ზედაპირის თანაბარზომიერი გაცხელების. კასეტურ ყალიბებში ტემპერატურის აწევის სიჩქარედ დადგენილია $60-70^{\circ}\text{C}/\text{სთ}$, ხოლო გახურების მაქსიმალური ტემპერატურაა 85°C . ტემპერატურათა სხვაობა გამყოფ ნაკვეთურებს შორის დასაშვებია არაუმეტეს $15-20^{\circ}\text{C}$ -ისა. კასეტურ ყალიბებში ნაკეთობის უკეთ გასახურებლად მიზანშეწონილია წინასწარ გამთბარ ყალიბებში ბეტონის ჩაწყობა ან 50-

60°C-მდე შემთბარი ბეტონის ნარევების გამოყენება. იზოთერმული დაყოვნება კასეტებში იყოფა პერიოდებად; თბურ ნაკვეთურებში ორთქლის მიწოდება, იზოთერმული დაყოვნება და სითბოს მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ თერმოსული დაყოვნების პერიოდი. ბეტონის მიერ განსაყალიბებელი სიმტკიცის მიღების შემდეგ (40-50% საპროექტო მარკის), ნაკეთობები შემდგომი გამყარებისათვის თავსდება მორადი გამყარების კამერებში ან დაყოვნების სათავსოებში.

ცხრილი 47

მძიმე ბეტონისაგან დამზადებული ნაკეთობების თბური დამუშავების რეჟიმები, იზოთერმული დაყოვნების 80-85°C ტემპერატურის დროს

ბეტონის კლასი	თბური დამუშავების რეჟიმები ბეტონის მარკის 70% სიმტკიცის მისაღწევად სთ-ში, ნაკეთობების სისქის მიხედვით		
	180 მმ-მდე	300 მმ-მდე	300 მმ-ზე მეტი
400-500	3+3+2	3+3,5+2	3+4+2,5
600	3+2+2	3+3+2	3+3,5+2,5

100-200 მმ სისქის ნაკეთობების გახურების რეჟიმები კასეტებში, სადაც თბური ნაკვეთურები განლაგებულია ყოველი მეორე ნაკეთობის შემდეგ, შეიძლება არჩეულ იქნას ცხრ. 48-ის მიხედვით.

ცხრილი 48

თბური დამუშავების რეჟიმები მძიმე ბეტონისაგან დამზადებული ნაკეთობებისათვის კასეტებში ან პაკეტურ ყალიბებში

ბეტონის ნაკეთობის სისქე	ბეტონის მარკა, კგმ/სმ ²	თბური დამუშავების რეჟიმები 90-95°C ტემპერატურის პირობებში
100 მმ-მდე	150	1+4+4
100-დან 200 მმ-მდე	200	1+3,5+3,5
200 მმ-ზე მეტი	300	1+3+3

თერმოყალიბებში ნაკეთობების გახურება ხორციელდება ისევე, როგორც კასეტურ დანადგარებში. იმ განსხვავებით, რომ თერმოყალიბებში თბოდამუშავებისას ბეტონის ნაწილი, რომელიც არ არის ყალიბით დაფარული შეხებაშია გარემოსთან. გახურების პროცესში ბეტონის ღია ზედაპირიდან ინტენსიურად გამოიყოფა ორთქლი, ხოლო გახურების

ბოლო პერიოდში შეიძლება ძლიერ გამოშრეს კიდეც. ეს კი იწვევს ბზარების წარმოქმნას და აუარესებს ბეტონის ფიზიკურ- მექანიკურ თვისებებს. ამ მოვლენების თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია მოვახდინოთ ზედაპირის იზოლირება გარემო პირობებისაგან სხვადასხვა ტენშულწევადი მასალით (რულონური ჰიდროიზოლაციით, სპეციალური ფარებითა და სხვა მეთოდებით).

3.2.1. წინასწარდამზადებული ღრუტანიანი გადახურვის ფილების წარმოების ტექნოლოგიური მიდგომები

თბილისის რკინაბეტონის კონსტრუქციების საწარმო „თბილცემენტ გრუპ“-ი ერთ-ერთი უმსხვილესი საწარმოა საქართველოში, რომელსაც შეუძლია მაღალი კლასის რკინაბეტონის ინდივიდუალური პარამეტრებს შესატყვისი ასაწყობი კონსტრუქციების წარმოება.

ქარხანა აღჭურვილია მსოფლიო ერთ-ერთი ლიდერი კომპანიის იტალიურ NORDIMPIANTI-ის საწარმოო ტექნოლოგიური ხაზით და BIANCHI-ის ყალიბებით. ასეთი კლასის და წარმადობის საწარმო პირველია საქართველოში. დღეს საწარმო მომხმარებელს სთავაზობს რკინაბეტონის გადახურვის ღრუტანიან ფილებსა და ბეტონის ღრუტანიან მსუბუქ სატიხრე პანელებს, რკინაბეტონის კიბეებს და რიგელებს, ასევე სხვა ინდივიდუალური შეკვეთის კონსტრუქციებს შემკვეთის მოთხოვნების გათვალისწინებით.

წინასწარდამზადებული რკინაბეტონის გადახურვის ღრუტანიანი ფილები წარმოების პირველ ეტაპზე გამოდიოდა მცირეოდენი, მაგრამ მაინც ბზარებით, რადგან თბოდამუშავება ხდებოდა მაქსიმუმ 70°C პირობებში. ჩატარებული იქნა უამრავი კვლევა-ძიება ამ პრობლემის დასადგენად. საბოლოოდ შევჩერდით იმაზე, რომ იზოთერმული გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა უნდა ყოფილიყო 40°C (გრაფიკები 1,2) ამ ტემპერატურაზე წარმოებული პროდუქცია გამოდიოდა უნაკლო და შესაბამისად მაღალი სიმტკიცის. პირველ ხანებში გამოიყენეთ CEMII 42,5 კლასის ცემენტი, ხოლო

როცა დავრწმუნდით, რომ შრობის დინამიკა გაწეილი იყო და სასურველ დროში ვერ ვღებულობდით გადასაცემ სიმტკიცეს (35 მპა)ს, მივიღეთ გადაწყვეტილება, რომ გადავსულიყავით CEMI 42,5R კლასის ცემენტზე, რამაც მოგვცა სასურველი შედეგები. ქიმიურ დანამატად გამოყენებულ იქნა კრაიზოს ლიგნოსულფონატი XeL AH30N. ცხრილ 49-ში წარმოდგენილია საბაზო რეცეპტით დამზადებული ფილები, ხოლო ცხრილ 50-ში წარმოდგენილია ჩვენს მიერ შემუშავებული რეცეპტით დამზადებული ფილები. „თბილცემენტ გრუპ“-ის ფილების კვლევა, ჩატარებული იქნა სახელწიფოთაშორისო სტანდარტის ГОСТ 13015-2012 (ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობები მშენებელთათვის საერთო ტექნიკური მოთხოვნები) მოთხოვნათა დაცვით. ფილები დამზადებულია სტენდური მეთოდით – 168 მ სიგრძის სტენდზე. წინასწარ იძაბება საჭირო რაოდენობის არმატურა (ჩვენს შემთხვევაში შეიცვალა K7 ფოლადის ბაგირი პირობითი დიამეტრით $\varnothing 9\text{მმ}$)-ზე და ბეტონის ნარევი ყალიბდება სპეციალური აგრეგატის საშუალებით, რომელიც უწყვეტი ციკლით სტენდის მთელი სიგრძეზე ამზადებს რკინაბეტონის ღრუტანიან ნაკეთობას. ბეტონის საჭირო დონემდე გამაგრების შემდეგ (35 მპა) ის დაიჭრება საჭირო სიგრძეზე. ახლად დაბეტონებული ნაკეთობა იფუთება მჭიდრო სტრუქტურის წყალგაუმტარი შალითით, რითაც მიიღება ცემენტის ჰიდროტაციის პროცესში გამოყოფილი სითბოს შენარჩუნება და მისი გამოყენება ბეტონის გამყარების პროცესის დაჩქარებისათვის, აგრეთვე ნაკეთობას იცავს მისი ზედაპირის განქარვისაგან ბეტონის გამაგრების დროს ადრეულ ეტაპზე. ბეტონის ნარევის დატკეპნა-დაყალიბების პროცესი ხორციელდება, უწყვეტად სიღრუის წარმომქმნელი სპირალური შნეკებით, ნარევის დაჭირხვნიით და ვიბრირებით.

საბაზო რეცეპტით დამზადებული ფილები

ბეტონის

კლასი B-45

მარკა M-600

											წყ/ც
მასალის სახეობა	შემადგენლობა, %	სიმკვრივე გრ/სმ.კუბ	მოცულობა, ლიტ.	მასა კგ	ქვიშაში წყლის შემცველობა, %	ქვიშაში წყლის შემცველობა, კგ	მასა კგ	ქვიშაში წყლის შემცველობა, %	ქვიშაში წყლის შემცველობა, კგ	მასა კგ	0,34
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
მღ. ქვიშა (0-5)	43	2,65	306,9	813,3	0	0,0	813,29	9	80,4	894	
ღორღი (5-10)	57	2,65	406,8	1078,1	0	0,0	1078,08	1	10,9	1089	
ჯამი	100		714	1891,4			1891,3806		91,3	1983	
წყალი		1	135	135			135			44	
ცემენტი CEMII 42,5 (M-500)		3,1	129	400			400			400	
პლასტიფიკატორი Xel AH30N		1,07	2,24299	2,4	0,6		2,4			2,4	
ფორიანობა			20		2						
ჯამი			1000	2429			2429				

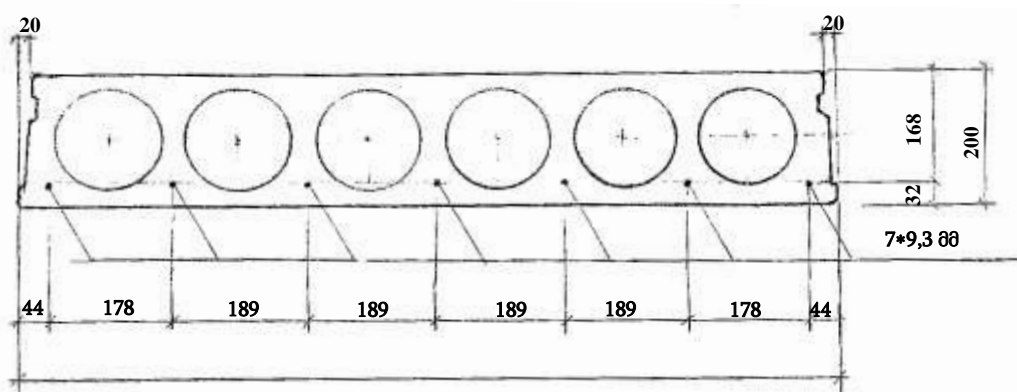
ჩვენს მიერ შედგენილი რეცეპტით დამზადებული ფილები

