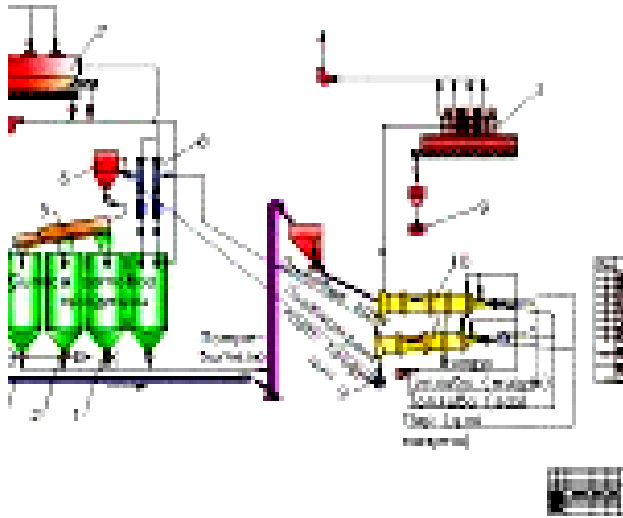


ზვინაბ ქარშშიბე, ჰერა ბეჰაბია



პერლიტი მშენებლობაში

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ზინაბ ქარშიძე, ვერა ბეჟია

პერიდი მშენებლობაში



დამტკიცებულია სტუ-ს
სატრანსპორტო და მანქანათ-
მშენებლობის ფაკულტეტის
სარედაქციო-საგამომცემლო
ჯგუფის მიერ

თბილისი 2012

უაკ (UDC) 691.327.3

ქ.

ნაშრომში განხილულია ფარავნის საბადოს პერლიტის გამოყენების შესაძლებლობები თანამედროვე მშენებლობაში, ქვეყანაში ენერგოდეფიციტის პირობებში უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება მასალებს, რომლებიც მაღალეფექტური თბოსაიზოლაციო თვისებებით გამოირჩევა. ასეთად მოიაზრება, როგორც მსუბუქი, ასევე აფუებული პერლიტის ზემსუბუქი შემსვებები.

საქართველოში პერლიტის შემსვებზე კვლევები, მისი დიდი მარაგისა და საუკეთესო ხარისხის გამო, ჯერ კიდევ წინა საუკუნეში დაიწყო.

კვლევების განახლება განაპირობა შპს სამთო კომპანია „ფარავანპერლიტ“-ის ჩამოყალიბებამ, რომლის ბაზაზეც დაბა გაჩიანში აშენდა და ფუნქციონირებს აფუებული პერლიტის საწარმო. ეს იძლევა პერლიტის გამოყენების შესაძლებლობას, მსუბუქი და ზემსუბუქი პერლიტობეტონების წარმოებაში.

პერლიტის საფუძველზე მიღებული თბოსაიზოლაციო მსუბუქი და ზემსუბუქი ბეტონების სიმკვრივე 400 – 600 კგ/მ³-ია. ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც შემომზღუდავ კონსტრუქციებში, ასევე გადახურვის დასათბუნებლად, იატაკის შემსვებად და სხვა. პერლიტობეტონის ნაგებობებში ყოველ კვადრატულ მეტრზე იზოგება 2 ლ-ზე მეტი საწვავი. გარდა ამისა პერლიტობეტონები გამოირჩევა საუკეთესო ბგერაშთან-თქმის თვისებებითაც.

რეცენზენტი: აკად. დოქტ. ა. ნადირაძე

კომპიუტერული უზრუნველყოფა: ე. ზარიძე

საგამომცემლო სახლი “ჩოხი”

ISBN978-9941-0-4474-8

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

შ ე ს ა მ ა ლ ი

უკანასკნელ წლებში მშენებლობის სწრაფი ტემპებით განვითარება მოითხოვს, თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით, გადაჭრილ იქნას ისეთი უმნიშვნელოვანესი პრობლემები, როგორცაა შენობა-ნაგებობების მასის შემცირება, მათი თბობგერასაიზოლაციო და სეისმომედეგი თვისებების გაუმჯობესება, რაც, თავის მხრივ, მკვეთრად დაზოგავს მატერიალურ რესურსებს და მოგვცემს მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს.

მშენებლობის ღირებულების შემცირების და მისი დაჩქარების ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური გზაა შენობის მზიდი და შემომზღუდავი კონსტრუქციების მასის შემცირება. ეს კი შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა სახის მსუბუქი ბეტონისა და რკინაბეტონის გამოყენებით.

მძიმე ბეტონის მსუბუქით ჩანაცვლება, როგორც უკვე ავლინებთ, იწვევს შენობის საკუთარი მასის შემცირებას, რის გამოც მცირდება დატვირთვა საძირკველზე, შენობა უფრო მოქნილი ხდება. ეს კი მისი სართულიანობის გაზრდის საშუალებას იძლევა.

მსუბუქ ბეტონებსა და შემვსებებს უხსოვარი დროიდან იყენებდნენ. ამის ნათელი მაგალითია, ჯერ კიდევ ძველ რომში აგებული კოლიზეუმი და პანთეონი, სადაც გამოყენებული იქნა მსუბუქი, ფორიანი შემვსებები – ტუფი და პემზა.

საქართველოში, გასული საუკუნის 50-იან წლებში, მსუბუქი ბეტონისაგან აშენებულ იქნა მარქსიზმ-ლენინიზმის კვლევითი ინსტიტუტის ყოფილი ფილიალი, დინამოს სტადიონი, მთავრობის სასახლე და ა.შ.

ცნობილია რომ, საზღვარგარეთის ქვეყნებში გამოყენებული ბეტონების ძირითადი წილი მოდის მსუბუქ ბეტონებზე. მას ფართოდ იყენებენ, როგორც მონოლითურ, ისე ასაწყობ მშენებლობებში. ამერიკის შეერთებულ შტატებში, გასული საუკუნის 70-იან წლებში, 200-მდე საწარმო ამზადებდა მსუბუქ შემცსებებს. აქედან 66 საწარმო კერამზიტს; 24 აფუებულ წიდას, ხოლო დანარჩენი კი სხვადასხვა სახის ხელოვნურ, ფორიან შემცსებებს. უცხოეთში მსუბუქი ბეტონები გამოიყენება, როგორც მზიდი, ასევე შემომზღუდავი კონსტრუქციების, კერძოდ: სვეტების, რიგელების, გადახურვის და საკედლე პანელების, ტიხრების, ხიდების, გზახიდებისა და სხვა საპასუხისმგებლო ნაგებობებისათვის ნაკეთობების დასამზადებლად. ეკონომიკური ეფექტი კი შენობა-ნაგებობების მასის შემცირების, საარმატურე ფოლადის დაზოგვის, თბოფიზიკური და აკუსტიკური მახასიათებლების გაუმჯობესების ხარჯზე მიიღწევა.

მსუბუქი ბეტონითაა აგებული მეოცე საუკუნეში, ქალაქ ჩიკაგოში 67 სართულიანი, ხოლო ქალაქ ჰიუსტონში 52 სართულიანი შენობები. ასევე ეფექტურად იყენებენ მსუბუქ ბეტონებს შვედეთში, ნორვეგიაში, ფინეთში, ინგლისში, დანიაში, გერმანიაში, ჩეხეთში, პოლონეთში, ბელარუსში და ა.შ.

სხვადასხვა სახის მსუბუქი ბეტონის გამოყენება მარტო სართულშუა კონსტრუქციებში, ამცირებს შენობის მასას 16%-მდე, ხოლო ამ სახის ბეტონით საკედლე პანელებისა და ტიხრების დამზადება შესაძლებლობას იძლევა გავზარდოთ ნაკეთობების ზომები, გავზადოთ მშენებლობა მაქსიმალურად მექანიზებული და ამასთანავე შევამციროთ სატრანსპორტო ხარჯები. გარდა ამისა, მკვეთრად მცირდება საძირკვლის ზომებიც. კონსტრუქციული მსუბუქი ბეტონის მასა 25-30%-ით ნაკლებია ჩვეულებრივი, მსუბუქი ბეტონის მასაზე. 25-30 კლასის მსუბუქი ბეტონის ზოგადი სიმკვრივე 1700-1900 კგ/მ³-ია, 15-25-ისა 1500-1700 კგ/მ³, ხოლო 10-15-ისა მერყეობს 1200-1600 კგ/მ³-ის ფარგლებში. გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ ფართო მოხმარების მსუბუქი კონსტრუქციებისათვის 10-25 კლასის ბეტონი სავსებით საკმარისია. პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ საუკეთესო ეკონომიკური ეფექტი მიიღწევა კონსტრუქციებში მსუბუქი ბეტონის კომპლექსური გამოყენებით. ამ დროს მცირდება შრომითი დანახარჯები დაახლოებით 16%-ით, ბეტონის ხარჯი 12%-ით, ცემენტის 8%-ით, საარმატურე ფოლადის 17%-ით, ტრანსპორტის ხარჯები 2,5%-ით. ფრიად მომგებიანია მსუბუქი ბეტონის გამოყენება კარკასულ ნაგებობებშიც. აღარაფერს ვამბობთ სასოფლო მშენებლობაზე, სადაც მსუბუქი ბეტონი საუკეთესო მასალას წარმოადგენს.

საქართველოში მსუბუქი ბეტონის წარმოების განსავითარებლად ყველა საჭირო პირობა არსებობს. კერძოდ, აქ

მოიპოვება დიდი რაოდენობის საჭირო ნედლეული სხვადასხვა სახის მსუბუქი შემესებების მისაღებად. მსუბუქ ბეტონს მიეკუთვნება 1800 კგ/მ³-მდე ზოგადი სიმკვრივის (მოცულობითი მასის), ყველა სახეობის ბეტონი, რომელთა დასამზადებლად გამოყენებულია სხვადასხვა ფორიანი შემესებები: ხელოვნური: კერამზიტი, აგლოპორიტი, აფუებული პერლიტი, წიდის პემზა და სხვა; ბუნებრივი: ტუფი, პემზა, ვულკანური წიდა, ვულკანური ფერფლი და სხვა; წარმოების ნარჩენები – საწვავის წიდეები, ნაცარი, მერქნის ნარჩენები და ა.შ. ხელოვნური ფორიანობის შექმნის ხერხის მიხედვით განასხვავებენ მსუბუქ ბეტონს ფორიან შემესებებზე, მსხვილფორიან (უქვიშო) და უჯრედოვან ბეტონებს.

სიმკვრივის მიხედვით განასხვავებენ 300-დან 600 კგ/მ³-მდე ზოგადი სიმკვრივის მსუბუქ თბოსაიზოლაციო ბეტონს; 600-დან 1000 კგ/მ³-მდე ზოგადი სიმკვრივის თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციულ მსუბუქ ბეტონს და 1000-დან 1800 კგ/მ³-მდე კონსტრუქციულ ბეტონს.

თბოსაიზოლაციო სამშენებლო მასალები წარმოადგენენ ფორიან მასალას, შემდგარს „კარკასისა“ და ჰაერისაგან. მყარი კარკასი უნდა შედგებოდეს ნივთიერებისაგან, რომელთაც აქვთ არა კრისტალური, არამედ ამორფული სტრუქტურა, ვინაიდან კრისტალური მასალა კარგი თბოგამტარია. მაგალითად, კვარცის კრისტალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი ოპტიკური ღერძის გასწვრივ 11,7, ხოლო ღერძის მართობულად კი 6,2 კკალ/მ.⁰C.სთ-ია. თუ გამოვი-

ყენებთ მინისებრი აგებულების მასალას, ანუ მასალას, რომელიც მიიღება ნადნობის სწრაფი გაცივებით, მაშინ ეს კოეფიციენტი დაახლოებით 10-ჯერ მცირდება. ჰაერი დანარჩენ გარემოსთან შედარებით ყველაზე ნაკლებად თბოგამტარია, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ უჰაერო სივრცეს. მშრალი ჰაერის თბოგამტარობის კოეფიციენტი (წვრილ ფორებში) 0,02 კკალ/მ.⁰C.სთ-ია. უნდა აღინიშნოს, რომ ზემოთ მოყვანილი კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად იზრდება ჰაერის ფენის ზრდასთან ერთად. სწორედ ამიტომ ცდილობენ, რომ თბოსაიზოლაციო მასალების ტექნოლოგიაში მიღწეულ იქნას უფრო მეტი ფორიანობა.

პრაქტიკაში ფორიანი სტრუქტურის შესაქმნელად სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. შესაძლებელია მოხდეს წყლის დიდი რაოდენობით გამოყენება და შემდგომში მისი სწრაფი აორთქლებით წარმოიქმნება ფორები გამყარებულ ნაკეთობაში. ფართოდ იყენებენ აგრეთვე აირწარმოქმნელ და ქაფწარმოქმნელ დანამატებს, მსუბუქ შემცხებებს და ა.შ.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სტრუქტურაში ფორების თანაბარ განაწილებას და მათ ტიპს. განასხვავებენ ფორების ორ ტიპს: დახურულს და ღიას. უმჯობესია ნაკეთობაში წარმოიქმნას წვრილი, თანაბრად განაწილებული, დახურული ფორები, რადგან მათში ვერ აღწევს წყალი და სწორედ აქ ახერხებს ჰაერი საუკეთესოდ შეასრულოს თბოსაიზოლაციო ფუნქცია. დახურულფორებიანი სტრუქტურა თავის მხრივ, განასხვავებს ზემოაღნიშნულ ნაკეთობებს ბგერასაი-

ზოლაციო ნაკეთობებისაგან, რომლებიც გარკვეული რაოდენობით ღია ტიპის ფორებს შეიცავენ. ეს პრინციპული განსხვავება მხვედველობაში უნდა იქნას მიღებული, ვინაიდან ხშირ შემთხვევაში ბგერა და თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების დამზადება ერთი და იგივე ნედლეულის ბაზაზე წარმოებს.