ბეტონის
 კლასი B-45
 მარკა M-600

											წყ/ც
მასალის სახეობა	შემადგენლობა, %	სიმკვრივე გრ/სმ.კუბ	მოცულობა, ლიტ.	მასა კგ	ქვიშაში წყლის შემცველობა, %	ქვიშაში წყლის შემცველობა, კგ	მასა კგ	ქვიშაში წყლის შემცველობა, %	ქვიშაში წყლის შემცველობა, კგ	მასა კგ	0,34
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
მდ. ქვიშა (0-5)	50,3	2,65	369,8	980	0	0,0	980	9	88,2	1068,2	
ღორღი (5-10)	49,7	2,65	364,9	967	0	0,0	967	1	9,67	976,7	
ჯამი	100		734,7	1947			1947		97,87	20449	
წყალი		1	122	122			122				
ცემენტი CEMI 42,5R (M-500)		3,1	116	360			360			360	
პლასტიფიკატორი Xel AH30N		1,07	2,336	2,5	0,6		2,5			2,5	
ფორიანობა			24,96								
ჯამი			1000	2431			2431			2431	

გამოსაკვლევი ღრუტანიანი ფილების განივკვეთის სიმაღლე $h=200$ მმ-ს, ხოლო სიგანა 1200 მმ (იხ. ნახაზი 19) მათი ზედა და ქვედა ზედაპირები ბრტყელია: ქვედა მხარე იდეალურად პრიალა ზედაპირისაა, ხოლო ზევითა არის უხეში უკეთესი მოჭიდებისათვის. ფილებს გვერდზე აქვს სეისმური ჭრები. ასეთი ზომის განივკვეთიანი ფილები იყოფა არმირების მიხედვით სამ ტიპად: A, A2 და A3. ჩვენი გამოსაკვლევი ფილების არმირების ტიპია A2, რაც იმას ნიშნავს, რომ მათი მუშა არმატურაა 7 ცალი 7 მავთულიანი ფოლადის ბაგირი K7 პირობითი დიამეტრით 9.0 მმ-ია. ბაგირის განლაგება ფილების კვეთში ნაჩვენებია აქ თანდართულ ნახაზ 19-ზე. აქვე მოცემულია დატვირთვების გრაფიკი ფილის სიგრძესთან შეფარდებაში, რომლის მიხედვით ისაზღვრება ფილის სასარგებლო დატვირთვის სიდიდე, ანდა პირიქით. სასარგებლო დატვირთვის სიდიდის მიხედვით დგინდება შესაფერისი ფილის მნიშვნელობა. ამავე ნახაზზე მოცემულია გამოსაკვლევი ფილის ტექნიკური მახასიათებლები. ბეტონის საპროექტო კლასი B 45 (მარკა 600). მუშა არმატურის – 7 ღერიანი ფოლადის ბაგირის, პირობითი დიამეტრით 9.0 მმ-ია, ჯამური ფართი 364 მმ^2 , ბაგირის დროებითი წინაღობა 1860 მპა, ბაგირის სიმტკიცე – 1320 მპა. ბაგირის მდებარეობა ქვედა ზედაპირიდან ბაგირის ცენტრამდე ტოლია 32 მმ-ის.

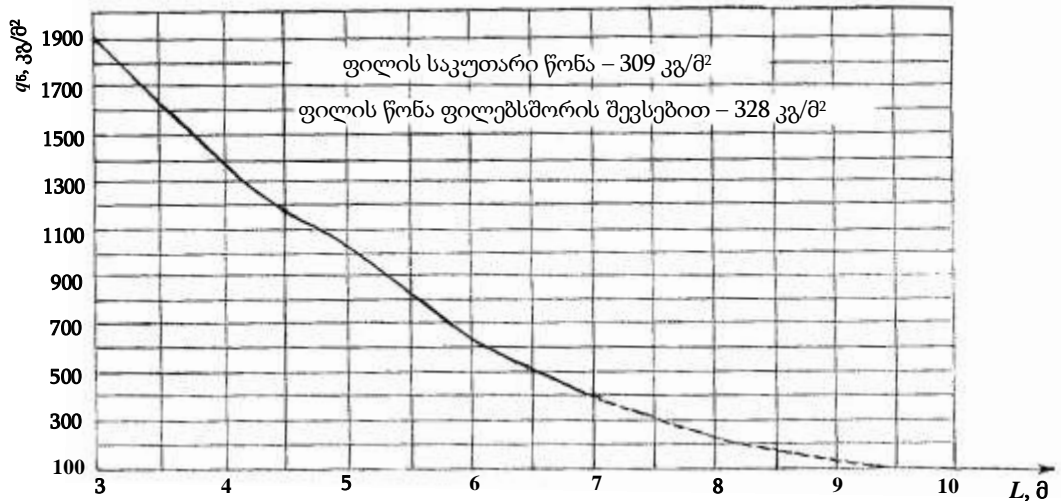
განივი კვეთი



ნახ. 19. წინასწარ დამაბული რკინაბეტონის ღრუტანიანი ფილა ($R = 200$ მმ, არმირება A2)

მოცემული პროგრამის თანახმად, ფილების კვლევა ტარდება ГОСТ 13015-2012-ის მიხედვით, რაც გულისხმობს ნაკეთობის სიმტკიცისა და

დეფორმაციულობის მახასიათებლების დადგენას არა პირდაპირი მეთოდით – დატვირთვების მოქმედებით, არამედ ირიბი, არამრღვევი მეთოდით. არამრღვევი მეთოდით გამოცდის დროს ნაკეთობა სიმტკიცის, სიხისტისა და ბზარ მედეგობის მიხედვით ჩაითვლება ვარგისიანად იმ შემთხვევაში, თუ დაცული იქნება სამუშაო დოკუმენტაციით დადგენილი ირიბი მაჩვენებლები – ბეტონის სიმტკიცე, ბეტონის დამცავი ფენის სისქე



q_n – ნორმატიული დატვირთვა, მუდმივი+დროებითი საკუთარი წონის ზევით;
 L – ფილის სიგრძე, მ.

ნახ. 20. დატვირთვების გრაფიკის ფილის სიგრძესთან ფარდობა

ცხრილი 51

ფილის ტექნიკური მონაცემები

ბაგირი 9 ГОСТ 13840-68	ქვედა ბაგირი	7* 9,3 მმ	
	ჯამური ფართი	მმ²	364
ფილის განივი კვეთის ფართი		მმ²	121171
ბაგირის მდებარეობა	R 60	მმ	32
ფოლადის ზღვრული წინაღობა		მპა	1860
ფოლადის დამაბზლობა		მპა	1320
ბეტონის კლასი (მარკა)		B 45 (მ. 600)	

და ნაკეთობის განივკვეთის ზომები, ელემენტის სიგრძეები არმატურის დიამეტრი და მექანიკური მახასიათებლები, მისი დამაბზის სიდიდე. ნაკეთობები, რომლებიც არ გამოიცადა დატვირთვებზე შეიძლება მიღებულ იქნას სიმტკიცის სიხისტის და ბზარმედეგობის მიხედვით, თუ დაცული იქნება სტანდარტის, ტექნიკური პირობების ანდა სამუშაო დოკუმენტაციის მოთხოვნები ზემოთ ჩამოთვლილ მაჩვენებლებზე.

ნაკეთობის ერთი პარტიის 11 ფილის კვლევამ გვიჩვენა, რომ მათი გეომეტრიული პარამეტრები უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან საპროექტოსაგან: ფილების ფაქტიური სიგანის განსხვავება საპროექტოსაგან არ აღემატება – 4 მმ-ს, სიმაღლისა – ± 2 მმ, ხოლო ბეტონის დამცავი ფენის სისქისა – +2 მმ-ს. ეს განსხვავებები ნორმებით დასაშვებზე შესამჩნევად ნაკლებია. ამდენად, ჩვენ მიერ გამოსაკვლევი ფილები გეომეტრიული პარამეტრების მიხედვით აკმაყოფილებენ ნორმების მოთხოვნებს.

ბეტონის დასამზადებელი ინერტული მასალები – ღორღი და ქვიშა მიღებულია მდ. მტკვრის ბალასტის გადამუშავებით კასპის კარიერზე. შემკვრელი – ცემენტი დამზადებულია ადგილობრივი წარმოებაში ჰაიდელბერგის კლინკერზე 42.5 მპა აქტივობით (მ. 550). ამ მასალებზე სისტემატურად ტარდება ნორმებით გათვალისწინებული კონტროლი. არსებული დოკუმენტაციის მიხედვით ბეტონის დასამზადებლად გამოყენებული მასალები – ღორღი, ქვიშა, წყალი და ცემენტი პასუხობენ სტანდარტის (ГОСТ 30108) მოთხოვნებს. ბეტონის შემადგენლობა მოგვყავს ცხრილი 29-ით. ბეტონის ნარევი ხისტია, წყალცემენტის ფარდობით 0,34. ნარევის პლასტიკურობა გაზრდილია სუპერპლასტიფიკატორის საშუალებით. ბეტონის ნარევი მზადდება თანამედროვე ტიპის ბეტონის კვანძზე მასალების დოზირებისა და სხვა ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ავტომატიზირებული სისტემით. ბეტონის საკონტროლო ნიმუშები კუბები ზომებით 150×150×150 მმ ყალიბდება პლასტმასის ფორმებში ბეტონის ნარევის ჩახიშტვითა და შემდგომი დაწნეხვით სპეციალური დანადგარის საშუალებით.

ბეტონის ნაკეთობების სიმტკიცე განისაზღვრა ურღვევი მეთოდით ინგლისური წარმოების სკლერომეტრის Elcometer-181-ის საშუალებით. კვლევა ჩატარდა სტანდარტის (ГОСТ 226909-88 ბეტონები. სიმტკიცის განსაზღვრა ურღვევი კონტროლის მექანიკური მეთოდებით) მოთხოვნათა შესაბამისად. ამ ობიექტზე გამოყენებული ბეტონებისათვის დავადგინეთ ბეტონის ზედაპირიდან სკლერომეტრის დრეკადი ასხლეტის სიდიდესა და ბეტონის სიმტკიცეს შორის გრადუირებული დამოკიდებულება. ბეტონის

საკონტროლო ნიმუშების (კუბების) გამოცდა წარმოებდა ჯერ ურღვევი მეთოდით, ხოლო შემდეგ მათი ჰიდრავლიკურ წნეხზე გამოცდის გზით (ГОСТ 10180-2012 მოთხოვნების დაცვით). სკლერომეტრით კონსტრუქციებზე დარტყმა ხორციელდება ჰორიზონტალურად (ინდენტურია ღერძსა და ჰორიზონტს შორის კუთხე $\alpha=0^\circ$).

ლაბორატორაში შენახული ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების ურღვევი მეთოდით გამოცდის შედეგები მოცემულია 30-ე ცხრილში, ხოლო იმავე ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდა ასახულია გამოცდის შედეგებში (ცხრ. 52)

ცხრილი 52

ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების ურღვევი მეთოდით გამოცდის შედეგები

№ რიგზე	კონსტრუქციის დასახელება	სკლერომეტრის ჩვენება (საშუალო)	ბეტონის სიმტკიცე R, მპა	
			ნიმუშის მიხედვით	სკლერომეტრის ჩვენებით
1	ნიმუში № 1	52,6	66,3	67,0
2	ნიმუში № 2	52,7	64,2	67,2
3	ნიმუში № 3	52,2	65,9	66,2
4	ნიმუში № 4	50,1	59,3	61,9

საკონტროლო ნიმუშების (კუბების) ერთდროულად კუმშვაზე და ურღვევი მეთოდით გამოცდების საფუძველზე კორექტირებული ინდუქტორის დრეკადი ასხლეტის სიდიდესა და ბეტონის სიმტკიცეს შორის გრადუირებული დამოკიდებულების გამოყენებით განსაზღვრული ბეტონის სიმტკიცე (სკლერომეტრის ჩვენებით) ახლოა მის რეალურ სიმტკიცესთან, რომელიც მიღებულია ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდით.

გამოსაცდელი ფილების ბეტონის სიმტკიცე, განსაზღვრული ბეტონის სკლერომეტრის გამოყენებით, მოცემულია მე-53 ცხრილში. გამოცდას დაექვემდებარა ფილები რომელთა ბეტონის ასაკის 28 დღე/ღამეა.

როგორც მეორე ცხრილიდან ჩანს, ჩვენს მიერ გამოცდილი რკინაბეტონის ღრუტანიანი ფილების ბეტონის ფაქტიური სიმტკიცე შესაბამისობაშია საპროექტოსთან.

ფილები არმირებულია ფოლადის ბაგირით – ГОСТ 13840-68 (ფოლადის საარმატურე ბაგირი). გამოსაკვლევ ფილებში გამოყენებულია ბაგირის

პირობითი დიამეტრია 9.0 მმ, ხოლო ნომინალური – 9.3 მმ, მისი კვეთი შედეგა 7 მავთულისაგან, რომელთაგან ცენტრალურის დიამეტრია 3.3 მმ, ხოლო პერიფერიულების (ცენტრალურზე დახვეულების) – 3,0 მმ. ბაგირის განივკვეთის ნომინალური ფართობი $F_6=50,96$ მმ², მისი საპროექტო ზღვრული წინაღობაა 1860 მპა, ხოლო საპროექტო სიმტკიცე 1320 მპა. გაჭიმვაზე ბაგირის ნიმუშები გამოვცადეთ გაწყვეტაზე სტანდარტის მოთხოვნათა დაცვით ГОСТ 16874-71 (ფოლადის საარმატურე ბაგირი. გამოცდის მეთოდები ჭიმვაზე).

ცხრილი 53

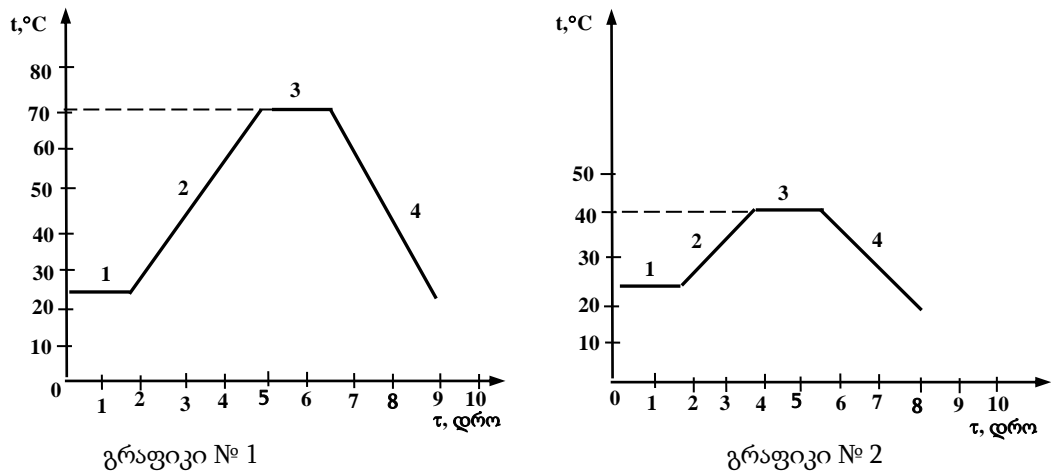
გამოცდილი ფილების ბეტონის სიმტკიცე სკლერომეტრის გამოყენებით

№ რიგზე	კონსტრუქციის დასახელება	სკლერომეტრის ჩვენება (საშუალო)	ბეტონის სიმტკიცე R, მპა
1	ფილა № 1	50,3	62,3
2	ფილა № 2	51,8	65,4
3	ფილა № 3	52,1	66,0
4	ფილა № 4	51,4	64,6
5	ფილა № 5	53,1	68,1
6	ფილა № 6	51,7	65,2
7	ფილა № 7	49,8	61,3
8	ფილა № 8	51,6	65,0
9	ფილა № 9	50,4	62,6
10	ფილა № 10	53,0	67,9
11	ფილა № 11	50,4	62,6

ნიმუშები გამოვცადეთ ჰიდრავლიკური უნივერსალური წნეხის ИД-100 Пы (გერმანია) დახმარებით გაჭიმვაზე. ბაგირის მრღვევი ძალაა $P_{დრ}=101.92$ კნ. მისი ფაქტიური ზღვრული წინაღობაა $\sigma_{დრ}=P_{დრ}/F_6=101,92კნ/50,96 = 2000$ მპა, რაც მეტია საპროექტო ზღვრული წინაღობაზე (1860 მპა)

ბაგირების დამაბვა ხდება სპეციალური ჰიდრავლიკური აგრეგატის (ფოტო 2) საშუალებით, რომლის მანომეტრის ჩვენების მიხედვით რეგულირდება ბაგირზე საჭირო დამაბულობის (1320 მპა) გადაცემა. ბაგირების დამაბვა ხდება სტენდის ბოლოებში მოწყობილ ძალოვან საბრჯენებზე.

ნახაზ 21-ზე მოცემულია ღრუტანიანი ფილების თბოდაამუშავების გრაფიკები.



ნახ. 21. ღრუტანიანი ფილების თბოდაამუშავების გრაფიკები.
 1 – დაყოვნების დრო; 2 – ტემპერატურის მატების დრო
 3 – იზოთერმული გახურება ($T=const$), 4 – ტემპერატურის დაწევა

დანართში მოცემულ სურათებზე აღბეჭდილია საამქროს საერთო ხედი (ფოტო – 1), მიმდინარეობს თბოდაამუშავების პროცესი (ფოტო – 3), ფილის დამჭრელი დანადგარი (ფოტო 4), გადაჭრილი ფილა (ფოტო – 5), წარმოებული მზა პროდუქცია (ფოტო – 6), წყლის გამაცხელებელი აგრეგატი (ფოტო 7), ფორმებს ქვეშ გამავალი ცხელი წყლის მილები (ფოტო 8).

დასკვნა: ჩემი მონაწილეობით გამოკვლეული წინასწარდამზადებული რკინაბეტონის გადახურვის ღრუტანიანი ფილები (განივკვეთის ზომებით: სიმაღლე $h = 200$ მმ-ს; სიგანე 1200 მმ-ს, არმირების ტიპი – A2), რომლებიც დამზადებულ იყო $40^{\circ}C$. ტემპერატურაზე გათბობით, გეომეტრიული პარამეტრებით აკმაყოფილებს პროექტის მოთხოვნებს, ზედაპირზე არ აღინიშნება არავითარი ბზარები. ისინი დამზადებულია სამშენებლო ნორმებისა და წესების სრული დაცვით თანამედროვე მანქანა-დანადგარების გამოყენებით. მათი მასალების მექანიკური მახასიათებლები – ბეტონისა და არმატურის სიმტკიცე არმატურის დამაბვის ხარისხი შეესაბამება საპროექტო მოთხოვნებს.

ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების გამოცდის შედეგები

ნიმუშების №	კონსტრუქციის დასახელება	ნიმუშის რაოდენობა	დაზღვევის თარიღი	გამოცდის თარიღი	ხნოვანება (დღე), t	ნიმუშების აღწერის გამაგებების პირობები	ნიმუშის ზომები მმ	განკვეთის ფართობი F მმ²	მოცულობა V სმ³	ნიმუშის მასა m გ	მრღვევი ძალა P, კნ	მასშტაბის კოეფიციენტი α	ბეტონის სიმტკიცე R=α.P/F მზა (კგ/სმ²)		ბეტონის საპროექტი კლასი
													ნიმუშის	საშუალო	
1	წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის გადახურვის ღრუტანიანი ფილები	2	04.04 2018	05.05 2018	31	იბრუნდა	148×150×150	22200	3330	8006	1471,52	1,0	66,3	65,3 (666)	B45
2							148×150×150	22200	3330	8068	1424,99		64,2		
3		2	05,04 2018	05.04 2018	30		148×150×150	22200	3330	7996	1463,21		65,9	62,6 (639)	
4							148×150×150	22200	3330	8107	1317,30		59,3		



ფოტო 1. საამქროს საერთო ხედი



ფოტო 2. არმატურის წნულის დამჭიმში ჰიდრავლიკური აგრეგატი



ფოტო 3. მიმდინარეობს თბოდაამუშავების პროცესი



ფოტო 4. ფილების დამჭრელი დანადგარი



ფოტო 5. გადაჭრილი ფილა



ფოტო 6. წარმოებული მზა პროდუქცია



ფოტო 7. წყლის გამაცხელებელი აგრეგატი



ფოტო 8. ფორმებს ქვეშ გამავალი ცხელი წყლის მილები

3.3. შპალების წარმოების ტექნოლოგიური მიდგომები

შპს „თბილისის რკინაბეტონის შპალების ქარხანა“ რომელიც მდებარეობს კაიროს ქ. № 6-ში მოქმედებს 1968 წლიდან. ქარხანაში დამზადებული დეტალებითაა აგებული თბილისის რკინიგზის ცენტრალური ვაგზალი, ბორჯომის ვაგზლის კონსტრუქციები და ლოკომოტივის სტადიონი. 1999 წელს ექსპლუატაციაში შევიდა რკინაბეტონის შპალების მწარმოებელი ინგლისური ხაზი, რომელიც ცვლაში 400 ერთეულ ევროსტანდარტის შპალს ამზადებს. 2003 წელს დამატებით დამონტაჟდა რკინაბეტონის შპალების მწარმოებელი იტალიური ხაზი, რომლის წარმადობაც ცვლაში 320 ერთეულია.