თანამედროვე მშენებლობაში ძირითადად ორი მოთხოვნაა გასათვალისწინებელი – კონსტრუქციების საიმედოობის უზრუნველყოფა და მათი მასალათტევადობის შემცირება.

ამ პრობლემის გადაჭრა, ახალი მასალების შექმნასთან ერთად, მათი მახასიათებლების გაუმჯობესების გზითაცაა შესაძლებელი. აქ კი დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ამ მახასიათებლების შეფასების მეთოდების სრულყოფას, რომელთა საშუალებითაც, მიღებული უტყუარი ინფორმაციის საფუძველზე, შესაძლებლობა მოგვეცემა უფრო სრულად გამოვიყენოთ ბეტონისა და რკინაბეტონის სიმტკიცე და დეფორმაციული თვისებები, მათ შორის მსუბუქი ბეტონისაც.

მოცემული ნაშრომი ფარავნის ტიპის მიდამოების პერლიტისაგან მსუბუქი ბეტონების მიღების შესაძლებლობას და ამ ბეტონების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევას ეძღვნება.

თაზი I

ბუნებრივ ფორიან შემოსევაზე და მსუბუქ ბეტონებზე ჩატარებული კვლევების ანალიტიკური მიმოხილვა

ჩვენს მიერ აღნიშნული იყო, რომ ფორიან შემოსებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონი გამოიყენება, როგორც შემომზღუდავ, ასევე მზიდ კონსტრუქციებში შენობა-ნაგებობების საკუთარი მასის შესამცირებლად. ამიტომ, სიმტკიცესთან ერთად ამ სახის ბეტონების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მისი სიმკვრივეც. მსუბუქი ბეტონის ხარისხი და გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა განისაზღვრება მისი ზოგადი სიმკვრივისა (მოცულობითი მასა) და სიმტკიცის რაციონალური შეხამებით. ამ ორ მახასიათებელზეა დამოკიდებული შენობების კონსტრუქციების მასა და ზომები. ნაკეთობების ზომების ზრდა და მასის შემცირება, როგორც ცნობილია წარმოადგენს სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ტემპების ზრდისა და მშენებლობის ღირებულების შემცირების მეტად მნიშვნელოვან წინაპირობას.

მსუბუქი ბეტონის ზოგადი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა), სიმტკიცე და სხვა თვისებები დამოკიდებულია გამოყენებული შემოსებების სახეზე და რიგ ფაქტორებზე, რომელთა შორის ყველაზე მნიშვნელოვნად მსუბუქი შემოსებების მარცვლოვანი შედგენილობა, შემკვრელისა და წყლის ხარჯი (წყალცემენტის ფარდობა) და ბეტონის ნარევის გამკვრივების მეთოდი გვევლინება.

ფორიან შემესებებს თავიანთი სტრუქტურის თავისებურების გამო, ახასიათებთ ცემენტის ჩვეულებრივი დუღაბის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვნად დაბალი სიმტკიცე. ამიტომ მათი გამოყენება ბეტონში იწვევს სიმტკიცის საგრძნობ შემცირებას ჩვეულებრივ მძიმე ბეტონებთან შედარებით. ეს ხდება მით უფრო მეტი ხარისხით, რაც მეტია შემესებების შემცველობა ბეტონში და ნაკლებია მათი სიმკვრივე.

მსუბუქი ბეტონის სიმტკიცეზე დიდ გავლენას ახდენს მსხვილი ფორიანი შემესებების შემცველობა, ანუ შემესების კონცენტრაცია, ე.ი. მსუბუქი შემესების მოცულობა 1მ^3 ბეტონში. შემესების კონცენტრაციის გავლენა დამოკიდებულია მისი სიმტკიცისა და დუღაბის სიმტკიცის თანაფარდობაზე [4]. ჩვეულებრივ, კონსტრუქციულ მსუბუქ ბეტონში დუღაბი საკმარისად მაღალი სიმტკიცისაა. შემესების კონცენტრაციის ზრდა იწვევს ბეტონის სიმტკიცის კლებას. ბეტონისა და დუღაბის სიმტკიცეების განსხვავებისას კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო მსუბუქ ბეტონში, მაქსიმალურ სიმტკიცეს აღწევენ შემესებების გარკვეული ოპტიმალური კონცენტრაციისას.

რაც შეეხება საკუთრივ ცემენტის ქვისა და ბეტონის თვისებების ჩამოყალიბებაში განსაკუთრებული როლი ენიჭება მის ფორიანობას. ამიტომ ამ საკითხის შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს. ფორები თამაშობენ ძირითად როლს ცემენტის ქვისა ბეტონის გარემოსთან ურთიერთქმედების დროს, განსაზღვრავენ რა მასალის ისეთ თვისებებს,

როგორებიცაა: შეღწევადობა, თბოგამტარობა, წყალშთანთქმა, და ა.შ. ამით აიხსნება ის დიდი ინტერესი, რომელიც გამოხატულია ბეტონის ფორიანობის შესწავლისადმი. კვლევების სფერო მოიცავს ფორების წარმოშობის მექანიზმს, მათ განაწილებას, ზომებს, ასევე დამოკიდებულებას ბეტონის ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს შორის [8].

მსუბუქი ბეტონის მნიშვნელოვანი თვისებაა თბოგამტარობა, რის საფუძველზეც ხდება შემომზღუდავი კონსტრუქციების სისქის განსაზღვრა. მსუბუქი ბეტონის თბოგამტარობა იზრდება მისი სიმკვრივის ზრდის შესაბამისად. მსუბუქი შემკვების შემცველობის ზრდა, მისი სიმკვრივის შემცირება იწვევს მსუბუქი ბეტონის თბოგამტარობის შემცირებას, ე.ი. უმჯობესდება მისი თბოფიზიკური თვისებები. ამასთან ერთად მცირდება ბეტონის სიმტკიცეც; ამიტომ უნდა მოიძებნოს საწყისი მასალებისა და ბეტონის თვისებების ისეთი ოპტიმალური თანაფარდობა და ისე შეირჩეს ბეტონის შედგენილობა, რომ მისი ჩვენთვის სასურველი თვისებები მიღებულ იქნეს ცემენტის მინიმალური ხარჯით.

ფორიან შემკვებებში მნიშვნელოვანი წყალშთანთქმის გამო, ბეტონის ნარევის ცემენტის დუღაბიდან გამოიწოვება წყლის ნაწილი. ეს პროცესი უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს ბეტონის ნარევის დამზადებიდან 10-15 წუთის განმავლობაში; ამასთან, შემკვების მიერ შთანთქმული წყლის რაოდენობა დამოკიდებულია ბეტონის ნარევის შედგენილობაზე. იგი იზრდება ძვრად ნარევებში წყალ-

ცემენტის დიდი მნიშვნელობებისას და მცირდება ხისტ ბეტონში ∇/∇ -ის მცირე სიდიდისას. ჩვეულებრივი ფორიანი შემესებების წყალშთანთქმა ბეტონის ნარევი 30-50%-ით ნაკლებია მის წყალშთანთქმაზე წყალში, რადგან პირველზე გაელენას ახდენს ცემენტის წყალშეკავების უნარი [3].

რაც უფრო მეტია შემესების წყალმოთხოვნა და ხარჯი, მით მეტია წყლის ხარჯი ბეტონის ნარევის გარკვეული ძვრადობის მისაღებად. ფორიანი შემესების წყალშთანთქმა მნიშვნელოვნად მოქმედებს აგრეთვე ბეტონის ნარევის წყალშეკავების უნარზე, ამცირებს სხმული და ძვრადი ნარევის მიდრეკილებას განშრეებისადმი და ნარევის მაღალი წყალცემენტის ფარდობის გამოყენების საშუალებას იძლევა. ამას დიდი მნიშვნელობა აქვს კონსტრუქციულ-ტობოსაიზოლაციო მსუბუქი ბეტონის მისაღებად.

იმის გამო, რომ ფორიანი შემესებები ხასიათდებიან მეტი ტენცივლით ცემენტის ცომთან, ვიდრე მკვრივი შემესებები, ზემოქმედებას ახდენენ მისი სტრუქტურის წარმოქმნის პროცესებზე [5]. პირველ ეტაპზე ფორიანი შემესებები გამოწოვენ რა ტენს, ხელს უწყობენ ცემენტის ქვის უფრო მკვრივი და მტკიცე საკონტაქტო შრის მიღებას. მეორე ეტაპზე წყლის რაოდენობის შემცირებისას ცემენტის ქვაში ცემენტის ჰიდრატაციის გამო, ფორიანი შემესებები უკან აბრუნებენ ადრე შთანთქმულ წყალს, რითაც ქმნიან ხელსაყრელ პირობებს ცემენტის ჰიდრატაციის მიმდინარეობისათვის და ცემენტის ქვაში ამცირებენ შეკლების მოვლე-

ნებს [4]. მსუბუქი შემესებების ზედაპირის მაღალი ხორკლიანობა უზრუნველყოფს ცემენტის ქვისა და შემესების კარგ შეჭიდებას, ხოლო შემესებების მნიშვნელოვანი დეფორმაციულობა ხელს უშლის მიკრობზარების გაჩენას.

ყოველივე ამის შემდეგ ფორიან შემესებებზე დამზადებულ მსუბუქ ბეტონში ცემენტის ქვას შეიძლება ჰქონდეს საკმარისი სიმკვრივე და ერთგვარობა, რაც არსებითად ამცირებს მის შეღწევადობას, რითაც იზრდება მდგრადობა ზოგიერთ აგრესიულ გარემოში და შესაბამისად ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ხანგამძლეობა.

ფორიანი მასალების თბოგამტარობა საგრძნობლად მატულობს მისი დატენიანების შემთხვევაში, ვინაიდან წყლის თბოგამტარობის კოეფიციენტი $0,5 \text{ კკაღ/მ}^{\circ}\text{C.სთ-ია}$, რაც 25-ჯერ აღემატება ჰაერის თბოგამტარობის კოეფიციენტს [1]. რაც შეეხება გაყინულ წყალს, უნდა აღინიშნოს, რომ მისი თბოგამტარობის კოეფიციენტი $2 \text{ კკაღ/მ}^{\circ}\text{C.სთ-ია}$, ანუ 4-ჯერ მეტია, ვიდრე წყლის. სწორედ აქედან გამომდინარე უდიდეს მნიშვნელობას იძენს ტენიან გარემოში მომუშავე ნაკეთობების დაცვა დატენიანებისაგან. თბოსა-იზოლაციო მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე საკმაოდ დაბალია და იცვლება 1-დან 25 კგძ/სმ^2 -მდე. შედარებით უფრო მტკიცე მასალები, რომელთა სიმტკიცის ზღვარია 50, 75, 100 კგძ/სმ² შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას, როგორც მზიდი კონსტრუქციები; აგრეთვე სიმტკიცის ძირითადი მახასიათებელია (მთელი რიგი ნაკეთობებისათვის) სიმტკიცე

ღუნვაზე. არაორგანული მასალებისათვის იგი იცვლება 4-დან 20 კგ/სმ²-მდე, როგორც ექსპლუატაციისას, ასევე მონტაჟის და გადახიდვის დროს [8].

ნაკეთობის დატენიანება, რომელიც ჰაერში არსებული ტენის საშუალებით ხდება, იწვევს არამარტო მისი თბოსაიზოლაციო თვისებების დაქვეითებას, არამედ ამცირებს მის ხანმდეგობას. ლოგიკურია, ნაკეთობები, რომელთაც დახურული ფორები გააჩნიათ უფრო მეტად არიან დაცული დატენიანებისაგან. დანარჩენი მასალებისათვის კი წყალშთანთქმის შემცირება ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს. წყალშთანთქმის შესამცირებლად კი საჭიროა მასალის დამზადებისას ნარევეში შეყვანილ იქნას სხვადასხვა ჰიდროფობული დანამატები, რომლებიც დღეს უხვი რაოდენობითაა სხვადასხვა უცხოური ფირმების მიერ შემოტანილი სამშენებლო ბაზარზე.

როგორც აღვნიშნეთ, მსუბუქ ბეტონებში გამოიყენება ბუნებრივი და ხელოვნური ფორიანი შემესებები. ბუნებრივი შემესებები გვხვდებიან ფხვიერი ნატეხებისა ან მასიური მთის ჯიშების სახით, რომლებიც მოითხოვენ სათანადო გადამუშავებას (მსხვრევა, დაფქვა, გაცრა და ა.შ.).

ბუნებრივი შემესებები წარმოშობით ვულკანურ და დანალექ ქანებს წარმოადგენენ. ვულკანური წარმოშობის ბუნებრივ ფორიან შემესებებს განეკუთვნება: პემზა, ვულკანური წიდა, ტუფი და სხვა.

პემზა: ვულკანური წარმოშობის მინისებრი ფორიანი

სტრუქტურის ქანია. წვრილკრისტალური, ფხვიერი, ღრუბლისებრი ან ბოჭკოვანი აღნაგობით, შედგება მჟავე ვულკანური მინისაგან. პემზა ბუნებაში მოიპოვება თეთრი-ნაცრისფერიდან ყავისფერამდე. სტრუქტურის მიხედვით, ასევე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით და გეოლოგიური ასაკით პემზები იყოფა ანისურ და ლითოიდურ პემზებად.

ანისის პემზა უფრო ფორიანი მასალაა, მსუბუქია და გამოირჩევა დაბალი სიმტკიცით. იგი შედგება წვრილბუნტულოვანი ღრუბლისებრი ან ბოჭკოვანი სტრუქტურისაგან; ფორების ზომები მერყეობს მიკრონის მეთაედებიდან 2-3 მმ-მდე. ლითოიდურ პემზას აქვს უფრო მკვრივი აგებულება, ჭავლური, ფროვანი სტრუქტურა.

პემზა მჟავე ქანია. იგი შედგება ამორფული კაჟმიწისაგან (SiO_2) 67-დან 72%-მდე, თიხამიწისაგან (Al_2O_3) – (13-18%) და ტუტეებისაგან (5-12%). ნაყარი და ზოგადი სიმკვრივეები პემზის ღორღისა მერყეობს 400-დან 600 კგ/მ³-მდე, ხოლო ქვიშის 600-1100 კგ/მ³-მდე. ეს მასალა ძირითადად გამოიყენება თბოსაიზოლაციო და კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო 10–75 კგ/სმ² სიმტკიცის (მარკის) მქონე ელემენტებში, რომელთა ზოგადი სიმკვრივე მერყეობს 700-დან 1200 კგ/მ³-მდე. ლითოიდური პემზა გამოიყენება კონსტრუქციულ ელემენტებში მარკით 100–300 კგ/სმ², ხოლო მოცულობითი მასა კი 1400-1800 კგ/მ³-მდე.

პემზის საბადოები ფართოდაა გავრცელებული სომხეთში, ჩრდილოეთ კავკასიაში, კამჩატკასა და საქართველოში.

საქართველოში პემზის ერთ-ერთი მძლავრი საბადოა დმანისის რაიონში. იგი ღია-რუხი ფერისაა, მისი ფორიანობა 40%-ია, ზოგადი სიმკვრივე 500 კგ/მ³; ქიმიური შედგენილობა %-ობით: SiO₂ - 61; Al₂O₃ - 20; Fe₂O₃ - 3; CaO - 3; MgO - 0,98; SO₃ - 0,85; K₂O + Na₂O - 3; n.n.n - 6%. მისი გამოყენებით შეიძლება მივიღოთ 900 - 1100 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივისა და 5 - 10 მპა სიმტკიცის კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო მსუბუქი ბეტონები. პემზა ბუნებაში გვხვდება ქვიშის, ღორღის და უფრო მსხვილი ნატეხების სახით.

ეულკანური წიდა: წარმოადგენს ამოფრქვეული თხევადი მაგმის სწრაფი გაცივების პროდუქტს. იგი ფორიანი ქანია, რომელიც შედგება ეულკანური მინისაგან, ფერით ნაცრისფერიდან შინდისფერამდე. ბუნებაში გვხვდება ქვიშის, ღორღის და დიდი ღოდების სახით, რომელთა გადამუშავება წარმოებს ნაწილობრივი მსხვრევითა და დახარისხებით. სტრუქტურა ძირითადად მსხვილმარცვლოვანია. ზოგადი სიმკვრივე ქვიშისა 600 - 1200 კგ/მ³, ღორღისა - 400 - 900 კგ/მ³, ფორიანობა 40-60%-ია.

ეულკანური წიდის დიდი საბადოებია საქართველოში: ახალქალაქის, ნინოწმინდის, ბორჯომის და წალკის რაიონებში. მათი მარაგი შეადგენს 200 მლნ მ³-ს. ოკამის ეულკანური წიდის ქიმიური შედგენილობა %-ით არის: SiO₂ - 53; Al₂O₃ - 14; Fe₂O₃ - 11; CaO - 7; MgO - 4; SO₃ - 0,78; K₂O + Na₂O - 3; n.n.n - 2,02%. ფორების ზომები 0,01-დან 3 მმ-მდეა, საერთო ფორიანობა 50-65%. ეულკანური წიდის ქვიშის

ჭეშმარიტი სიმკვრივეა 2.61 გ/სმ³, ზოგადი სიმკვრივე 950-1100 კგ/მ³; ღორღის ჭეშმარიტი სიმკვრივეა 2.61 გ/სმ³, ზოგადი სიმკვრივე 600-800 კგ/მ³, ფორიანობა 50%, წყალშთანთქმა 22-27%, დარბილების კოეფიციენტი – 0,8. ვულკანურ წიდაზე დამზადებული კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო და კონსტრუქციული ბეტონების კლასი B15-35-მდეა, ზოგადი სიმკვრივით 1300-1650 კგ/მ³.

ვულკანური ტუფი – ფორიანი ვულკანური წარმოშობის ქანია, რომელიც ჩამოყალიბებულია ვულკანური ფერფლის და წვრილი, მონატეხი მასალების შეცხობით და ცემენტაციით მაღალ ტემპერატურაზე. საქართველოში ტუფი გავრცელებულია ბოლნისის რაიონში, ასევე ცნობილია თეძამის ტუფი. ტუფის ძალიან დიდი საბადოებია სომხეთში, რომელიც დაახლოებით 2 მილიარდი მ³-ის ტოლია. აქედან მთელს მსოფლიოში განთქმული მოსაპირკეთებელი მასალაა არტიკის ტუფი. ცნობილია ასევე ანისის ტუფი და სხვა.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით ტუფები განეკუთვნებიან მჟავე ან საშუალო ჯიშებს: მათი შედგენილობაა: კაუმიწა (SiO₂) – 61-67%, თიხამიწა (Al₂O₃) – 14-17%, R₂O – 5-8%; ბოლნისის ტუფი ყვითელი ფერის ძარღვიანი და ლაქოვანი ქანია, ხოლო თეძამის ტუფი კი ღია ნაცრისფერი და ღია მწვანე ფერისაა. გამოიყენებიან გარე მოპირკეთებისათვის. საკედლე მოსაპირკეთებელი ქვის გამოსავალი მთლიანი მასივიდან შეადგენს 40%-ს, ხოლო დანარჩენი 60% შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც მსუბუქი შემკვებო.

ბოლნისის ტუფის ღორღის ნაყარი ზოგადი სიმკვრივეა 950-1200 კგ/მ³, ხოლო ქვიშისა 1100-1400 კგ/მ³, თეძამის ტუფის ნაყარი სიმკვრივეა 1000-1300 კგ/მ³, ხოლო ქვიშისა 1200-1400 კგ/მ³. ტუფის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას შეადგენს 5-25 მპა, თბოგამტარობა 0,35 ვტ/მ⁰С.

ნალექი წარმოშობის ქანებიდან შეიძლება გამოიყოს ფორიანი კირქვები, ნიჟარქვები; კაჟმიწოვანი ქანები: სპონგოლიტი, ალევორიტი. ამ ქანების ზოგადი სიმკვრივე შეადგენს 800-1400 კგ/მ³, სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას 2,5-15 მპა, სტრუქტურა – მარცვლოვანი და წერილფოროვანია.

ხელოვნურ ფორიან შემესებებს მიეკუთვნება: კერამზიტი, აგლოპორიტი, თერმოლიტი, წიდის პემზა, აფუებული პერლიტი და სხვა, რომლებიც მიიღებიან სათანადო ნედლეულის თერმული დამუშავების შედეგად. ხელოვნური ფორიანი შემესებები გამოირჩევიან უფრო მაღალი ხარისხითა და თბოტექნიკური მაჩვენებლებით, ვიდრე ბუნებრივები, რაც იძლევა მათი ეფექტურად გამოყენების საშუალებას.

კერამზიტი და მისი ნაირსახეობანი (შუნგიზიტი, ნაცროვანი ხრეში, თიხანაცრიანი კერამზიტი, აფუებული არგილიტი და სხვა). ისინი მიიღებიან ქვიშა-თიხოვანი მთის ჯიშებისაგან მომზადებული გრანულების აფუებით.

თერმოლიტი მიიღება დიატომიტის, ტრეპელის და ოპოკის, ასევე სხვა ამორფული კაჟმიწოვანი ჯიშების ღორღის გამოწვით აფუების გარეშე.

აგლოპორიტი ფორიანი, ნატეხოვანი მასალაა, რომელიც

მიიღება თიხის ჯიშებისა და ნახშირის ძიების, გადაამუშავების და წვის შემდგომი ნარჩენების (წიდა, ნაცარი, მადაროს მადნები და სხვა) შეცხოვებით სააგლომერაციო მანქანებში.

წილის პემზა წარმოიქმნება მეტალურგიული და ქიმიური წარმოების ნაღნობების წიდების ფორიზაციის შედეგად.

გრანულირებული წიდეები მიიღება მეტალურგიული და ქიმიური მრეწველობის წიდების სწრაფი გაცივებით.

აფუებული პერლიტი და ობსიდიანი - ფხვიერი ფორიანი მასალაა, რომლებიც მიიღება დამსხვრეული წყალშემცველი ვულკანური მინების აფუებით.

მარცვლის ფორმით და ზედაპირული თვისებებით ხელოვნური შემკვებები იყოფიან: ფორიან ხრეშად, რომელსაც აქვს მომრგვალებული ფორმა და შემოდნობილი ზედაპირი (კერამზიტი, ნაცრის ხრეში) და ფორიან ღორღად, რომელიც მიიღება ნატეხი მასალის დამსხვრევით (აგლოპორიტი, წილის პემზა, სათბობის წიდა და სხვა).

ფორიანი შემკვებები მიიღება ან გამომწვარი, ნატეხი მასალის მსხვრევის შედეგად, მაშინ მას აქვს არაწესიერი, კუთხოვანი ფორმა, ანდა ხელოვნური ქვიშის გამოწვით. ამ შემთხვევაში მარცვლებს აქვს მომრგვალებული ფორმა.

მარცვალთა სიდიდის მიხედვით ხელოვნური ფორიანი შემკვებები იყოფიან შემდეგ ფრაქციებად:

ქვიშა – წვრილი, ფორიანი, ანუ ქვიშები 1,25მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლებით, მსხვილი ქვიშები 1,25-დან 5მმ-მდე ზომის მარცვლებით.

მსხვილი შემესები (ფორიანი ღორდი ან ხრეში) – 5-10, 10-20 და 20-40 მმ ზომის მარცვლებით.

მშრალ მდგომარეობაში ფორიანი შემესები ნაყარი ზოგადი სიმკვრივის (მოცულობითი მასის) მიხედვით იყოფა შემდეგ მარკებად: 100, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1400.

ხელოვნურ ფორიან შემესებებს წაყენება მთელი რიგი მოთხოვნები ხრეშის ან ღორდის მარცვლოვანი შედგენილობის, სიმტკიცის, შემესებში სხვა მინარევების არ არსებობის და სხვ. მიმართ.

ფორიანი შემესებები (ღორდი, ხრეში) სიმტკიცის მიხედვით იყოფა შემდეგ მარკებად: 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350.

ფორიან შემესებებზე დამზადებულ მსუბუქ ბეტონებში შემკვრელად იხმარება ძირითადად პორტლანდცემენტი, სწრაფმყარებადი ცემენტები, პუცოლანიანი და წილაპორტლანდცემენტები. სასურველია 300 მარკაზე მეტი სიმტკიცის ცემენტების გამოყენება. შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას სხვა შემკვრელებიც არანაკლებ 200 კგ/სმ² აქტივობით.

უპირატესობა უნდა მიენიჭოს მაღალი აქტიურობის მქონე შემკვრელებს, რადგან მათი ხმარების დროს მცირდება ცემენტის ხარჯი, რაც იწვევს აგრეთვე ბეტონის ზოგადი სიმკვრივის კლებას. წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში მიწისზედა კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც არ იყინებიან, სამშენებლო ნორმები და წესები ითვალისწინებს

შემკვრელის მინიმალურ რაოდენობას 1მ³ ბეტონში: არმი-
რებული კონსტრუქციებისათვის 225 კგ, ხოლო არარმირე-
ბულისათვის 200 კგ.

მსუბუქი ბეტონის შედგენილობის დაპროექტების დროს
აუცილებლად უნდა იქნას გათვალისწინებული ყველა ის
პირობა, რომელიც მოეთხოვება ბეტონებს: (მოცულობითი
მასა) ზოგადი სიმკვრივე, სიმტკიცე კუმშვაზე და გაჭიმვაზე,
შეკლება და ცოცვადობა დატვირთვის ქვეშ, ყინვაგამძლეობა
და სხვა. ერთდროულად ბეტონის ეს შედგენილობები უნდა
აკმაყოფილებდეს ისეთ მოთხოვნებს, როგორცაა დოზირებისა
და მასალათა დამუშავების სიმარტივე, ნარევის ადვილ-
ჩაწყობადობა დაბეტონების დროს, ნარევის ერთგვარობა და
ა.შ.

ადგილობრივ შემკვრებებზე ბეტონის შედგენილობის
ანგარიშის დროს და სამუშაოების წარმოების მოცემულ
პირობებში, უზრუნველყოფილ უნდა იქნას ბეტონის
მაქსიმალური შემკვრივება უმცირესი ზოგადი სიმკვრივითა
და ცემენტის მინიმალური ხარჯით.

მსუბუქ შემკვრებებზე დამზადებულ ბეტონებს არა თუ
გააჩნიათ ის თვისებები, რომლებიც აქვთ მძიმე ბეტონებს,
არამედ ხასიათდებიან რიგი უპირატესობებით – მცირე
ზოგადი სიმკვრივით, თბოგამტარობის დაბალი კოეფიციენ-
ტით, ბგერაიზოლაციით და სხვა.