მოგვიანებით დამონტაჟდა ასევე მესამე ტექნოლოგიური ხაზი, რომლის წარმოება 360 ერთეულია [3].

თბილისის რკინაბეტონის შპალის ქარხანა ერთ-ერთი უმსხვილესი საწარმოა საქართველოში რკინაბეტონის კონსტრუქციების დამზადების კუთხით და ამავე დროს ერთ-ერთი სტრატეგიული ობიექტი მთელს ამიერკავკასიაში. ამ ქარხანაში იწარმოება მრავალი სახის რკინაბეტონის კონსტრუქციები, როგორებიცაა: რკინაბეტონის წინასწარდამზადებული შპალი, მაღალი ძაბვის გადამცემი წინასწარდამზადებული რკინაბეტონის დგარი, რკინაბეტონის ბოძი, სამსხვიანი ანკერი, სამსხვიანი ფუნდამენტი, 10-კვოლტამდე ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზის რკინაბეტონის საყრდენი დგარი, ხიმინჯი, სეტყვის საწინააღმდეგო ბადეების საყრდენი დგარი, ვენახის ბოძი, ამწის კონტრსიმძიმე, სამელიორაციო არხი ЛП-10, სარკინიგზო შუქნიშნის ფუნდამენტი, წინასწარდამზადებული რკინაბეტონის ღობე, წყალგამტარი ღარი, საკანალიზაციო ჭა, საკანალიზაციო ჭის საფარი, ქოლგის ფილა, ბორდიური, კიბის მარში, სარდაფის კედლის ბლოკი, საკაბელო არხი, საკაბელო არხის ფილა, ნიუ-ჯერსი და სხვ.

ზემოთ ჩამოთვლილი კონსტრუქციებიდან დეტალურად განვიხილოთ შპალები, რომელთა დამზადების ტექნოლოგიური მიდგომები, მხედველობაში მაქვს თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები და ბეტონის ნარევის ოპტიმალური შედგენილობები, რომლის შემუშავებაში წლების მანძილზე ვიღებდი მონაწილეობას.

შპალების საწარმოო დოსიე დამზადების მონაცემებთან ერთად უნდა შეიცავდეს შემდეგ ცნობებს:

- შემადგენელი მასალების აღწერა, მათ შორის წარმომავლობა, შემადგებლობა, ფორმა და ზომები;
- ბეტონის ნარევის შედგენილობა;
- ბეტონის ნარევის დამზადების ტექნოლოგიის სრული აღწერა, ცივ პირობებში მუშაობისა, მასალების რაოდენობის განსაზღვრისა და შენახვის ჩათვლით;

- ტუტეების შემცველობის, ცვეთამედეგობის, ყინვამედეგობისა და წყლის შთანთქმის მონაცემები;
- წყალ-ცემენტის თანაფარდობა და დასაშვები გადახრები;
- კუმშვაზე ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების მინიმალური სიმტკიცე 7 და 28 დღე-ღამის შემდგომ;
- ბეტონის მინიმალური სიმტკიცე კუმშვაზე არმატურის კონების განთავისუფლებამდე (გადასაცემი სიმტკიცე);
- არმატურის კონების მაქსიმალური რელაქსაცია 1000 სთ-ის შემდეგ;
- ბეტონის ნარევის ვიბროგამკვრივების მეთოდი;
- თბოტენიანი დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმი და შრობის დრო;
- მზა პროდუქციის დასაწყობებისა და შტაბელირების წესები;
- ფორმები უნდა იყოს დამზადებული მაღალი სიმტკიცის ფოლადისაგან ისეთი კონსტრუქციით, რომ შპალები ჩამოისხმებოდეს ფსკერით ზევით;
- შპალების ჩამოსასხმელად ფორმები შიგნიდან ემულსოლით უნდა გაიპოხოს. ამ დროს საჭიროა სიფრთხილის გამოჩენა, რათა ემულსოლი არ მოხვდეს დამაბულ არმატურას ან ანკერებს;
- ფორმის კონსტრუქცია ისეთი უნდა იყოს, რომ გამოირიცხებოდეს ბეტონის ნარევის ჩასხმის დროს ცემენტის ხსნარის გაჟონვა;
- ჩამოსხმის დროს ბეტონის ნარევის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 30°C-ს;
- თუ გარემოს ტემპერატურა 5°C-ზე ნაკლებია, მაშინ შპალები შენობაში უნდა გავაჩეროთ არანაკლებ 2 დღე-ღამისა ჩამოსხმის დღიდან. თბილი შპალები ღია საწყობში გადატანის დროს უნდა იყოს დაცული ტემპერატურის მოულოდნელი რხევებისგან;
- შპალების ქვედა საგები უნდა იყოს ხაოიანი, რათა უზრუნველყოს გაზრდილი განივი მდგრადობა. ქვედა საწოლის სიგლუვის მაქსიმალური გადახრა შეადგენს ± 3 მმ-ს, იმ პირობით, რომ დამძაბველი არმატურის ხვეულები დაიფარება მინიმუმ 30 მმ. სისქის ბეტონის დამცავი ფენით.

3.3.1. გამოყენებული არმატურის პარამეტრები

შპალების გაბარიტული ზომებია 2700×285×200 მმ. წინასწარდაძაბული მუშა გრძივი არმირება შედგება 7 მავთულისაგან შემდგარი წნულით, საერთო დიამეტრით 9,3 მმ. არმატურის ერთი ბაგირი დაჭიმვის ძალა შეადგენს 72 კნ-ს, საცდელი დატვირთვა (ნორმატიული) შეადგენს –17,6 კნ-ს, ფაქტიური –18 ტონას.

დასაძაბავი არმატურა დამზადებული არის ისეთი ცხელი გლინვის ფოლადისაგან, რომელიც გამოიყენება ნაჭდევიანი მავთულის ადიდვისათვის. ერთნაირი დიამეტრის 7 მავთული დაგრეხილია სპირალური ხვით. სიგრძე, ანუ ნახვევის ბიჯი 12-18-ჯერ მეტი უნდა იყოს მის ნომინალურ დიამეტრზე. დასაძაბი არმატურა დამზადებულია ევრონორმების EN 10138 საერთო წესების ან საქართველოში მოქმედი სტანდარტების შესაბამისად. ნახვევი შედგება შვიდი 3,15 მმ. დიამეტრიანი მავთულისაგან, რომელიც შეესაბამება მოქმედ სტანდარტს.

მინიმალური პარამეტრები:

- მასა – 408 გ/მ;
- სიმტკიცე – 1770 ნ/მმ²
- დიამეტრი – 9,3 მმ;
- კვეთის ფართი – 52 მმ²±2%
- მაქსიმალური დამშლელი დატვირთვა – 92 კნ;
- ნორმატიული საცდელი დატვირთვა - 78 კნ.

ფოლადის ქიმიური შემადგენლობა, რომლისგანაც იქნება დამზადებული მავთული, შეესაბამება ცხრილს 33-ის.

ცხრილი 55

ფოლადის ქიმიური შემადგენლობა

მნიშვნელობა	C	Si	Mn	P	S
მინიმუმი, %	0,77	0,15	0,60	–	–
მაქსიმუმი, %	0,82	0,35	0,80	0,025	0,020

3.3.2. ბეტონის ნარევისა და შპალების ფიზიკურ- -მექანიკური მახასიათებლები

ბეტონის ნარევი, რომლისგანაც უნდა დამზადდეს რკინაბეტონის შპალები, უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ კრიტერიუმებს:

- გადასაცემი სიმტკიცე არანაკლებ 32 მპა;
- საპროექტო სიმტკიცე არანაკლებ 50 მპა;
- დაუშვებელია რეკრისტალიზირებული ეთრინგიტის და თაუმასიტის არსებობა;
- ყინვამდეგობა უნდა შეესაბამებოდეს საქართველოს რკინიგზის მუშაობის რეჟიმს;
- წყლისა და ცემენტის თანაფარდობა უნდა იყოს 0,45-ზე ნაკლები;
- ცემენტის მინიმალური შემცველობა უნდა იყოს 300 კგ/მ³;
- ბეტონის გამკვრივება უნდა იყოს საკმარისი, წყლის შეღწევადობის მინიმუმამდე დასაყვანად;
- ბეტონის ნარევის ყალიბში ჩასხმა უნდა იყოს მოსახერხებელი, ის ადვილად ჩავიდეს ყალიბის განაპირა კუთხეებში, დამაბული არმატურებისა და ზედაპირზე წყლის მოგროვების დაუშვებლად.;
- დაყოვნების დრო და ტემპერატურა კონტროლირდება და რეგისტრირდება ტემპერატურის ჩვენების მოხსნით, წარმოების მომზადების ეტაპზე, არანაკლებ 4-ჯერ დღეში;
- შპალების ამოღება არ უნდა დაიწყოს, თუ შპალებმა არ მიაღწიეს კუმშვის მინიმალურ სიმტკიცეს 40 ნ/მმ²;
- ბეტონის საკონტროლო ნიმუშების (კუბების) გამოცდა კუმშვაზე უნდა იყოს ჩატარებული მოქმედი საერთო სამშენებლო სტანდარტების შესაბამისად.

შპალის გამოცდა დინამიური დატვირთვით (შპალის ტორსებზე). დატვირთვა მოდებულია ერთდროულად რელსის ორივე დამჭერ ზედაპირზე, შპალის ქვედა საგები უნდა ეჭიროს სიმეტრიულ სარდენებს. შპალის რელსის სადგამ მოედანზე უნდა იყოს მოდებული მინიმალური

დატვირთვა 40 კნ, ან მაქსიმალური – 185 კნ 10 ჰც. სიხშირით 2 მილიონი დატვირთვის ციკლის განმავლობაში.