მსუბუქ შემკვრებებს გარდა კერამზიტისა, როგორც წესი,
აქვთ დაკუთხული ფორმა და განვითარებული ზედაპირი,

რაც ბეტონის ნარევეს აძლევს სიხისტეს და არაადვილ-
ჩაწყობადს ხდის მას. ხოლო დღევანდელ პირობებში
საჭირო ადვილჩაწყობადობის მისაღწევად ქვიშისა და წ/ც-
ის ფარდობის გაზრდასთან ერთად ვიყენებთ სხვადასხვა
ჰიდროფობურ და მაპლასტიფიცირებელ დანამატებს. თანა-
მედროვე მაპლასტიფიცირებელი დანამატების გამოყენება
ფრიად მიზანშეწონილია, რადგან ცემენტის ხარჯის გაზრდა
ეკონომიკურად გაუმართლებელია. გარდა ამისა, ამ ღონის-
ძიებას მიყვავართ ბეტონის შეკლების დეფორმაციისა და
ზოგადი სიმკვრივის გაზრდამდე; ჭარბი წყლის დამატება არ
არის სასურველი, რადგან ეს იწვევს ბეტონის სიმტკიცის
შემცირებას, განშრევებას და შეკლების დეფორმაციების
ზრდას.

როგორც უკვე აღინიშნა, საქართველოში ფორიანი შემე-
სებების დიდი მარაგია, რომელიც განლაგებულია
ახალქალაქის, ნინოწმინდის, ბორჯომის, წალკისა და
ცხინვალის რაიონებში. აგრეთვე უნდა აღინიშნოს პერლიტის
დიდი მარაგი ფარაენის ტბის მიდამოებში, ბოლნისის და
თეძამის ტუფის საბადოები. ეს შემესებები ქიმიური შედ-
გენილობების და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების
მიხედვით სავსებით მისაღებია მსუბუქი ბეტონის საწარ-
მოებლად. ცხრილ 1.1-ში მოყვანილია ვულკანური წარმოშო-
ბის ზოგიერთი ნედლეული მასალის ქიმიური შედგენილო-
ბები.

მიუხედავად ზემოთ აღნიშნული საბადოების სიმრავ-

ველკანური წარმოშობის ზოგიერთი ქანის
ქიმიური შედგენილობები

ქიმიური შედგენილობა ნელ.%-ში დასახელება	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	n.n.n.
ოკამის ველკანური წიდა	54	18	3,34	9,7	3,96	2,68	2,24	0,53	4,84
სალამოს ველკანური წიდა	56	18	6,95	6,4	4,2	4,71	–	2,23	1,28
ბოლნისის ტუფი	72	16	3,92	1,22	1,7	0,91	–	–	3,87
თეძამის ტუფი	74	15	3,67	2,74	0,95	0,87	–	–	2,57
ფარავნის პერლიტი	67	19	1,38	0,68	0,93	4,44	1,7	0,8	3,89

ლისა, ჩვენს ქვეყანაში მშენებლობის მზარდი ტემპებიდან გამომდინარე მოთხოვნები მსუბუქ ბეტონზე საგრძნობლად გაიზარდა. აღსანიშნავია, რომ საზღვარგარეთ წარმოებული ბეტონების 70-80% მსუბუქი ბეტონების კლასს მიეკუთვნება. საერთო ევროპული სტანდარტები მოითხოვენ თბოტექნიკური ნორმების დაცვას და შემომზღუდავ და გადახურვის კონსტრუქციებში თბობეგრასაიზოლაციო მასალების ფართო გამოყენებას. დროთა განმავლობაში ანალოგიური სტანდარტები შემოდებული იქნება საქართველოშიც. დღევანდელ მშენებლობაში მსუბუქ ფორიან შემესებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონები ძალიან მცირე რაოდენობით გამოიყენება. არადა საქართველოში, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ასეთი ნედლეულის საკმაოდ დიდი მარაგებია. ერთ-ერთზე ჩვენც შევაჩერეთ ყურადღება. ეს ნაშრომი სწორედ პერლიტის გამოყენებას შეეხება მშენებლობაში.

თაზი II

ზარზანის პერლიტის ზოგადი დახასიათება, აფუეზალოზა, აფუეზული პერლიტის ბაზაზე მიღებული შემზღებვის ბამოქნევის შესაქლეზლოზა მსუზუშ ბეტიონეზში

2.1. პერლიტის ზოგადი დახასიათება. პერლიტის აფუეზა.

პერლიტი, ლავის გაციეების შედეგად წარმოქმნილი, ყველა მაგმური ქანის მსგავსად, მინისებრი აგებულებისაა. იმ შემთხვევაში, როცა ლავის გაციება ხდებოდა დიდი ხნის განმავლობაში, თანაბარზომიერად, მაშინ ლავის მღორე გამოკრისტალეების შედეგად წარმოიშეებოდა ბაზალტი, ანდეზიტი, დიბაზი და სხვა ანალოგიური ტიპის ქანი. ხოლო თუ გაციება მიმდინარეობდა ძალზე სწრაფად და თანაც მაგმა უმთავრესად კაშიწიან მინერალს შეიცავდა, მიიღებოდა ვულკანური მინა, ე.წ. პერლიტური ქანი.

ქანში შემავალი წყლის რაოდენობისა და სტრუქტურის მიხედვით ვულკანური მინები იყოფა სამ ჯგუფად:

1. ობსიდიანი – (ლათ. Obsidianus – ვულკანური მინა) შეიცავს 1%-მდე წყალს, კრისტალეებისაგან სრულიად თავისუფალია, ქანი მუქი ფერისაა, ნიჟარისებრია, გადანატეხებში მისი წიბო მახვილი და მჭრელია.
2. პესტენი – შეიცავს 10%-მდე არათანაბარზომიერად განაწილებულ წყალს და საწყისი კრისტალიზაციითა და ფისისმაგვარი ბრწყინვალეებით ხასიათდება.
3. პერლიტი – ვულკანური წარმოშობის მთის მჟავე ქანია. მისი სტრუქტურა ბოჭკოვანია; აქვს თეთრი, მწვანე,

შავი, მოყავისფრო შეფერილობა და შესაძლოა გადაკრავდეს ყვითელი და ნაცრისფერი. იგი შეიცავს 1-5% ქიმიურად ბმულ წყალს, მინისებური, ამორფული წყობისაა. მინისებრი მასა ქანში განლაგებულია ისე, თითქოს ქანი ბურთებისა და ნიჟარებისაგან შედგებოდეს. ქანის ასეთი წყობა აიხსნება ამორფული ლავის სწრაფი გაციებით და გამაგრებით. წარმოშობილი ბზარების გამო პერლიტი ბუნებრივი გამოფიტვით იშლება მარგალიტისმაგვარ მბრწყინავ ზედაპირიან ბურთულეზად. სწორედ აქედან წარმოიშვა მისი სახელწოდებაც – პერლიტი ფრანგული სიტყვაა (les perles) და მარგალიტს ნიშნავს.

ხელოვნური ფორიანი შემესებების წარმოების პროცესში შესაძლებელია მათი ფორიანობის, სიმტკიცის და სხვა თვისებების შეცვლა თერმული დამუშავებით. შემესებების დამზადებისას მიმართავენ ნედლეულის ფორიზაციის ოთხ ძირითად მეთოდს:

1. საწყისი კაზმის წინასწარი აქაფება;
2. ორგანული დანამატების ან მინარეგების ამოწვა;
3. საწყისი კაზმის აფუება პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში;
4. ნაღობის აფუება აირისებრი ან ორთქლისებრი პროდუქტებით.

კერამზიტი: მიიღება დანალექი თიხოვანი ქანების აფუებით გამოწვისას; გარდა ამისა იყენებენ მეტამორფულ ქანებს: თიხოვან ფიქლებს, არგილიტებს და სხვა. განასხვავებენ

კერამზიტის მიღების სამ ტექნოლოგიურ ხერხს: მშრალს, პლასტიკურს და სველს. აფუების კოეფიციენტი წარმოადგენს კერამზიტის აფუებული გრანულის მოცულობის შეფარდებას თიხის ნედლეულის მშრალ გრანულასთან გამოწვამდე (გრანულის გამოწვა ხდება 1050–1200°C ტემპერატურაზე):

$$K_{\text{აფ}} = V_{\text{კ}}/V_{\text{გ}}$$

$$K_{\text{აფ}} = V_{\text{კ}}/V_{\text{გ}}$$

სადაც $V_{\text{კ}}$ – კერამზიტის აფუებული გრანულის მოცულობაა;

$V_{\text{გ}}$ – ნედლეულის მშრალი გრანულის მოცულობა გამოწვამდე.

აგლოპორიტი ფორიანი, ნატეხოვანი მასალაა, რომელიც მიიღება თიხის ჯიშებისა და ნახშირის ძიების, გადამუშავებისა და წვის შემდგომი ნარჩენების შეცხოვით (წიდა, ნაცარი და სხვა) სააგლომერაციო მანქანაში.

აფუებული ვერმიკულიტი წვრილმარცვლოვანი ფორიანი მასალაა. იგი ქარსის ნაირსახეობაა და რკინა-მაგნიუმის ჰიდროალუმოსილიკატი; შეიცავს 8-18%-მდე ქიმიურად ბმულ წყალს. ვერმიკულიტი შედარებით რბილი ქანია და ხასიათდება მაღალი ცეცხლმედეგობით.

აფუებული პერლიტი და ობსიდიანი – ფორიანი ფხვიერი მასალაა, რომელიც მიიღება დამსხვრეული წყალშემცველი ვულკანური მინების აფუებით. საკუთრივ ქანი, პერლიტი აბსოლუტურად უსაფრთხოა ადამიანის ჯანმრთელობისა-

თვის; დასამუშავებლად ადვილია; არ ლპება, არ იწვის, წყალმდეგია; მისი ნაირსახეობებია: ობსიდიანური (ობსიდიანის მინარევით), სფეროლიტური (მინდვრის შპატით), ფისოვანი (შრეული აგებულებით) და სხვა. ტექსტური ნიშნით გამოყოფენ: მასიურ, ზოლიან და პემზის პერლიტს. ნედლეულის მოპოვება წარმოებს კარიერში, რაც ითვალისწინებს მის დამსხვრევას და ფრაქციებად დაყოფას. ვულკანური მინების შედგენილობა და თვისებები დიდ გავლენას ახდენენ მათი აფუების ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე.

პერლიტური ქანების აფუება ხდება მათი გახურებით პიროპლასტიკურ მდგომარეობამდე; ე.ი., როცა აიროვანი ფაზა დაძლევს ნაღნობის ბლანტ წინააღმდეგობას. პიროპლასტიკური პროცესის დროს პერლიტისგან გამოიყოფა სტრუქტურულად შეკავშირებული წყალი. ამ დროს პროცესში მონაწილეობენ ქანის ფორებში არსებული აირებიც (ჟანგბადი, წყალბადი, აზოტი, ნახშირმჟავა აირი, ნახშირორჟანგი, ჰელიუმი, ნეონი, არგონი და სხვა), რომლებიც პიროქიმიური რეაქციების დროს გარეთ გამოდიან. პერლიტური ქანი, რომელიც 2–8%-ის ოდენობით წყალს შეიცავს, საჭიროებს ორსტადიურ დამუშავებას: პირველად 250-450⁰C-მდე გახურებისას გამოიდევნება წყლის ჭარბი ნაწილი, ე.ი. მიმდინარეობს ქანის ე.წ. თბური მომზადება. წინასწარი თბური მომზადება იცავს პერლიტს დასკდომისაგან, გამოწვის დროს. ჭარბი წყლის მოცილების შემდგომ, შეიძლება მივიდეთ წინასწარ განსაზღვრული თვისებების მქონე

ფორიანი შემესები. ნედლეულის თბური მომზადება აუმჯობესებს შემესების გრანულომეტრულ შედგენილობას, ხელს უწყობს მსხვილი ფრაქციის წილის გაზრდას და ა.შ. თბური დამუშავების შემდეგ წარმოებს პერლიტის გამოწვა და აფუება. ნარჩენი წყლის ოპტიმალური შემცველობა, რომელიც განაპირობებს მის ეფექტურ აფუებას, სხვადასხვა სხვადასხვა ადგილმდებარეობის პერლიტებისათვის და იცვლება 0,8-დან 3%-მდე მასის მიხედვით. პერლიტის ორსტადიური გამოწვა უზრუნველყოფს ღუმელის უფრო სტაბილურ მუშაობას და ზრდის მის მწარმოებლობას.

პერლიტის თვისებებიდან გამომდინარე, მისი აფუების ტემპერატურა დიდ ფარგლებში – 760-დან 1230⁰C-მდე, ხოლო აფუების დრო ათეული წამებიდან 4-5 წუთამდე მერყეობს. ამ მახასიათებლების მიხედვით ერთ-ერთი საუკეთესო მაჩვენებლები გააჩნია ფარავნის პერლიტს. მისი აფუების ტემპერატურაა 900 - 1100⁰C-ია. ამ დროს დარბილებულ მასაში წარმოიქმნება წვრილი ბუშტუკები – ნედლეული იშლება 0,14-20 მმ ზომის მარცვლებად. აფუების დრო 10-20წმ-დან 1-2წთ-მდეა. აფუების კოეფიციენტი 12–15-ია. ზოგი სახის პერლიტში გვხვდება კვარცის, პლაგიოკლაზის, ქარსის და სხვ. სახის ჩანაწინწკლები. ამგვარი ჩანართების რაოდენობა პერლიტოვან ქანებში ხშირად 50%-საც კი აღწევს. დადგენილია, რომ მათი რაოდენობა 25%-ზე ზევით მნიშვნელოვნად აუარესებს აფუებული პერლიტის ხარისხს.

აფუებული პერლიტის მიღების ტექნოლოგია მარტივია: წარმოებს მოპოვებული ნედლეულის მსხვრევა, ფრაქციონირება და გამოწვა. მტვერი, როგორც თანმდევი ნარჩენი შეიძლება გამოყენებულ იქნას პორტლანდცემენტის ჰიდრაულიკურ დანამატად; კირ-პერლიტოვანი, თაბაშირ-პერლიტოვანი შემკვრელების დასამზადებლად და სხვ.

პერლიტის თერმული დამუშავება ხდება ორი ტიპის ღუმელებში:

- 1) ვერტიკალურ შახტურში, სადაც მიიღება მხოლოდ პერლიტის ქვიშა, ზომით 2,5 მმ-მდე;
- 2) მბრუნავ ჰორიზონტალურში, სადაც მიიღება პერლიტის ღორღი (სისხო 20-მმ-მდე) და პერლიტის ქვიშა, ზომით 5მმ-მდე.

ამგვარად, ჰორიზონტალურ მბრუნავ ღუმელში შეიძლება მივიღოთ მსუბუქი შემკვები სამშენებლო ბეტონებისათვის (პერლიტის ქვიშა და ღორღი) და თბოიზოლაციისათვის (პერლიტის ქვიშა).

ნახევრად საწარმოო პირობებში, „მდულარე შრის“ პრინციპით მომუშავე ღუმელებში შესაძლებელია 10მმ-მდე სისხოს პერლიტის ღორღისა და 5მმ-მდე სისხოს ქვიშის მიღება. ლაბორატორიულ პირობებში, კი ბაროთერმული მეთოდით ასევე მიიღება აფუებული პერლიტის შემკვები.

ნედლეულის თბური დამუშავება წარმოებს მბრუნავ, დოლურ, საშრობ ღუმელებში. ამ ტიპის საშრობები მუშაობენ ნაკადსაწინააღმდეგო პრინციპით: პერლიტი იტვირთება

ღუმელში საკვამურის მხრიდან, აირების მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. ღუმელის სიგრძეა 6,6მ, შიგა დიამეტრი 0,75მ, დახრის კუთხე პორიზონტალური სიბრტყისადმი შეადგენს 2° ; ღუმელი აკეთებს 4 ბრუნს წუთში. მას შეუძლია გადაამუშავოს 1500კგ ნედლეული ერთი საათის განმავლობაში. პერლიტის ნარჩენი ტენიანობა გამოშრობის შემდეგ შეადგენს 2–3%-ს.

პერლიტის ქვიშას ძირითადად შახტურ ღუმელებში გამოწვავენ; ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში (რუსთავი, ყაზანი) მბრუნავ ღუმელებში. შახტურ ღუმელებში პერლიტი გამოიწვება შეტივტივებულ მდგომარეობაში: მასალის ნაწილაკები გახურებული აირის აღმავალი ნაკადის მიერ აფუელებიან და წარიტაცებიან ციკლონ-კლასიფიკატორების სისტემაში. უფრო გავრცელებულია ამონაგი შახტური ღუმელები.

შახტური და მბრუნავი ღუმელების მაჩვენებლები პერლიტის აფუებული ქვიშის მწარმოებლობის მიხედვით თითქმის ერთნაირია. თუმცა შახტურმა ღუმელებმა მეტი გავრცელება ჰპოვა მათი კონსტრუქციული სიადვილის და ექსპლუატაციაში, საიმედოობის გამო.

პერლიტის ღორღის გამოწვა ხორციელდება მხოლოდ პორიზონტალურ, პირდაპირი დინების მბრუნავ ღუმელებში. ღუმელის მუშა სივრცეში დამონტაჟებულია ორი ფრქვევანა. ერთი ფრქვევანას ღერძი განთავსებულია დოლურას ღერძის გასწვრივ, ხოლო მეორესი ამ ღერძისადმი გარკვეული

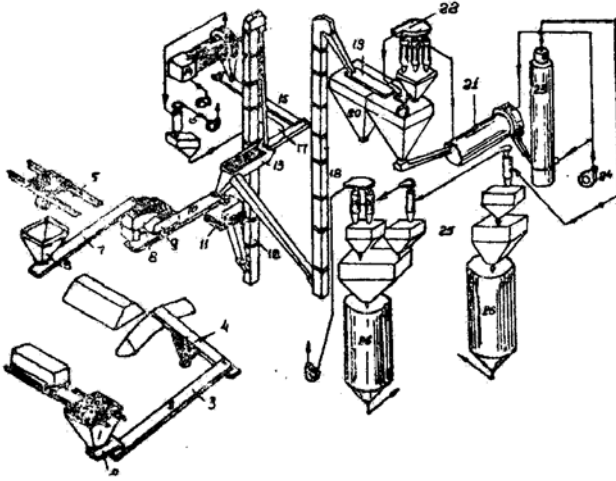
კუთხით. ფრქვევანები მუშაობენ ბუნებრივ აირზე, დიზელის საწვავზე ან მაზუთზე. მასალა, თბური მომზადების შემდეგ, მიეწოდება ღუმელს, პირდაპირ მაქსიმალური ტემპერატურის ზონაში. პერლიტის წვრილი ფრაქცია მალე ფუვდება საწვავის ალში, ნამწვი აირების მოქმედებით გადადის პნემოტრანსპორტის სისტემაში და ამ გზით გამოიტანება გარეთ. მსხვილი გრანულები ფუვდებიან ღუმლის გასწვრივ გადაადგილებით განმტვირთი ტორსისკენ მოძრაობისას. აქედან კი პნემოტრანსპორტით მიეწოდებიან დოლურ ცხავებს. დაფრაქციებული პერლიტი შემდეგ თავსდება ბუნკერებში.

ღუმელების საშუალო მწარმოებლობა პერლიტის ღორღის შემთხვევაში, შეადგენს 2,8 მ³/სთ-ს, ხოლო ქვიშისა 4,1 მ³/სთ-ს.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, არსებობს აფუებული პერლიტის წარმოების სხვადასხვა ტექნოლოგიური სქემები, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან საწარმოო სიმძლავრითა და გამოყენებული საქარხნო აღჭურვილობით. ძირითადად კი წარმოების პრინციპი თითქმის ყველგან ერთნაირია და მოიცავს შემდეგ საწარმოო ეტაპებს: ნედლეულის მომზადება, წინასწარი შრობა, გამოწვავა-აფუება, დახარისხება და შეფუთვა.

ქვემოთ ნახ. 2.1-ზე წარმოდგენილია აფუებული პერლიტის ქვიშის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ნათელ წარმოდგენას იძლევა პერლიტის აფუების საერთო

პრინციპზე. განხილული ტიპის საწარმოს მწარმოებლობა შეადგენს 50-100 ათას მ³-ს წელიწადში.



ნახ. 2.1. აფუებული პერლიტის ქვიშის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა:

- 1 - ბუნკერი; 2 - მკვებაგი; 3 - კონვეიერთა სისტემა; 4 - კონვეიერთა სისტემა; 5 - ხიდურა ამწე; 6 - მიმღები ძაბრი; 7 - ფირფიტოვანი ტრანსპორტიორი; 8 - ცხავი; 9 - ყბიანი სამსხვრეველა; 10 - ლენტური ტრანსპორტიორი; 11 - ლილვაკებიანი სამსხვრეველა; 12 - ელევატორი; 13 - ცხავი; 14 - გამოსაშრობი ღუმელი; 15 - გამწმენდი დოლური ღუმელი; 16 - ლენტური ტრანსპორტიორი; 17 - ლენტური ტრანსპორტიორი; 18 - ელევატორი; 20 - მკვებაგი ბუნკერები; 21 - დოლური ღუმელი; 22 - გამწმენდი მოწყობილობა; 23 - შახტური ღუმელი; 24 - ვენტილატორები; 25 - სეპარატორები; 26 - სამარაგე სილოსები.

ნედლეულის მომზადების საწარმოო ოპერაციებია: დამსხვრევა, დახარისხება და წინასწარი თბური მომზადება: ქარხნის ტერიტორიაზე ავტოთვითმცვლელით შემოხიდილი პერლიტი იყრება მიმღებ ბუნკერში; შემდეგ მკვებავითა და კონვეიერთა სისტემით გროვდება ნედლეულის საწყობში;

საწყობიდან კი 5-ტონიანი ხიდურა ამწით იტვირთება მიმღებ ძაბრში; ფირფიტოვანი ტრანსპორტიორით იცხრილება და იმსხვრევა ყბებიან და ჩაქუჩებიან სამსხვრეველაში; შემდეგ იგი ლენტური ტრანსპორტიორით მიეწოდება ლილვაკებიან სამსხვრეველას, იმსხვრევა უფრო წმინდად და ელვატორით ტარდება ცხავში; თუ ნედლეული ხასიათდება მაღალი ტენიანობით (10%-ზე მეტი), მაშინ ცხავში გატარებამდე უნდა გაშრეს. ამისათვის გამოიყენება გამწმენდ მოწყობილობიანი დოლური ღუმელი, საიდანაც პერლიტი ცხავს მიეწოდება ლენტური ტრანსპორტიორების სისტემით.

გაცხრილვა ხდება ისე, რომ წარმოების შემდეგი ეტაპისათვის მიღებულ იქნას პერლიტი 0,5 – 2,5 მმ ფრაქციით. უფრო წვრილმარცვლოვანი პერლიტი მოსახერხებელი არ არის, რადგან მიღებული საბოლოო პროდუქტი მძიმეა, ხოლო უფრო მსხვილმარცვლოვანი კი – იძლევა არათანაბარზომიერად აფუებულ პროდუქტს.

დამსხვრევის შემდეგ წარმოებს ნედლეულის თბომომზადება. ეს საჭიროა იმ შემთხვევაში, როდესაც იგი შეიცავს 5%-ზე მეტ ქიმიურად ბმულ წყალს. თბომომზადება ხდება შემდეგნაირად: დამსხვრეული და ცხავში გაცხრილული პერლიტი ელვატორითა და რევერსული ტრანსპორტიორით იყრება მკვებავ ბუნკერებში, იქიდან კი ვიბრაციული მკვებავით მიეწოდება თბომომზადების დოლურ ღუმელს, სადაც პერლიტის 450 – 500°C-მდე გახურებით გამოიდევნება მასში შემავალი ქიმიურად ბმული წყლის ნაწილი. ამ

ღუმელს აქვს მისგან გამოძვალა, გადაძუშავებული აირების გამწმენდი მოწყობილობა, რომელიც იჭერს აირის მიერ წატაცებულ მკვრივ ნაწილაკებს და აბრუნებს მათ მკვებავ ბუნკერში.

თბომომზადების შემდეგ ხდება პერლიტის გამოწვა – აფუება. ამისათვის გამომშრალი მასალა თბური მომზადების ღუმელიდან დახრილი მკვებავით იტვირთება გამოსაწვავ შახტურ ღუმელში. სპეციალური ვენტილატორებით შეიჭირხნება ჰაერი, სადაც იგი თბება 400°C -მდე და აიტაცებს პერლიტს ღუმლის ზედა ნაწილში (გამოწვის ზონა). იქ პერლიტი ფუვდება $900-1100^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე, ფუვდება და სპეციალური მილგაყვანილობით წარიტაცება, ტარდება სეპარატორებში, სადაც სეპარირდება და ცალკეულ ფრაქციებად იყრება აფუებული პერლიტის სამარაგე სილოსებში.

გამოსაწვავი ღუმელებისათვის საწვავად გამოიყენება სოლარის ზეთი, მაზუთი ან მათზე უკეთესი ხელოვნური ან ბუნებრივი საწვავი აირები. ღუმელების მართვა ხდება ცენტრალური სამართავი პულტიდან. პერლიტის აფუება მაქსიმალურ ტემპერატურაზე ძალზე სწრაფად ხდება: 3-5 მმ ფრაქციის პერლიტი ფუვდება 15 წამში, უფრო მსხვილი 30-60 წამში და პერლიტის გამოწვის მთლიანი ციკლის ხანგრძლივობა 3-5 წუთს არ აღემატება.

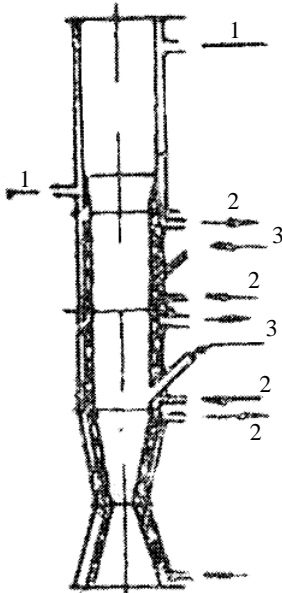
აფუებული პერლიტის საწარმოებში ყველა სატრანსპორტო მოწყობილობა, ბუნკერები და მათი სადინარები გულმოდგინედ უნდა იყოს ჰერმეტიზებული. საწარმო უზრუნველყო-

ფილი უნდა იყოს მძლავრი სავენტილაციო ქსელით. თუ პერლიტის ასაფუებელი განყოფილება წარმოადგენს პერლიტისა და მისი ნაკეთობების მსხვილ საწარმოში შემავალ საამქროს, მაშინ სილოსებიდან აფუებული მასალა მიეწოდება პერლიტბეტონსარევე კვანძს პნევმოტრანსპორტიორით. აფუებული პერლიტის დამამზადებელი ქარხნებიდან კი მისი მიწოდება მომხმარებლისათვის, როგორც წესი, უნდა ხდებოდეს ტარით; ამისათვის გამოიყენება ოთხმაგფენიანი კრაფტ-ქაღალდის ტომრები. პერლიტის ტრანსპორტირება ნაყარ მდგომარეობაში დაუშვებელია, რადგან სიმსუბუქის გამო იგი ჰაერში იფანტება. მისი შენახვა უნდა მოხდეს დახურულ საწყობებში და დაცული უნდა იყოს დატენიანებისაგან.