შპალის გამოცდა დინამიური დატვირთვით (შპალის ცენტრზე). შპალი გადმობრუნებულია, დგას საყრდენებზე რელსის სადგამი მოედნით და ქვედა საგები სიმეტრიულად არის დატვირთული. დატვირთვის ზედა ჯამური ზღვარი უნდა იყოს 110 კნ, თანაბრად განაწილებული დატვირთვის ქვედა ჯამურ ზღვართან 25 კნ. ეს დატვირთვები არის მოდებული 10 ჰც. სიხშირით 2 მილიონი დატვირთვის ციკლის განმავლობაში, თუ 0,05 მმ-ზე მუდმივი ბზარები არ იქნება მიღებული.

შპალების გამოცდა სტატიკური დატვირთვით (შპალის ტორსებზე). შპალების გამოცდა მომზადებულია წინა სპეციფიკაციის თანახმად. სტატიკური გამოცდის დროს დატვირთვა უნდა იზრდებოდეს 10 კნ/წთ სიჩქარით 80 კნ-მდე და შემდეგ 5 კნ-ის საფეხურებით. დატვირთვა იზრდება საფეხურებით, გატეხვამდე.

საჭიროა შემდეგი მონაცემები:

- ბზარის მაქსიმალური სიგანე;
- დატვირთვის სიდიდე პირველი ბზარის გაჩენისას;
- დატვირთვის სიდიდე 15 მმ-ზე მეტი სიგრძის ბზარის გაჩენისას;
- დატვირთვის სიდიდე 0,1 მმ-ზე მეტი სიგანის ბზარის გაჩენისას;
- დატვირთვის სიდიდე 0,05 მმ-ზე მეტი სიგანის მუდმივი ბზარის გაჩენისას;
- ბზარების მონაცემები 270 კნ დატვირთვისას.

გამოცდის ჩატარებისას დასაშვებია დატვირთვის შემდეგი მინიმალური სიდიდეები:

- პირველი ბზარი – მინიმუმ 150 კნ;
- მუდმივი ბზარი – მინიმუმ 240 კნ;
- გადატეხვა – მინიმუმ 300 კნ.

შპალის გამოცდა სტატიკური დატვირთვით (შპალის ცენტრზე). შპალის გამოცდა უნდა მომზადდეს სპეციფიკაციის შესაბამისად. სტატიკური გამოცდის დროს დატვირთვა უნდა იზრდებოდეს 10 კნ/წთ სიჩქარით 40 კნ/-მდე, ხოლო შემდეგ 5 კნ-ის საფეხურებით. დატვირთვა უნდა

იზრდებოდა საფეხურებით, გატეხვამდე. საჭიროა შემდეგი მონაცემების ფიქსირება:

- ბზარის მაქსიმალური სიგანე;
- დატვირთვის სიდიდე პირველი ბზარის გაჩენისას;
- დატვირთვის სიდიდე 15 მმ-ზე მეტი სიგრძის ბზარის გაჩენისას;
- დატვირთვის სიდიდე 0,1 მმ-ზე მეტი სიგანის ბზარის გაჩენისას;
- დატვირთვის სიდიდე 0,05 მმ-ზე მეტი სიგანის მუდმივი ბზარის გაჩენისას;
- მონაცემები ბზარებზე 145 კნ დატვირთვისას.

გამოცდის ჩატარების დროს მინიმალური დასაშვები დატვირთვები შემდეგია:

- პირველი ბზარი – 8 კნ;
- მუდმივი ბზარი – 128 კნ;
- გადატეხვა – 160 კნ.

3.3.3. ბეტონის თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების კვლევა წარმოებაში

ასაწყობი რკინაბეტონის საწარმოებში თანამედროვე პირობებში გამყარების დასაჩქარებლად გამოიყენება თბური დამუშავება ორმოს ან გვირაბისებრ კამერებში, სტენდყალიბებში და კასეტებში ორთქლის ნაკვეთურების მეშვეობით, ორიარუსიან საგლინავ დგანებზე ხვრელისებრ კამერებში და სხვა. თბოშემცველად ძირითადად გამოყენებულია ორთქლი ან ორთქლჰაერის ნარევი.

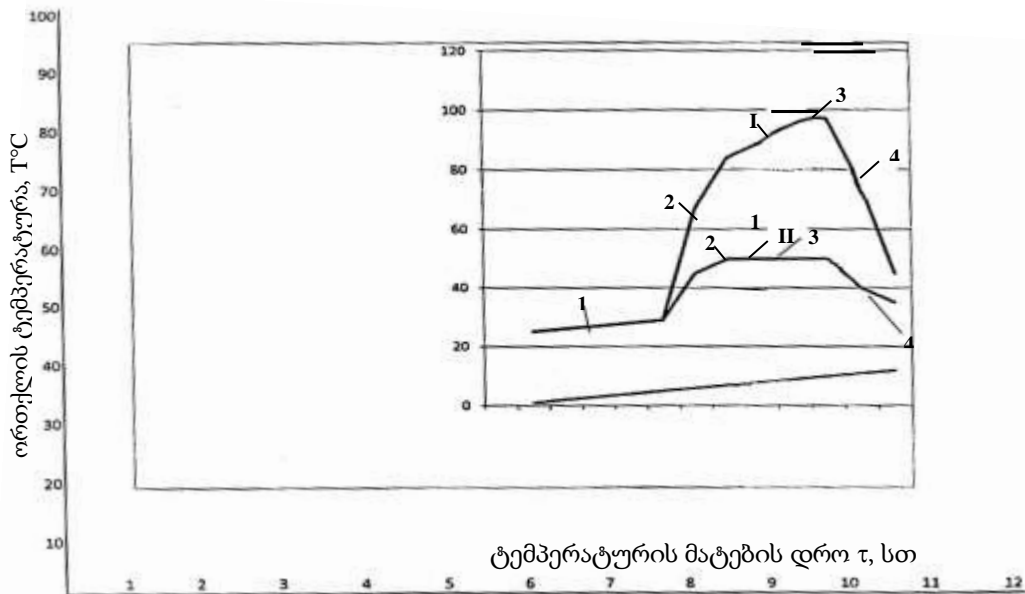
ორთქლის გამოყენებით კონსტრუქციების თბური დამუშავება ხასიათდება შემდეგი პერიოდებით:

1. წინასწარი დაყოვნების პერიოდი (დრო დაყალიბების დამთავრებიდან კამერაში ტემპერატურის აწევამდე);
2. ტემპერატურის აწევის პერიოდი (ტემპერატურის აწევის დაწყებიდან, იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურის წინასწარ დადგენილ ნიშნულამდე მიღწევის დრო);
3. იზოთერმული გახურების პერიოდი (კამერის გარემოს წინასწარ დადგენილ უმაღლეს ტემპერატურაზე კონსტრუქციის დახანების დრო);

4. გაცივების პერიოდი (კამერის და კონსტრუქციის ტემპერატურის თანდათანობითი დაწევა);

თბური დამუშავების ოპტიმალური რეჟიმები შეირჩევა ნაკეთობის სისქის, გამოყენებული ცემენტის სახით, ბეტონის მოთხოვნილი სიმტკიცის, ორთქლის მოყვანის ხერხის და სხვა ფაქტორების მიხედვით.

ქვემოთ წარმოდგენილ გრაფიკზე ნაჩვენებია საბაზო(არსებული) გაორთქლვის რეჟიმი ზაფხულის პერიოდში და ასევე ჩემს მიერ შეთავაზებული გაორთქლვის რეჟიმი (ნახ. 22).



ნახ. 22. ტემპერატურული რეჟიმები თბოტენიანი დამუშავების დროს რკინაბეტონის შპალის საწარმოებლად ზაფხულის პერიოდში

- I – თბოტენიანი დამუშავების საბაზო (არსებული) რეჟიმი;
- II – თბოტენიანი დამუშავების (შეთავაზებული) რეჟიმი;
- 1 – წინასწარი დაყოვნების დრო; 2 – ტემპერატურის მატების დრო;
- 3 – იზოთერმული დაყოვნების დრო $T=const$; გადასაცემი სიმტკიცის ფორმირება; 4 – ტემპერატურის დაწევის დრო.

ცხრილი 56

პარამეტრები	არსებული თტდ რეჟიმი (I) სქემით: 5+4+1.5+1.5→იზოთერმა 97°C										
დრო, τ, სთ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
ტემპერატურა, T°C	25	26	27	28	29	67	84	89	97	97	45

პარამეტრები	შეთავაზებული თტდ რეჟიმი (II) სქემით: 5+2+1+1→იზოთერმა 50°C										
დრო, τ, სთ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
ტემპერატურა, T°C	25	26	27	28	29	45	50	50	50	50	35

დასახული ამოცანა: ორთქლის ტემპერატურის შემცირება ბუნებრივი აირის ეკონომიის მიზნით, ცემენტის ხარჯის შემცირება.

შენიშვნები:

1. წინასწარი დაყოვნების დრო შედგება შემდეგი სტადიებისაგან:
 - ა) ბეტონის ნარევის ჩასხმა ფორმებში – 2,5 სთ; ბ) ფირფიტების ჩახსნა – 1,5 სთ; გ) სპეციალური ტილოს გადაფარება – 0,5 სთ; დ) დაყოვნება ორთქლის მიწოდებამდე – 0,5 სთ _____

ჯამში: – 5 საათი.

ცხრილი 57

თბოდამუშავებული ბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება
წ/ც-ის ფარდობასთან

წ/ც	ბეტონის % სიმტკიცე მისი კლასიდან	
	4 საათიანი დამუშავების შემდეგ	28 საათიანი დამუშავების შემდეგ
0,6 და მეტი	60-65	85-95
0,4-0,5	65-70	95-105
0,4-ზე ნაკლები	70-85	100-110

ბეტონში სტრუქტურული დარღვევები შეიძლება წარმოიქმნას ტემპერატურის აწევის და დაწევის პერიოდში. მათი თავიდან აცილების მიზნით მიმართავენ ბეტონის წინასწარ დაყოვნებას, რაციონალურად ირჩევენ ტემპერატურის აწევის და დაწევის სიჩქარეებს.

კვლევები მიზნად ისახავდა დაგვედგინა ოპტიმალური თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები, ცემენტის ხარჯის მკვეთრი შემცირებით. ყველა ზემოთხსენებული კვლევები ჩატარებული იქნა თბილისის რკინაბეტონის შპალის ქარხნის ლაბორატორიაში.

ზემოთ მოცემულ დიაგრამაში წარმოდგენილია ტემპერატურული რეჟიმები თბოტენიანი დამუშავების დროს. (დიაგრამა 1).

2. ტემპერატურული რეჟიმიდან (I) ჩანს, რამდენად დარღვეულია და არასრულფასოვანია იზოთერმული დაყოვნების დრო $t = \text{const}$ (3).