განვიხილოთ ჩვენში უფრო მეტად გავრცელებული შახტური ღუმელი. მისი მუშაობის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 2.2-ზე.

შახტური ტიპის ღუმელებიდან უმთავრესად გამოიყენება НИИСМИ ПУ-10М ტიპის ღუმელი. იგი შედგება ორი სექციისაგან. გამოწვა – აფუების ქვედა სექციას აქვს ერთმანეთზე მიდებული ორი წაკვეთილი კონუსის ფორმა. ზედა სექცია ცილინდრულია. ორივე სექცია ორმაგკედლიანია. შიგა კედელი ამოყვანილია ცეცხლგამძლე მასალისაგან. ქვედა სექციის კედლებს შორის მოძრაობს წყალი კედლების გასაციებლად. ზედა სექციის კედლების გაციება

ხდება ჰაერით; წინასწარ მომზადებული გამოსაწვავი



ნახ. 22. პერლიტის გამოსაწვავი

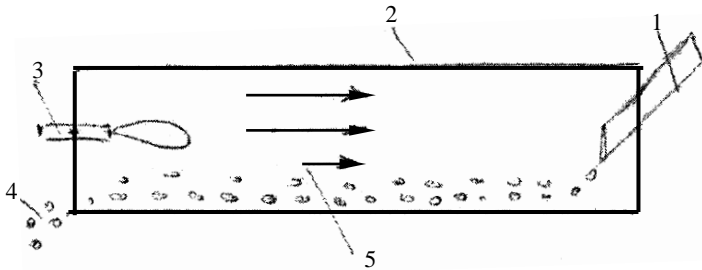
შასტური ღუმელი

- 1 - ჰაერი; 2 - წყალი; 3 - ნედლეული;
- 4 - საცეცხლური; 5 - დოლი;
- 6 - განმჭირთაი

პერლიტი ღუმელში იყრება სხვადასხვა სიმაღლეზე მოწყობილი დაბრებით. ჩაყრის დონე დამოკიდებულია გამოსაწვავი პერლიტის სახეობაზე და მომზადების ხარისხზე. პერლიტი, რომელიც შედარებით ძნელად ფუედება, ღუმელში იყრება ქვედა დაბრიდან, ხოლო რომელიც იოლად ფუედება - ზედა დაბრიდან. ღუმელში ჩატვირთული პერლიტი მოძრაობს ქვემოთ და ხვდება, ზემოთ სწრაფად მოძრავ აირს, აიტაცება მის მიერ და შეწონილ მდგომარეობაში სწრაფად ფუედება. ღუმელი მცირე ზომისაა: მისი სიმაღლე შეადგენს 500 სმ-ს, ცილინდრული ნაწილის შიგა დიამეტრია 50 - 60 სმ, კონუსური ნაწილისა ვიწრო ყელში - 30 სმ; ქვედა სექციის კედლის გაცივებისათვის წყლის ხარჯი შეადგენს 1500 ლ/სთ-ს; ზედა სექციისათვის სათბობის ხარჯი თხევადი საწვავის გამოყენებისას არის 350 მ³/სთ, ხოლო საწვავი აირის გამოყენების შემთხვევაში - 900 მ³. ღუმელის საათური მწარმოებლობა მისი ზომების მიხედვით 12-16 მ³

ია. მახტური ღუმელები, როგორც წესი გამოიყენება პერლიტის აფუებული ქვიშის წარმოებაში.

ჰორიზონტალური მბრუნავი ღუმელი არის ერთდოლიანი ან ორდოლიანი. უმთავრესად გამოიყენება ერთდოლიანი ღუმელები. ერთდოლიანი ღუმელის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 2.3-ზე.



ნახ. 2.3. მბრუნავი დოლისებრი ღუმელის სქემა

- 1 - ასაფუებელი გრანულების ჩატვირთვა; 2 - მბრუნავი ღუმელი;
- 3 - ფრქვევანა; 4 - აფუებული პერლიტი; 5 - ცხელი აირების ნაკადი.

ღუმელი წარმოადგენს 40-75 მ სიგრძის, 2,5-5 მ დიამეტრის ლითონის ცილინდრულ დოლს. ღუმელის სიგრძის გაზრდით მცირდება საწვავის ხარჯი, მაგრამ გამოსაწვავი მასის ნაყარი სიმკვრივე იზრდება. ღუმელი შიგნიდან ამოგებულია ცეცხლგამძლე აგურით. ღუმელებს აგებენ დაახლოებით 3⁰ დახრით ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ; იგი ნელა მოძრაობს თავისი ღერძის გარშემო (1-2 ბრ/წთ); ასაფუებელი გრანულები, რომლებიც მიეწოდება ზედა ბოლოდან, მისი ბრუნვისას თანდათანობით გადაადგილდება დოლის ქვედა ბოლოსკენ, სადაც დაყენებულია ფრქვევანა

თხევადი ან აირისებრი სათბობის შესაფერქვევად. მბრუნავი დოლი მუშაობს წინააღდგენით პრინციპზე: დაუმუშავებელი გრანულები გადაადგილდებიან რა ცხელი აირების ნაკადის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ცეცხლოვანი ალის ზონაში იწყებენ აფუებას. გრანულები ღუმელში ყოვნდება საშუალოდ 45 წუთს.

50მ სიგრძის ღუმელის ტექნოლოგიური პროცესი შეიძლება დაიყოს ოთხ ზონად: შრობის, გახურების, აფუების და გამყარების. შრობა მიმდინარეობს 11 მ სიგრძეზე, სადაც ხდება თავისუფალი ტენის აორთქლება მასალიდან, რომლის ტემპერატურა 100°C -მდეა. ამ ზონაში გახურებული აირის ტემპერატურა საკმაოდ მაღალია ($700-850^{\circ}\text{C}$), ხოლო მასალის ზოგადი სიმკვრივე მცირდება. იმის გამო, რომ გრანულები ტენიანი შემოდის, მათი ტემპერატურა ნელ-ნელა იზრდება. თბოგადაცემის კოეფიციენტი ამ ზონაში $105-128 \text{ ვტ/მ}^{\circ}\text{C}$ -ის ტოლია. გახურების ზონის სიგრძეა 15 მ. ამ ზონაში წარმოებს ჰიგროსკოპული ტენის ნარჩენების აორთქლება, მთლიანად ხდება აქროლადი ნივთიერებების მოცილება, მასალა ცხელდება 100°C -დან 850°C -მდე. ღუმელში ტემპერატურა ამ დროს $850-1100^{\circ}\text{C}$ -ია. გრანულების ზოგადი სიმკვრივე, ჰიგროსკოპული ჰიდრატული ტენის ნარჩენებისა და აქროლადი ნივთიერებების გარკვეული ნაწილის მოცილების ხარჯზე, მონოტონურად მცირდება. აფუების ზონაში, რომელიც მოკლე უბანზე (8-9მ) ვრცელდება,

გრანულების ზოგადი სიმკვრივე თითქმის ნახტომისებურად მცირდება, მასალის ტემპერატურა კი აღწევს 1125⁰C-ს; შემდეგ ამავე ზონაში, 4 მ სიგრძის ბოლო უბანზე აირებისა და მასალის ტემპერატურა რჩება სტაბილური, ხოლო ზოგადი სიმკვრივე აგრძელებს შემცირებას, რადგანაც მასალა ამ ზონაში პირობლასტიკურ მდგომარეობაშია. გამყარების ზონის სიგრძე სულ 15 მ-ია. აქ მასალის ტემპერატურა 1125⁰C-დან მცირდება 1025⁰C-მდე. შესაბამისად მცირდება აირების ტემპერატურაც. ზოგ შემთხვევაში ამ ზონაში აირების ტემპერატურა უფრო ინტენსიურად მცირდება, ვიდრე მასალისა.

აფუებული პერლიტის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილ 2.1-ში.

ცხრილი 2.1

აფუებული პერლიტის ქიმიური შედგენილობა %-ში

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O	SO ₃
73-	12,9-	1,5-1,9	0,69	0,23	4,19	3,15	0.18	0,13	0,24	0,04	0.09
76	13,2										

აფუებული პერლიტი ხანგამძლე მასალაა, ცეცხლმედეგია: გამოყენების ტემპერატურა -200⁰-დან +900⁰C-მდეა. აქვს უნარი შეიწოვოს სითხე 400% საკუთარი მასიდან. ბიოლოგიურად მედეგია, ქიმიურად ინერტული: ნეიტრალურია ტუტეებისა და სუსტი მჟავების მიმართ. ეკოლოგიურად სუფთა, სტერილური მასალაა, არ არის ტოქსიკური, pH =7

(ნეიტრალური). მშენებლობაში იგი გამოიყენება, როგორც დამოუკიდებლად (ქვიშისა და ღორღის შემცველი თბოსაიზოლაციო ნაყარის სახით, იატაკების, კედლებისა და სახურავებისათვის), ასევე ნარევებში სხვა საშენ მასალებთან ერთად.

პერლიტის უნიკალური თვისებები იძლევა მისი სხვადასხვა დანიშნულებისამებრ გამოყენების საშუალებას, კერძოდ:

მშენებლობაში, შემომზღუდავ კონსტრუქციებში პერლიტ-ბეტონების გამოყენებით, მნიშვნელოვნად უმჯობესდება შენობა-ნაგებობების თბობგერასაიზოლაციო თვისებები, რისი თანმდევიცაა კონსტრუქციების მასისა და მოცულობის შემცირება.

სპორტულ მშენებლობაში მოედნების მოწყობისას, პერლიტს უმატებენ ნიადაგს, ბალახის დარგვამდე. ამ ღონისძიების შედეგად მინდორი არ იტბორება და არ ირეცხება წვიმიან ამინდში; ბალახი არ ხმება და მოედანი ინარჩუნებს მწვანე საფარს გვალების დროსაც კი.

ნავთობგადამამუშავებელ და გაზის მრეწველობაში აფუებული პერლიტი სპეციალურად გამოიყენება, როგორც შთანთქმელი ნივთიერება ნავთობის და მაზუთის ჩამოსხმისას. ასევე ნარევეში პერლიტს უმატებენ განვრცობად ცემენტს, რაც განპირობებულია ნავთობისა და გაზის ჭაბურღილების შესაკავებლად.

საცხოვრებელ-კომუნალურ მეურნეობაში აფუებულ პერლიტს იყენებენ მინარევეებისაგან სასმელი წყლის საბო-

ლოოდ გასასუფთავებლად, მომხმარებლამდე მიწოდების წინ; აგრეთვე ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად.

კვების მრეწველობაში აფუებული პერლიტი წარმოადგენს შესანიშნავ ნედლეულს პროდუქტების შესანახი გარემოს მოსაწყობად; იყენებენ აგრეთვე, როგორც ფილტრს, ღვინის, ლუდის, წველებისა და ზეთების გასაწმენდად.

ეკოლოგიაში – პერლიტი წარმოადგენს საშუალებას წყალსატევების, ნიადაგების სამრეწველო ნარჩენების და ქიმიური რადიონუკლიდებისაგან გასასუფთავებლად.

სამედიცინო სფეროში აღნიშნული მასალა გამოიყენება პრეპარატების ფილტრაციისათვის.

აფუებული პერლიტის თვისებებია: 1. მაღალი ფორიანობა – 70-85%; 2. ზოგადი სიმკვრივე 80-320 კგ/მ³; 3. მასითი წყალშთანთქმა 200-600%; 4. ტენიანობა 1%-მდე; 5. სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 6 მპა; 6. ჰაერის წილი 80-90%; 7. თბოგამტარობის კოეფიციენტი 0,04 – 0,043 ვტ/მ⁰.C.

2.2. აფუებული პერლიტის და მის ბაზაზე დამზადებული ბეტონისა და ღუღაბის თვისებები

აფუებული პერლიტი სხვა მსუბუქ ფორიან შემესებებთან შედარებით გამოირჩევა რიგი უპირატესობებით. გამოწვისას შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა სისხოს ფორიანი შემესები: აფუებული პერლიტის ქვიშის ზოგადი სიმკვრივე კერამიტიტის ქვიშაზე 5-ჯერ ნაკლებია, ხოლო მისი მასა და

ღირებულება კი 1,5-ჯერ. სხვა ხელოვნური ფორიანი შემესებების (კერამზიტი, აგლოპორიტი) გამოწვისას მიიღება ძირითადად მსხვილი ფრაქციები: ღორღი და ხრეში. მათი მსხვრევისას ფორები ირღვევა, ამიტომ ქვიშის გამოსავლიანობა 1მ^3 ღორღიდან შეადგენს 0,6 მ^3 -ს, ხოლო ზოგადი სიმკვრივე 1,5-2-ჯერ მეტია ძირითად შემესებზე. შესაბამისად ქვიშის ღირებულებაც დაახლოებით 2-ჯერ იზრდება.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საშენი მასალების ლაბორატორიაში დადგენილ იქნა ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა პერლიტის ლაბორატორიული კვლევის შედეგების მიხედვით; ქვიშა ძირითადად წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებისაგან შედგება: 0,14-დან 1,25მმ-მდე ზომის მარცვლები 75%-ია, ხოლო 1,25–5მმ ზომის მარცვლები კი – 15%-ია. მტვრისებრი ნაწილაკების შემცველობა 10%-ს არ აღემატება; სისხოს მოღული 1,8-2,24-ის ფარგლებშია. თბოგამტარობის კოეფიციენტი სისხოს კვლების მიხედვით შეადგენს – 0,052, 0,058, 0,064, 0,07 $\text{ვტ/მ}^{\circ}\text{C}$, გამომშრალ მდგომარეობაში 25°C ტემპერატურაზე.