სურ. 1. მასალების შემოწმება შპს-ის ქარხნის ლაბორატორიაში



სურ.2. მონაცემების შეტანა აღრიცხვის ჟურნალში



სურ. 3. იტალიური ფირმა „Ferrolli“-ს მიერ წარმოებული კვანძები გაჯერებული ორთქლის მისაღებად



სურ.4. ფოლადის ბაგირების გატარება კასეტურ ფორმებში



სურ. 5. დანადგარი, რომელიც უზრუნველყოფს სპეციალური ტილოს გადაფარებას კასეტურ ფორმებზე ორთქლის მიწოდებამდე



სურ. 6. მიმდინარეობს თბოტენიანი დამუშავების პროცესი



სურ. 7. ლაბორატორიაში წარმოდგენილი საკონტროლო ნიმუშები გამოცდის წინ

ცხრილი 58

რკინაბეტონის შპალების დასამზადებლად არსებული (საბაზო) და შეთავაზებული ბეტონის შედგენილობები

ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების ხარჯვითი ნორმები 1 მ ³ ბეტონის ნარევე, კგ	
არსებული (საბაზო) შედგენილობა	შეთავაზებული შედგენილობა
1. ცემენტი CEMI 42,5R (ჰაიდელბერგი) – 580*–600**	1. ცემენტი CEMI 42,5R (ჰაიდელბერგი) – 520
2. ქვიშა (ბუნებრივი) – 310	2. ქვიშა (ბუნებრივი) – 355
3. ქვიშა (დამსხვრეული) – 310	3. ქვიშა (დამსხვრეული) – 350
4. ღორღი (5–10) – 310	4. ღორღი (10–20) – 340
5. ღორღი (10–20) – 750	5. ღორღი (10–20) – 780
6. წყალი (სასმელ) – 190	6. წყალი (სასმელ) – 85(ტენიანობის გათვალ).
7. ქიმ. დანამატი CHRYSO PREMIA G-180-5	7. ქიმ. დანამატი CHRYSO PREMIA G-180-5
Σ = 2450 კგ/მ ³	Σ = 2430 კგ/მ ³

* – ცემენტის ხარჯვითი ნორმა პირველ ტექნოლოგიურ ხაზზე

** – ცემენტის ხარჯვითი ნორმა მეორე ტექნოლოგიურ ხაზზე

3. ტემპერატურული გრადიენტი ტემპერატურული რეჟიმის (I) შემთხვევაში დაყოვნების შემდეგ საწყის ეტაპზე ერთი საათის განმავლობაში შეადგენს 38°C/სთ, ხოლო ტემპერატურული რეჟიმის (II) შემთხვევაში – 16°C/სთ.

4. წინასწარი დაყოვნების დრო უფრო ბევრად არის დამოკიდებული ცემენტის თვისებების სტაბილურობაზე (შეკვრის დაწყების და დამთავრების დრო).

ტექნოლოგიურ ხაზზე, ბეტონის ჩასხმის პროცესის დროს ვიღებდი ხუთ პოზიციაზე საკონტროლო ნიმუშებს, რომლებსაც ვათავსებდი ტილოს ქვეშ ჩასხმულ შპალებთან ერთად გაორთქლვის პროცესის დაწყებამდე.

ლაბორატორიაში შემოწმებისას აღმოჩნდა, რომ (I) რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეები ბევრად ნაკლებია (II) რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეებთან შედარებით, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილში 59.

ცხრილი 59

საკონტროლო ნიმუშების შედარებითი სიმტკიცეები,
გაორთქლილი I და II რეჟიმებით

№ პოზიციის ჩასხმების მიხედვით	I რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეები შესაბამის პოზიციებზე, მპა	№ პოზიციის ჩასხმების მიხედვით	II რეჟიმით გაორთქლილი საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეები შესაბამის პოზიციებზე, მპა
1	27,8	1	37,6
2	29,6	2	30,2
3	35,4	3	43,1
4	37,9	4	44,5
5	37,0	5	43,3
1	31,0	1	42,1
2	28,9	2	38,8
3	34,5	3	46,0
4	33,4	4	45,3
5	35,1	5	44,2
1	30,5	1	39,5
2	33,0	2	43,3
3	30,7	3	42,8
4	29,3	4	38,1
5	34,8	5	43,5
1	30,2	1	39,6
2	31,6	2	42,2
3	33,0	3	44,7
4	38,0	4	43,9
5	36,2	5	41,7
1	28,1	1	36,1
2	30,2	2	43,7
3	33,1	3	44,8
4	31,7	4	43,5
5	35,2	5	42,4

1	34,2	1	37,6
2	29,7	2	40,2
3	33,3	3	43,1
4	36,5	4	45,1
5	26,8	5	43,3

1	32,9	1	39,8
2	30,7	2	43,9
3	33,7	3	45,1
4	33,9	4	42,8
5	33,0	5	41,9

1	30,8	1	35,5
2	34,5	2	45,6
3	33,3	3	43,9
4	30,2	4	44,0
5	29,3	5	42,0

1	30,6	1	38,8
2	32,2	2	42,1
3	30,9	3	45,3
4	33,4	4	43,6
5	35,5	5	42,8

1	33,2	1	41,8
2	36,7	2	40,1
3	30,9	3	41,1
4	32,8	4	45,5
5	33,0	5	43,7

1	34,3	1	39,9
2	32,6	2	41,1
3	33,9	3	48,1
4	33,0	4	46,9
5	31,8	5	47,0

1	34,8	1	44,1
2	36,5	2	43,9
3	37,7	3	45,8
4	40,5	4	49,2
5	41,6	5	48,8

1	34,5	1	39,8
2	32,8	2	44,0
3	30,9	3	41,8
4	32,5	4	40,7
5	33,7	5	40,0

1	40,4	1	43,1
2	42,1	2	47,0

3	39,8	3	44,4
4	32,1	4	41,9
5	28,7	5	42,0

1	38,7	1	41,9
2	33,2	2	44,5
3	34,4	3	42,5
4	36,7	4	43,8
5	35,5	5	45,1

1	33,2	1	39,8
2	36,8	2	44,3
3	37,0	3	42,5
4	37,7	4	45,6
5	35,8	5	44,7

1	39,8	1	42,9
2	40,7	2	44,8
3	41,2	3	50,2
4	43,8	4	51,4
5	42,1	5	50,4

1	26,4	1	47,5
2	28,5	2	48,0
3	31,0	3	41,6
4	31,8	4	42,9
5	33,8	5	42,1

1	26,2	1	35,8
2	28,7	2	43,3
3	32,5	3	42,9
4	36,1	4	43,8
5	33,6	5	41,0

1	33,3	1	41,2
2	34,6	2	43,8
3	36,2	3	44,4
4	41,8	4	42,0
5	39,9	5	45,7

1	33,3	1	38,9
2	33,9	2	46,4
3	40,2	3	44,5
4	41,8	4	47,7
5	34,6	5	48,2

1	35,2	1	41,1
2	36,2	2	46,1
3	34,3	3	42,8
4	35,5	4	43,6
5	38,3	5	45,0

1	33,7	1	41,2
2	36,4	2	44,4
3	32,6	3	41,4
4	39,9	4	45,5
5	41,3	5	45,7

მეტად მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ სარკინიგზო შპალებს უწევთ მეტად რთულ კლიმატურ პირობებში ყოფნა, აქედან გამომდინარე საპროექტო მოთხოვნებშიც მაღალ სიმტკიცესთან ერთად ისინი უნდა აკმაყოფილებდნენ ყინვამედეგობის 200 ციკლს. ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა კვლევები ამ მიმართულებითაც, რომლის შედეგები წარმოდგენილია 60 ცხრილში.

ახლა მინდა წარმოგიდგინოთ რკინაბეტონის წინასწარდაძაბული დგარების ტექნიკური მონაცემები და მათი დამზადების ტექნოლოგია.

3.3.4. რკინაბეტონის წინასწარდაძაბული დგარის საწარმოო ხაზი

რკინაბეტონის წინასწარდაძაბული დგარი გამოიყენება რკინიგზის ინფრასტრუქტურის მოსაწყობად. იგი წარმოადგენს საკმაოდ საპასუხისმგებლო ელემენტს, რადგანაც მის თვისებებზეა დამოკიდებული მაღალი ძაბვის ელექტროქსელის მრავალწლიანი უწყვეტი ექსპლუატაცია. ამ დგარის ერთ-ერთი სახეობა, რომელიც რკინიგზაში გამოიყენება და რომელიც იწარმოება თბილისის რკინაბეტონის შპალის ქარხანაში - CC 13.6-6.3 არის 13600 მმ. სიგრძის, იწონის 2.1 ტონას, მის დასამზადებლად გამოიყენება B-40 კლასის 0,83 მ³ ბეტონის ნარევი 48 Ø5VR II წინასწარდაძაბული არმატურა, საცდელი დატვირთვა – 1,68 ტ, არმატურის დაჭიმვის ძალის ჯამური სიდიდე – 8,65 ტ, წარმოებაში არ გამოიყენება ქლორიანი მარილები და მინერალური მჟავები, ბეტონის დამცავი ფენის სისქე შეადგენს არანაკლებ 15 მმ, დგარები უნდა აკმაყოფილებდნენ F200; B-40; W6/8 მოთხოვნებს.

ახლა წარმოვადგენ წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის დგარის დასამზადებლად არსებულ (საბაზო) და ჩემს მიერ დაანგარიშებულ და შეთავაზებულ ბეტონის ნარევის შედგენილობებს, ცხრილი 61.

**არსებული (საბაზო) და შეთავაზებული ბეტონის
ნარევის შედგენილობები**

არსებული (საბაზო), კომპონენტების ხარჯი 1 მ ³ ბეტონის ნარევის დასამზადებლად, კგ	არსებული (მოქმედი), კომპონენტების ხარჯი 1 მ ³ ბეტონის ნარევის დასამზადებლად, კგ
1. ცემენტი CEM I 42,5R – 700	1. ცემენტი CEM I 42,5R – 650
2. ქვიშა (0-5) – 600	2. ქვიშა (0-5) – 630
3. ღორღი (5-20) – 900	3. ღორღი (5-20) – 980
4. წყალი – 200	4. წყალი – 185
S = 2400 კგ/მ ³	S = 2445 კგ/მ ³

რკინაბეტონის დგარის საწარმოებლად გამოიყენება CEM I 42,5R ტიპის ცემენტი, ინერტული მასალები უნდა იყოს კარგად გარეცხილი და უნდა აკმაყოფილებდნენ ნორმატიულ მოთხოვნებს. დგარების საწარმოებლად არ გამოიყენება ქიმიური დანამატები, ერთი მიზეზის გამო, რადგან მათში უფრო მეტია ელექტროენერჯისათვის თავისუფალი გადამტანი იონები, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიონ მაღალი ძაბვის გადატანა კორპუსზე იზოლატორის მცირეოდენი დაზიანების შემთხვევაში. ცნობილია, იშვიათია ქიმიური დანამატები, რომლებსაც გააჩნიათ ნეიტრალური რეაქცია. უფრო მეტწილად სამშენებლო ბაზარზე წარმოდგენილია ქიმიური დანამატები, რომლებსაც გააჩნიათ ან ტუტე ან მჟავა რეაქცია.

ბეტონის ნარევი ხისტი კონსისტენციით მიეწოდება ხიდურა ამწეზე დაკიდებული ხვიმირათი მიმღებ ხაზს, სადაც უკვე გამზადებულია არმირებული კარკასი და მოთავსებულია ნახევარ ფორმაში. ბეტონის ნარევით მთლიანად შევსების შემდეგ ფორმას ეხურება მეორე ნახევარი და ხდება არმატურების დაჭიმვა ჰიდრავლიკური დამჭიმებით. გამზადებული ფორმა გადადის დანადგარზე, სადაც ხდება ბეტონის ნარევის ცენტრიფუგირება. რამოდენიმე წუთიანი დაყოვნების შემდეგ ხდება გაჯერებული ორთქლის მიწოდება. ფორმებთან ერთად თავსდება აღებული ბეტონის საკონტროლო ნიმუშები. იმ შემთხვევაში, თუ ლაბორატორიაში გამოცდილმა საკონტროლო ნიმუშებმა დააკმაყოფილეს გადასაცემი

ნორმირებული სიმტკიცე, ხდება მუშა არმირების ჩაჭრა. შემდეგ ხდება განყალიბება და დასაწყობება შესაბამისი ინსტრუქციის საფუძველზე. ყველა გასაგზავნად გამზადებულ ვაგონს სხვა საბუთებთან ერთად ერთვის დგარების პასპორტი.



სურ. 8. დგარების საამქროს საწარმოო ხაზი



სურ. 9. დგარების ყალიბები



სურ. 10. ცენტრიფუგირების დანადგარი



სურ. 11. ყველა საჭირო დეტალით დაკომპლექტებული დგარები საწარმოს ტერიტორიაზე



სურ. 12. დგარის გამოცდა სწორხაზოვნებაზე



სურ. 13. გასაგზავნად გამზადებული დასაწყობებული დგარები საწარმოს ტერიტორიაზე



სურ. 14. მთლიანად მოწყობილი სარკინიგზო ინფრასტრუქტურა

1. ძირითადი დასკვნები

1. გამოკვლეულია ასაწყობი წინასწარდამაბული რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმები. ჩატარებული სამუშაოს საფუძველზე დადგინდა ოპტიმალური რეჟიმები წინასწარდამაბული ღრუტანიანი გადახურვის ფილების, სარკინიგზო შპალების და ელექტროგადაცემის დგარებისათვის. შპალების შემთხვევაში იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურა 97°C დან შემცირდა 50°C -მდე, გადახურვის ღრუტანიანი ფილების 70°C -დან, 40°C მდე, დგარების – 90°C -დან 50°C -მდე.
2. მიღებულია მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ბეტონები გაუმჯობესებული შედგენილობებით, შედეგად გავზარდეთ ბეტონის სიმტკიცე 35 მგპა – 40 მგპა-მდე და თბოდამუშავებისას თავიდან ავიცილოთ დესტრუქციული პროცესები.
3. გამოვიკვლიეთ ადგილობრივი ინერტული მასალები ბეტონის საწარმოებლად (ქვიშა და ღორღი). მათი ფიზიკურ – მექანიკური მახასიათებლები, შევადარეთ მოქმედ სტნდარტებს. დავადგინეთ, რომ ჩვენი კვლევებისთვის საუკეთესო მაჩვენებლებით (გრანულომეტრია, სისხოს მოდული, მინარევების შემცველობა, მსხვრევადობის მაჩვენებელი და ა.შ.) გამოირჩევა; ღრუტანიანი ფილებისათვის მდ. მტკვრის ბალასტის გადამუშავებით მიღებული მასალები, კასპის კარიერიდან, ხოლო შპალებისა და დგარების საწარმოებლად მდ. ქსანზე არსებული ქსოვრისის კარიერიდან.
4. გამოკვლეულია საქართველოში (ჰაიდელბერგცემენტი) და თურქეთში (ტრაპიზონი) წარმოებული CEMI 42,5R ცემენტები და დადგენილია, რომ მათი ქიმიური და მექანიკური მახასიათებლები შეესაბამება ევროსტანდარტის EN197 – 1 მოთხოვნებს.
5. შესწავლილია საქართველოს ბაზარზე არსებული მაპლასტიფიცირებელი დანამატები და მათი გამოყენების ეფექტურობა. კერძოდ; სულფომელამინის ფორმალდეჰიდის ბაზაზე, პოლიკარბოქსილატები და ლიგნოსულფონატები.

6. გამოკვლეული კომპონენტების საფუძველზე გაანგარიშებულია B 40-45 კლასის ბეტონის შედგენილობები. ა) საბაზო (დანამატის გარეშე), ბ) ღრუტანიანი ფილებისათვის გამოვიყენეთ მაპლასტიფიცირებელი ლიგნოსულფონატის დანამატი XelAH30N-ი (0.7% ოდენობით ცემენტის მასიდან და წყ/ც- ფაქტორის 0,5-დან 0,33-მდე შემცირებით). შპალების დასამზადებლად გამოვიყენეთ კრაიზოს პოლიკარბოქსილატური მაპლასტიფიცირებელი დანამატი CHRYSO PREMIA G180(0.97% ოდენობით ცემენტის მასიდან). მივიღეთ ბეტონის დენადობის მაღალი მაჩვენებლები 14 – 16 სმ ერთი ტექნოლოგიური ხაზისთვის და 20 – 21სმ მეორესთვის.
7. დავადგინეთ, რომ დაბალი წყ/ც – ის ფარდობა ბეტონის ნარევებში, საგრძნობლად ამცირებს ბეტონის შეკვრის ვადებს და წინასწარი დაყოვნების დროს თბოდამუშავებამდე, 6,5 საათიდან 5 საათამდე. ბეტონი ასწრებს განსაზღვრული სიმტკიცის აკრეფას და ხელს უშლის ბზარწარმოქმნას თბოდამუშავებისას.
8. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მოხდა წინასწარდამაბული რკინაბეტონის ღრუტანიანი პანელების, შპალებისა და დგარების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია; გაუმჯობესდა პროდუქციის ხარისხი, შემცირდა ცემენტის ხარჯი 13-15%-ით, თბოდამუშავების ტემპერატურა, გაიზარდა ბეტონის კლასი, ყინვამდეგობა, გაუმჯობესდა ნაკეთობის ვიზუალური მხარე. შედეგად მივიღეთ ეკონომიკური ეფექტი 8 – 10%-ი.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Бойков В.Н., Сигалов Э.И. Железобетонные конструкции. Общий курс. Учебник. М.-М.: Стройиздат, 1991. – 766 с.
2. Пособие по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1992. – 102 с.
3. ჟურნალი ეკონომიკა, 2010, გვ.15
4. Ахвердов И.Н. Технология железобетонных изделий и конструкций специального назначения. – Мн.: Наука и техника, 1993. – С. 4-39.
5. Ашрабов А.А., Зайцев Ю.Н. Элементы механики разрушения бетонов. – Ташкент: УКИТУВЧИ, 1991. 238 с.
6. Воробьев В.А., Мосесов М.Д., Попов В.П. Автоматическая установка для определения поверхностей энергии хрупких материалов по акустической эмиссии / Дефектоскопия – 1998. – № 10. – с. 79-82.
7. Гвоздев А.А., Байков В.Н. К вопросу о поведении железобетонных конструкции в стадии близкой разрушению / Бетон и железобетон, 1980, №9. с. 3,5.
8. ნადირაძე ა., ტურძელაძე მ. ბეტონისა და რკინაბეტონის სპეციალიზირებული საწარმოების დაპროექტება. თბილისი; სტუ, 2009.
9. Журков С.Н. Проблема прочности твердых тел // Вестник АН ГССР. 1987. – №11. с. 68-71.
10. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел // Вестник АН ГССР. 1988. – №3. с. 46.
11. Малюга И.Г. Состав и способ приготовления цементного раствора (бетона) // Инженерный журнал. – Петербург. – 1985. № 3. – с. 9.
12. Невилль А.М. Свойства бетона. – М.: Госстройиздат, 1982ю 256 с.
13. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.К. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: 1985. 560 с.
14. Состав, структура и свойства цементных бетонов // Под ред. д.т.н. проф. Г.Н. Горчакова. – М.: Стройиздат, 1986, 144 с.
15. ტურძელაძე მ., ქარუმიძე ზ. ბეტონში ინტენსიური ბზარწარმოქმნის პროცესზე შემვსების სიმკვრივის გავლენა // // საშენი მასალები და ნაკეთობები, თბილისი, 1999.
16. ტურძელაძე მ., ქარუმიძე ზ. წვრილმარცვლოვან ბეტონში ბზარწარმოქმნის პროცესზე მასშტაბური ფაქტორის გავლენა // საშენი მასალები და ნაკეთობები, თბილისი, 2000, გვ. 12-14.
17. Федоров А.Е. Физико-химические основы процессов развития напряжений и деформаций в цементном камне и их влияние на структуру, свойства и долговечность бетона. Изд. Наука, М.: 1984, 261 с.
18. Фудзий Т., Фзако Н. Механика разрушения композиционных материалов /Пер. с япон. – М.: Мир, 1982, 232 с.
19. Shaf S.P. Some recent research on mechanical properties of concrete // Schwecter Atchiu – 37 № 12, 1981, p. 25-31.
20. Davis B.E., Davis H.E., Broun E.H. Plastic flour and Voleume change of Concrete // Soc. for Test. Proc. 1987. – p. 37.
21. Hofa I., Moczko A., Pyszniak I. Evaluation of the degree of destruction of axially compressed concrete by acoustic methods / 18th Cong. Mater. Test. – 2002. t. 3. – с. 1209-1211.