5-10 მმ ფრაქციის აფუებული პერლიტის ღორღი ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით: ზოგადი სიმკვრივე – 240-280 კგ/მ^3 ; წყალშთანთქმა 50-60%; ცარიელობა 50%; ღორღის სიმტკიცე 120მმ ლითონის ცილინდრში გაჭყლეტისას ვიბრაციის გარეშე 0,25-0,3 მპა; ვიბრირებით – 0,35-0,4 მპა.

სტანდარტი ითვალისწინებს პერლიტის ქვიშის გამოყენებას შემდგომად თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების და ცეცხლგამძლე ბათქაშის ბეტონებში და დუღაბებში, კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო ბეტონში; მას აგრეთვე იყენებენ თბოსაიზოლაციო ნაყარის მოსაწყობად და ა.შ. ამ მიზნებისთვის გამოიყენება 100-150 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის პერლიტი, ხოლო სამშენებლო კონსტრუქციებში კი 200, 300, 400 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის პერლიტის ქვიშა.

აფუებული პერლიტის ძირითად თვისებებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნედლეულის გამოწვის ხერხი, სიმკვრივე, გრანულომეტრული შედგენილობა, წყალშთანთქმა, სიმტკიცე და სხვა.

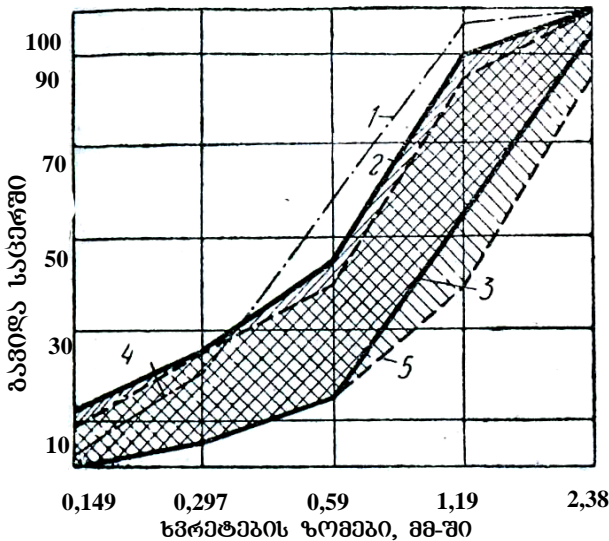
100-200 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის მსუბუქი ფორიანი შემდგომები გამოირჩევა ხორკლიანი, ძლიერი ზედაპირით, დიდი ფორებით, დაბალი სიმტკიცით და მაღალი წყალშთანთქმით.

ბეტონის დამზადება ასეთ ქვიშაზე დიდი რაოდენობით ცემენტსა და წყალს მოითხოვს. შახტურ ღუმელში აფუებული 100კგ/მ³ ნაყარი სიმკვრივის ქვიშა თერმოდამუშავების დროს დეჰიდრატაციას განიცდის. ამ დროს ქვიშის მასა იზრდება 1,005%-ით, ხოლო 0,105%-ს. ქვიშის ასეთი გაჯირჯევა იწვევს ბეტონის გაფართოებას, ხოლო შემდეგ კი მის შეკლებას, რაც ბზარების გაჩენას იწვევს.

საზღვარგარეთ (აშშ, კანადა) ნორმირებულია პერლიტის არამარტო ზოგადი სიმკვრივე, არამედ გრანულომეტრული შედგენილობაც. ნახ. 2.4-ზე წარმოდგენილია აფუებული

პერლიტის მარცვლოვანი შედგენილობა, რომელიც რეგლამენტირებულია ASTM C35-59t-ით.

რუსეთში გამოკვლეულია მუხორ-ტალინის და ბერეგოვსკის ადგილმდებარეობის აფუებული პერლიტის ბერათშთანთქმელი თვისებებიც. მუხორ-ტალინის წარმოშობის, 0-1,2 მმ ფრაქციის, წვრილი ქვიშის ნაყარი ზოგადი სიმკვრივე მერყეობს 125-150 კგ/მ³-ს შორის, ბერეგოვსკის – 100-125 კგ/მ³. მსხვილი ქვიშის (ფრაქცია 1,2-5მმ) ნაყარი ზოგადი სიმკვრივე კი შესაბამისად – 300-350 და 125-175 კგ/მ³-ის ფარგლებში.



ნახ. 2.4. აფუებული და აფუებული პერლიტის მარცვლოვანი შედგენილობები (ამერიკული სტანდარტ ASTM C35-59t-ის მიხედვით) 1 – ბუნებრივი პერლიტის შედგენილობა აფუებადღე; 2, 3 – აფუებული პერლიტის შედგენილობა თაბაშირპერლიტის საბათქაშე ხსნარებისათვის $\rho_6 = 120-140$ კგ/მ³; 4, 5 – აფუებული პერლიტის შედგენილობა პერლიტ ბეტონებისათვის $\rho_6 = 120-192$ კგ/მ³

ბგერათშთანთქმის კოეფიციენტს საზღვრავენ ტუმას მილში 80-1200 ჰერცი სიხშირის დიაპაზონში. ხმის ტალღები ნიმუშის ზედაპირის პერპენდიკულარულად ეცემა. დადგენილია, რომ აფუებული პერლიტის ქვიშა ბგერათშთანთქმის მაღალი კოეფიციენტით ხასიათდება; ხშირ შემთხვევებში 0,5-ზე მეტია, სიხშირის მთელ დიაპაზონზე.

ერევის საშენი მასალების კვლევითი ინსტიტუტის მიერ კი დადგენილია, რომ სხვადასხვა წარმოშობის, 50-250 კგ/მ³ ნაყარი ზოგადი სიმკვრივის, აფუებული პერლიტის თბოგამტარობა შეადგენს 0,041-0,072 ვტ/მ⁰C-ს, ხოლო ბგერათშთანთქმის კოეფიციენტი კი 0,6-ია. რაც ნაკლებია პერლიტის ზოგადი სიმკვრივე, მით უკეთესია მისი ბგერათშთანთქმელი თვისებები.

პერლიტის ღორღი ზოგადი სიმკვრივის მიხედვით იყოფა შემდეგ მარკებად: 300, 400, 500 კგ/მ³, ხოლო მათი სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე შესაბამისად არის 5, 8, 13 კგ/სმ²-ს; გაყინვა-გაღებობის 15 ციკლის შემდეგ მასითი დანაკარგი არ უნდა აღემატებოდეს 10%-ს. პერლიტის ღორღი გამოიყენება შემკვებად თბოსაიზოლაციო და კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო ბეტონებისათვის. სხვადასხვა წარმოშობის პერლიტის ღორღის ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური მანვენებლები მოცემულია ცხრილ 2.2-ში.

საქართველოში და სომხეთის ადგილმდებარეობის პერლიტის, აფუებული ღორღის ზოგადი სიმკვრივე შეად-

გენს 150-250 კგ/მ³-ს, ხოლო რუსეთისა 250-350 კგ/მ³-ს. შესაბამისად მარცვალთშორისი ცარიელობა ამიერკავკასიის პერლიტის ღორღისა არის 53%, ხოლო რუსეთისა 46%.

ყველაზე მაღალი სიმტკიცით კუმშვისას გამოირჩევა მუხორ-ტალინსკის წარმოშობის პერლიტი, ხოლო ყველაზე უფრო დაბალი სიმტკიცით ფარაენის ადგილმდებარეობის პერლიტი.

ცხრილი 2.2

აფუებული პერლიტის ღორღის საშუალო მაჩვენებლები

წარმოშობა	ფრაქც. ზომა, მმ	ფორმ. კოეფ. K _ფ	ზოგადი, სიმკვრივე, კგ/მ ³	ნამდვილი სიმკვრივე, გ/სმ ³	ფორიან., %-ში	ნატეხისსიმკვრივე, კგ/მ ³	მარცვლ. შუა სიცარიეობა, %-ში	სიმტკ. კუმშვ. კგ/სმ ²	მასითი წყალშ. %-ში, 24სთ-ში
არგაცის	10-20	1,15	250	1,7	85	532	53	4,3	62
მუხორ-ტალინსკის	10-20	1,53	370	1,61	77	685	46	8,0	37
ფარაენის	5-10	1,20	260	1,85	81	540	52	3,5	61

პერლიტის აფუებული ღორღის სიმტკიცე კუმშვაზე არის მისი მასის ფუნქცია. ღორღის სიმტკიცესა და ზოგად სიმკვრივეს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$R_{\text{პ}} = a\rho_{\text{გ}} - b,$$

სადაც $R_{\text{პ}}$ – შემესების სიმტკიცეა და განისაზღვრება ცილინდრში გაჭყლევით, მპა; $\rho_{\text{გ}}$ – შემესების ზოგადი სიმკვრივე, კგ/მ³; a და b – ექსპერიმენტული გზით განსაზღვრული კოეფიციენტებია.

ერთი და იგივე ზოგადი სიმკვრივის შემთხვევაში პერლიტის წვრილი ღორღის სიმტკიცე 15–20%-ით აღემატება იგივე წარმოშობის უფრო მსხვილი შემესების სიმტკიცეს. ნარევის სიმტკიცე დამოკიდებულია სხვადასხვა ფრაქციის შემესების თანაფარდობასა და მათ თვისებებზე: მსუბუქი ქვიშა ამცირებს, ხოლო ნამსხვრევი პერლიტის ქვიშა ზრდის ნარევის მასასა და სიმტკიცეს.

ცხრილი 2.3

ა და ბ კოეფიციენტების ექსპერიმენტული მნიშვნელობები

კოეფიციენტები	მუხორ-ტალინსკის წარმოშობა		არაგაცის წარმოშობა	ფარაგნის წარმოშობა
	ფრაქცია მმ-ში			
	10-20	5-10	5-10	5-10
a	0,04	0,044	0,032	0,035
b	4	3	4,4	4,6

პერლიტის წყალშთანთქმის უნარი იზრდება გრანულების ზომისა და ზოგადი სიმკვრივის შემცირებით. ნებისმიერი ადგილმდებარეობის აფუებული პერლიტისთვის დამახასიათებელია მაღალი წყალშთანთქმის უნარი, პირველი 15 წთის განმავლობაში მთლიანი წყალშთანთქმის 80-90%, ხოლო 24 საათში პერლიტის ღორღის მასითი წყალშთანთქმა შეადგენს დაახლოებით 62%-ს. ერთნაირი სისხოს და დაახლოებით ერთი და იგივე ზოგადი სიმკვრივის შემთხვევაში უმეტესი წყალშთანთქმით გამოირჩევა არაგაცის ადგილმდებარეობის პერლიტი.

პერლიტური ნარეგები. პერლიტის აფუებულ ქვიშას იყენებენ, როგორც წვრილ შემცსებს მსუბუქ დუღაბებში, აფუებული პერლიტის მსხვილ შემცსებთან ერთად პერლიტობეტონებში, კერამზიტთან კერამზიტოპერლიტობეტონებში, აგლოპორიტთან ერთად აგლოპორიტპერლიტობეტონებში და ა.შ.

მსუბუქი ბეტონის თვისებები დამოკიდებულია ძირითადად დუღაბური ნაწილის თვისებებზე. მეცნიერების მიერ, სხვადასხვა მეთოდით, საზღვარგარეთის ქვეყნებში გამოკვლეულია აფუებული პერლიტისაგან დამზადებული დუღაბის სიმტკიცის და დეფორმაციულობის მაჩვენებლები:

- მუხორ-ტალინსკის წარმოშობის, მბრუნავ ღუმელში გამომწვარი, აფუებული პერლიტის ზოგადი სიმკვრივე შეადგენს – $\rho_v - 200-250$ კგ/მ³-ს, „მდუღარე შრის“ ღუმელში – $\rho_v - 200-300$ კგ/მ³-ს, დოლურ მბრუნავ ღუმელში, შემდეგი დაქუცმაცებით - $\rho_v - 400 - 500$ კგ/მ³-ს;
- სომხეთის არაგაცის ადგილმდებარეობის, შახტურ ღუმელში გამომწვარი აფუებული პერლიტის $\rho_v - 100-150$ კგ/მ³; „მდუღარე შრის“ ღუმელში - $\rho_v - 200-300$ კგ/მ³; შახტურ ღუმელში შემდგომი მსხვრევით მიღებული - $\rho_v - 350-400$ კგ/მ³;
- საქართველოს ფარავნის ადგილმდებარეობის, შახტურ ღუმელში გამომწვარი აფუებული პერლიტის $\rho_v - 150-$

250 კგ/მ³; შახტურ ღუმელში შემდგომი მსხვრევით მიღებული – 350-450 კგ/მ³;

საცდელი დულაბისაგან დამზადებულ იქნა ნიმუშები აფუებული პერლიტის ქვიშის გამოყენებით (ზღვრული სისხო 5 და 1,2 მმ); პორტლანდცემენტი მარკით 400; თითო სერიაში შედიოდა 9-9 ნიმუში – კუბები ზომით 40X40X40 მმ და ძელაკები ზომით 40X40X160 მმ.

ცემენტის ხარჯი ტყუპისცალ ნიმუშებში შეადგენდა 200, 300, 400 და 500 კგ/მ³-ს; 1,2 მმ ზღვრული სისხოს მქონე პერლიტში წვრილდისპერსული ფრაქციის შემცველობა იცვლებოდა 0-დან 50%-ის ფარგლებში, ხოლო 5 მმ ზღვრული სისხოს პერლიტში – 0-დან 25%-ის ფარგლებში.