22. ა. ჩიქოვანი. საშენი მასალები. თბილისი, 2019.
23. ა. ჩიქოვანი. საშენი მასალების კვლევა-ძიებისა და კონტროლის მეთოდები. თბილისი, 2013.
24. ა. ჩიქოვანი. საშენი მასალები და კონსტრუქციები. თბილისი, სტუ. 2016.
25. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. სამშენებლო მასალათმცოდნეობა. თბილისი, სტუ, 2017.
26. ა. ჩიქოვანი. ბეტონის ტექნოლოგია. თბილისი, 2015.
27. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. ბეტონები. ტექნიკური მოთხოვნები, გამოცდის მეთოდები ევროპულ სამშენებლო ნორმებთან შესაბამისობით. თბილისი, სტუ, 2017.
28. Саканделидзе А.А., Карумидзе З.И. и др. Рекомендации по применению суперпластификатора КМ-30 в тяжелых бетонах и изготовление из них бетонов. Тбилиси, ГПИ, 1985.
29. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва, 2006.
30. Основин В.Н., Шуляков Л.В., Дувяго В.С. Справочник по строительным материалам и изделиям. Ростов, 2006.
31. Бадьин Г.М. Справочник по измерительному контролю качества строительных материалов. Санкт-Петербург, 2010.
32. Слесарев Ю.М. Приготовление бетонной смеси и строительного раствора. М.: 1984.
33. Бердичевский Г.И., Васильев А.П., Иванов Ф.М. и др. Справочник по производству сборных железобетонных изделий. Москва, Стройиздат, 1982, с. 214-250.
34. Малинина Л.А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1977. – 159 с.
35. Миронов С.А. Рост прочности бетона при пропаривании и последующем твердении. М.: Стройиздат, 1973. 96 с.
36. Мчедлов-Петросян О.П. Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов. – М.: Стройиздат, 1984. – 225 с.
37. Шейкин А.Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости. – М.: Стройиздат, 1989. – 127 с.
38. Бибик М.С. Об энергосберегающих режимах тепловой обработке бетонных и железобетонных изделий // Строительная наука и техника. 2010. – № 4(31). с. 55-59.
39. Бибик М.С. Общие принципы проектирования энергосберегающих режимов тепловой обработки железобетонных изделий в ямных пропарочных камерах Гродно. сб. науч. статей 2010. – с. 292-296.
40. Бибик М.С. К возможности проектирования режима тепловой обработки бетона в ясных пропарочных камерах. Строительная наука и техника. 2009. – № 2(23). с. 58-63.
41. Бабицкий В.В. Элементы проектирования режима тепловлажностной обработке бетона. Беларусь: сб. труды VI Международного науч.-методического семинара. Новополоцк, 2008 – с. 139-143.
42. Блещик Н.П. Проектирование состава бетона и режимов тепловой обработки железобетонных конструкций // Строительная наука и техника. 2006. № 3(6). – с. 37-42.
43. Применение добавок в бетоне: ГН-99. к СНиП 3.09.01-85. Производство сборных железобетонных конструкций и изделий // Госстрой СССР-м.

44. Изделия бетонные и железобетонные сборные. Правила тепловлажностной обработки: ТКП 45-5.03-13-2005(02250). – Введ. 01.01.2006. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 59 с.
45. Маиоров П.М. Бетонные смеси. Рецептупный справочник для строителей и производителей строительных материалов. Ростов на дону. Изд. Фенике. 2009. с. 4-50. с. 428-440.
46. Богомолдов О.В., Малышев А.А. Как радикально повысить энерго-эффективность теплоснабжения технологических процессов производства ЖБИ // Технология бетонов. 2014. № 8, с. 33-35.
47. Корнеев А.Д., Шубарев В.Я., Синельников Д.С., Соловьев В.Г. Экспериментальные исследования тепловлажностной обработки бетона продуктами сгорания природного газа // Технология и материалы № 1. январь 2007. с. 3031.
48. Петрова Т.М., Серенко А.Ф., Угоров В.Н. Ресурсосберегающие технологии при изготовлении шлам // Путь и путевое хозяйство. 2006. № 9. с.2-3.
49. Серенко А.Ф. О совершенствовании технологии производства железобетонных шпал // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2006. № 1. С. 107-111.
50. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат. 1990. 400 с.
51. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Шлапаков Ю.А. Лабораторные определения свойств строительных материалов. М.: АСВ, 2004. – 176 с.
52. Бетоны. Материалы, технологии, оборудование. Справочник. Серия «Строитель». М.: Стройинформ, ФЕНИКС, 2006. – 424 с.
53. Ферронская А.В., Стамбулко В.И. Лабораторный практикум по курсу «Технология бетонных и железобетонных изделий». М.: Высшая школа. 1988. – 224 с.
54. Богомолдов О.В. Опыт энергосбережения // Промышленно-строительное обозрение. Май, 2013, № 149. с. 18.
55. ASTM C 39 Standard test Method for Compressive Strength of Cylindrical concrete Specimens.
56. ASTM C 78 Standard test Method for Flexural Strength of concrete (Using Somple Beam with Third – Point Loading).
57. ASTM C 666 Standard test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.
58. ASTM 94 Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
59. ASTM C 1602 Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic cement Concrete.
60. AASHTO TP60 Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete.
61. Mainstone, R.J. Pevelopments in Structural Form. The MIT Press, Cambridge. 1975.
62. EN 206-1. Concrete part 1: Specification, performance, production and conformity.
63. Testing Hardened Concrete, on accreditation to BS EN 12390//United Kingdom Accreditation Service TPS 43, adition 2, December 2004.
64. Concrete tests 5-694 // Concrete Manual, September 1, 2003.
65. Design and control of Concrete Mixtures // Portland Cement association, 14th Edition, 2002.
66. Wicill A. Wlasciwosci betony. 2000.
67. T.S. Continho. NP EN12390 – Ensaio do betao endurecido //MC2, 2004.
68. E. Sakai. Intlucence of Superplastici zers on the dydration of cement and the pore stgructure of hardened cement. Cement and Concrete Research, 2006, 36 № 11, 2049-2054.
69. H. Taylor. Proposed Structure for C-S-H Gel // J. Amer. Ceramic Soc. V, 69, 6, 1986, p.p. 464-467.

70. B. Mather. Concrete – Vear, 2000, Revisite technology. Las Vegas USA, june 12, 1995, p.p. 1-9.
71. J. Hamada. Influence of Superplasticizers on the hidration of cement and the pore structure of hardened cement. Cement and concrete Research, 2002, 45, № 2, 128-134.
72. V.V. Malhotra. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A. Review // CANMET/ACI Symposium on Advantes in Concrete Science Tech. Rome, okt. 7-10, 1997, Proceedings, p.p. 271-314.
73. H. Uchikawa, Sh. Ganehara. Influnse of Characteristics of Sulfonik Acid. – Dased Admixture on interactive Force Between cement Particies and Fluiditi of cement Paste // CANMET/ACI Sumposium on Advantes in Concrete Science Tech. Rome, okt. 7-10, 1997, Proceedings, p.p. 271-314.
74. K. Yamada, C-B. Kim, K. Ichitsubo, M. Ichikawa. Combined effect of cement characteristics on the performance of Superplasticizers. An investigation in real cement plan. Proceedongs of 8th CANMET/ACI Int. Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Suppl. volume. P. 159-174.
75. Sika – Каталог продукции – Sika Yapi Kimyussa Muri A-S. 2007.
76. M. Colleparadi. Admixtures-Enhancing concrete performance // 6th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dandee, U.K. – 5-7 july, 2005.
77. D. Min, T. Minshu. Formacion and expansion of etringitte crystals // Cement and concrete research, 1994, p.p. 24-28.
78. W. Balbiki, G. Ballivy. On Predicting Modulus of Elasticity in High-Strength Concrete@ ACE Materials jurnal. 1992. Sept-Oct. p.p. 517-520.
79. Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton: Richtlinie, Selbstverdichtender Beton, Berlin, November, 2003.
80. T. Powers. Interpretation of creep test of concrete. “RIKEM Vulletin” No. 34. 1977.
81. მ. ლორთქიფანიძე, ბეტონის ნარევის დამზადების წესი / გამოგონება. საავტორო მოწმობა № 466198. 1989.
82. ა. ნადირაძე. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობათა ტექნოლოგია. განათლება. თბილისი. 1994. 584 გვ.
83. ГОСТ 310.3-76 – ცემენტები. ნორმალური სისქის, შეკვრის ვადების და მოცულობის თანაბარი ცვლილების განსაზღვრის მეთოდები.
84. ГОСТ 30744 – ცემენტები. გამოცდის მეთოდები.
85. Д. Назарский, Д. Димов. Алияние суперпластификаторов на бетонные смеси и бетон. Сб. докладов «ВСУ 2002», София, 2002.
86. დ. გაგუნაშვილი, მ. ხოჯაშვილი, თ. დეკანოზიშვილი. საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული შემვსებების საბადოთა ნედლეულის დახასიათება, მათი საფუძველზე დამზადებული ბეტონები და ტექნოლოგიის ზოგიერთი საკითხი, თბილისი, 1999.
87. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. ცემენტები. ტექნიკური მოთხოვნები, გამოცდის მეთოდები ევროპულ სამშენებლო ნორმებთან შესაბამისობით. თბილისი, სტუ, 2019.
88. ზ. ქარუმიძე, ზ. ბეკურიშვილი. ბეტონის გამაგრების დაჩქარება თბოდამუშავების დროს რკინაბეტონის ნაკეთობებში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ № 2(51), 2019, გვ. 63-66.

89. ზ. ქარუმიძე, ზ. ბეკურიშვილი. თბოდამუშავების გავლენა ბეტონის სიმტკიცის ზრდაზე და მასში მიმდინარე დესტრუქციულ პროცესებში. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერჯია“ №2(90). 2019 გვ. 54-59.
90. ზ. ბეკურიშვილი. რკინაბეტონის ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავების რეჟიმების ოპტიმიზაცია საქარხნო პირობებში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 4(53), 2019, გვ. 77-82.
91. მ. ტურძელაძე, ზ. ბეკურიშვილი, ზ. ქარუმიძე. მდგენელების ხარისხისა და დოზირების გავლენა ბეტონის ნარევის და გამყარებული ბეტონის თვისებებზე. II საერთაშორისო სიმპოზიუმი „სეისმომედეგობა და საინჟინრო სეისმოლოგია“. 16-17 იანვარი 2019. გვ. 90-95.
92. Пухаренко Ю.В. Наномодифицированные добавки в бетона для транспортного строительства / Ю.А Пухаренко, В.Д. Староверов, Д.И. Рыжо Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, экономике и практике, 2014 - № 5(54). – с. 26-30.
93. Слюсарь А.А. Регулирование реологических свойств цементных смесей и бетонов добавками на основе оксифенолфурфурольных олигомеров / А.А. Слюсарь, Н.А. Шаповалов, В.А. Полуэктова // Строительные материалы. 2008. - № 7. – с. 42-43.

დანართი