ცდის შედეგების შეჯერების მიზნით ყველა ნიმუში ერთნაირი ძვრადობის იყო (განშლა შემრხვე მაგიდაზე შეადგენდა 135 მმ-ს). ნიმუშები დაყალიბების შემდეგ განიცდიდნენ ვიბრირებას ვიბრომაგიდაზე 15 წამის განმავლობაში. თბოდამუშავების ციკლის გავლენის განსაზღვრის მიზნით სამი ნიმუში გამოიცდებოდა გაორთქელის პროცესის დამთავრების შემდეგ მაშინვე, ხოლო ექვსი ნიმუში (სამი გაორთქელი და სამი ნორმალური გამყარების) – 28 დღის ასაკში. გაორთქელის რეჟიმი ასეთი იყო: ტემპერატურის აწვეა 95⁰C-ზე – 2 სთ; იზოთერმული დამუშავება 95⁰C-ზე – 6 სთ; გაცივება 3 სთ;

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ პერლიტის წვრილდისპერსული ფრაქციის ოპტიმალური რაოდენობით შეყვანა,

ზრდის პერლიტური დუღაბის სიმტკიცეს გაჭიმვაზე 1,5-ჯერ, ხოლო კუმშვაზე 3-ჯერ. კუმშვისას და გაჭიმვისას სიმტკიცის ინტენსიური მატება დამახასიათებელია გაორთქლილი ნიმუშებისათვის. პერლიტის წვრილდისპერსული ფრაქციის გამოყენების ეფექტურობა ბუნებრივი გამყარების ნიმუშებში ნაკლებად შესამჩნევია.

ცხრილ 2.4-ში მოცემულია გაორთქლილი ნიმუშების, სიმტკიცეზე გამოცდის შედეგები 28 დღის ასაკში.

მუხორ-ტალინსკის ადგილმდებარეობის პერლიტზე დამზადებული დუღაბების ნიმუშების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, როცა ცემენტის ხარჯი იცვლებოდა 200-500 კგ/მ³-ის ფარგლებში, მერყეობდა 3,5-17 მპა-ს შუალედში; გაჭიმვაზე ღუნვისას – 1,6-დან 4,2 მპა-ს შორის. ცემენტის ხარჯიდან გამომდინარე დუღაბის ზოგადი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა) იცვლებოდა 800-დან 1460 კგ/მ³-ის ფარგლებში, ხოლო გაჭიმვაზე და ღუნვაზე სიმტკიცეების შეფარდება კი – 0,46-დან 0,26-მდე.

არაგაცის ადგილმდებარეობის პერლიტზე დამზადებული ნიმუშების (ცემენტის ხარჯი 200–500 კგ/მ³) სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას იცვლებოდა 1,6-დან 11,2 მპა-მდე, ხოლო სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას შეადგენდა 5-დან 3 მპა-მდე. ფარანის პერლიტზე დამზადებული ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე მერყეობს 1,5-დან 11 მპა-მდე, ხოლო ღუნვისას 0,5-დან 1,5 მპა-მდე. მაქსიმალური სიმტკიცით გამოირჩევა ჰორიზონტალურ მბრუნავ ღუმელში, მინიმალურით კი –

შახტურ ღუმელში აფუებული პერლიტის ქვიშები. კუმშვისას განსაკუთრებით მაღალი სიმტკიცით ხასიათდება 5 მმ-იანი მაქსიმალური სისხოს პერლიტის აფუებულ ქვიშაზე დამზადებული ნიმუშები. ინტენსიურად იზრდება სიმტკიცე, როცა ცემენტის ხარჯი შეადგენს 400 კგ/მ³-ს; კუმშვაზე სიმტკიცის ზრდა თითქმის პროპორციულია ცემენტის

ცხრილი 2.4

პერლიტზე დამზადებული დუღაბის ნიმუშების სიმტკიცეზე კვლევის შედეგები

პერლიტის წარმოშობა	წარმოების მეთოდი	ზღვრული სისხო, მმ	სიმტკიცის ზღვარი, მპა	ცემენტის ხარჯი, კგ/მ ³			
				200	300	400	500
ფარავნის	ამოწვა შახტურ ღუმელში	1,2	R	1,5	3,0	9,0	11,0
			R _{გლ}	0,5	1,0	1,5	2,3
			R _{გლ} /R	0,33	0,33	0,16	0,21
მუხორ-ტალისის	გამოწვა ჰორიზონტალურ მბრუნავ ღუმელში	1,2	R	–	8,0	13,0	16,5
			R _{გლ}	–	3,2	3,4	4,0
			R _{გლ} /R	–	0,4	0,26	0,22
	გამოწვა „მდულარე შრეში“	1,2	R	–	4,5	10,5	14,5
			R _{გლ}	–	2,2	3,2	3,9
			R _{გლ} /R	–	0,49	0,31	0,28
გამოწვა ჰორიზონტალურ მბრუნავ ღუმელში შემდგომი მსხვრევით	1,2	R	3,5	7,0	14,0	17,0	
		R _{გლ}	1,6	2,6	3,4	4,2	
		R _{გლ} /R	0,46	0,37	0,24	0,26	
არაგაცის	გამოწვა შახტურ ღუმელში	1,2	R	1,6	3,2	9,0	11,2
			R _{გლ}	5	1,0	1,5	2,5
	R _{გლ} /R	0,31	0,31	0,17	0,23		
	გამოწვა ჰორიზონტალურ მბრუნავ ღუმელში	1,2	R	4,5	8,0	11,5	–
R _{გლ}			1,0	2,0	3,0	–	
R _{გლ} /R	0,22	0,25	0,26	–			

ხარჯის ზრდისა; სიმტკიცის ზრდაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა. წვრილმარცვლოვან ქვიშაზე ყოველ 100 კგ ცემენტზე სიმტკიცის მატება დაახლოებით შეადგენდა 1,5-3 მპა-ს, ხოლო შედარებით მსხვილ ქვიშებზე კი – 4-6 მპა-ს.

ბეტონის დრეკადობის მოდული მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული პერლიტის ქვიშის გრანულომეტრულ შედგენილობაზე. მაგალითად, 1,2 მმ ზღვრული სისხოს მქონე, მუხორ-ტალინსკის პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული დუღაბის საწყისი დრეკადობის მოდული, როცა ცემენტის ხარჯი შეადგენს 400 კგ/მ³-ს, მერყეობს 6000-დან 17000 მპა-მდე (ნიმუშების კუბური სიმტკიცეა 18-28 მპა, ხოლო პრიზმული 13-23 მპა), ხოლო 5 მმ მაქსიმალური სისხოს პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული პერლიტის დუღაბის ანალოგიური მანვენებელი ცემენტის იგივე ხარჯისას იცვლება 8500-18000 მპა-ის ფარგლებში (ნიმუშების კუბური სიმტკიცე არის 20-34 მპა, ხოლო პრიზმული 17,5-25 მპა).

ორივე შემთხვევაში აღინიშნება, დრეკადობის მოდულის სიდიდის შემცირების ტენდენცია, შემკვების საერთო მოცულობაში წვრილდისპერსული ფრაქციის 25%-ით მომატებისას.

გამოკვლეულია არაგაცის ადგილმდებარეობის აფუებული პერლიტის ურთიერთქმედება სხვადასხვა ტიპის შემკვრელებთან. შემკვრელის სახით გამოყენებულია 400 მარკის თეთრი პორტლანდცემენტი, ჩამქრალი კირი და ორწყლიანი

თაბაშირი. პერლიტის ქვიშა დამატებით დაიფქვა, რათა მთლიანად გასულიყო 063 საცერში.

კუბის ფორმის ნიმუშების ზომები იყო 20X20X20მმ. ნიმუშების გამყარების რეჟიმი: ბუნებრივი პირობები, გაორთქელა 50⁰ და 95⁰C ტემპერატურის პირობებში და ავტოკლავური დამუშავება 174,5⁰C-ზე.

კირის შემკვრელზე დამზადებულ, 930-1160კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის ნიმუშებს აღმოაჩნდათ სიმტკიცე კუმშვაზე 9,65–12,9 მპა. გამყარების რეჟიმმა გავლენა ვერ იქონია ნიმუშების სიმტკიცეზე, მაგრამ მნიშვნელოვნად შეცვალა მათი ფაზური შედგენილობა. ნორმალურ პირობებში გამყარებული ნიმუშები შეიცავდნენ გელისმაგვარ მაცემენტებელ ნივთიერებას. 95⁰C-ზე გაორთქლილ ნიმუშებში გამოჩნდნენ ჰიდრომარცვლები (კალციუმის ჰიდროსილიკატები და ჰიდროალუმოსილიკატები).

კირ-თაბაშიროვან შემკვრელზე დამზადებული, 930-1050 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის ნიმუშების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე შეადგენდა 8,8–13,2 მპა-ს. პერლიტოვან დუღაბში თაბაშირის შეყვანამ დააქვეითა ბუნებრივი და 50⁰C-ზე თბური დამუშავების პირობებში გამყარებული ნიმუშების სიმტკიცეები, შეამცირა მათში კრისტალური ფაზების შემცველობა და ხელი შეუწყო ჰიდროსულფოალუმინატების ტიპის კომპლექსური ნაერთების წარმოქმნას. 95⁰C-ზე გაორთქლილი და ავტოკლავში დამუშავებული ნიმუშების შემთხვევაში,

თაბაშირის დამატებამ პირიქით, გამოიწვია სიმტკიცის მნიშვნელოვანი ზრდა და თაბაშირის მთლიანი ათვისება.

ცემენტზე დამზადებული, 1020–1150 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის ნიმუშების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე შეადგენდა 11–16 მპა-ს. ნორმალურ პირობებში გამყარებულ ნიმუშებში ძალზე ბევრია ცემენტის კლინკერის ერთ-ერთი ძირითადი მინერალის-ბელიტის რეაქციაში შეუსვლელი ნაწილაკები. მაცემენტებელი ნივთიერებები არაერთგვაროვანია; მარცვალთშორის სივრცეში განვითარებულია გელისებრი ფაზა. 50⁰ და 95⁰C ტემპერატურაზე გაორთქლილი დუღაბებისათვის დამახასიათებელია ბელიტის არასრული ჰიდრატაცია და ჰიდროსილიკატების მცირე შემცველობა. ამგვარი ნიმუშების ავტოკლაავური დამუშავება ხელს უწყობს ბელიტის სრულ ჰიდრატაციას და პერლიტის მინისებრი ფაზის ჩართვას გამყარების პროცესში.

პერლიტოვან დუღაბში შერეული შემკვრელის შეყვანა (50% ორწყლიანი თაბაშირი და 50% ცემენტი) საგრძნობლად აქვეითებს სიმტკიცეს (9,8–12 მპა), ზოგადი სიმკვრივე პრაქტიკულად უცვლელია (1010–1100 კგ/მ³). 20-50⁰C-ზე ორთქლში გატარებულ ნიმუშებში ცემენტის ფაზური შედგენილობა წარმოდგენილია გელური კალციუმის ჰიდროსილიკატებით. ბელიტის ჰიდრატაციაზე თაბაშარი საერთოდ არ მოქმედებს. 95⁰C-ზე გაორთქლილ და ატოკლაავური დამუშავებით (174,5⁰C) გამყარებულ ნიმუშებში ბელიტის ჰიდრატაციის

პროცესი ჩქარდება. ამ შემთხვევაში თაბაშირი ცემენტის მინერალების ჰიდრატაციის და პერლიტის მინისებრი ფაზის ჰიდროლიზის რეაქციების ინტენსიფიცირებას იწვევს.

დაბალფუძიანი გელისებრი პროდუქტების შემცველობის გაზრდით და პერლიტის მინისებური ფაზის და თაბაშირის ურთიერთქმედების შედეგად დუღაბის შეკლება იზრდება. გამყარების ტემპერატურის მატებასთან ერთად უმჯობესდება ჰიდრატაციის პროდუქტების კრისტალიზაციის პროცესი, რაც თავის მხრივ დუღაბის შეკლების შემცირების მიზეზი ხდება. Ca(OH)_2 -ის სრული შეკავშირება კაჟმიწასთან და გარდაქმნა კალციუმის ჰიდროსილიკატად და ჰიდროალუმოსილიკატად უზრუნველყოფს პორტლანდცემენტზე ან კირის შემკვრელზე დამზადებული პერლიტბეტონის ნაწარმის ხანგამძლეობას. ამიტომ მიზანშეწონილია ტუტეების მაღალი შემცველობით გამორჩეული ცემენტების გამოყენება, ან ტუტე გარემოს შექმნის მიზნით Ca(OH)_2 -ის მცირე შემცველობით (არა უმეტეს 25%-ისა ცემენტის მასიდან) შეყვანა ნარევაში. ამ ღონისძიებით განპირობებულია პერლიტის მინისებრი ფაზის ჩართვა ჰიდროლიზის პროცესში.

ცემენტ-პერლიტის დუღაბის გაფართოების დეფორმაციის ხანგრძლივმა გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ პერლიტის შედგენილობაში მყოფი SiO_2 -ის ცემენტის ჰიდრატაციის პროდუქტებთან ურთიერთქმედების შედეგად, დიდი შიგა დეფორმაციები, რომლებიც მნიშვნელოვნად დაახიანებენ ბეტონის სტრუქტურას, არ წარმოიქმნება.

პერლიტის აფუებული ქვიშის და პერლიტური დუღაბების რეჰიდრატაციის შესახებ კვლევები ჩატარებულია ავსტრალიელი მეცნიერის რ. ჰილის მიერ. დაყალიბებულ იქნა ნიმუში-პრიზმები პერლიტის ქვიშაზე და ნახევარ-წელიან თაბაშირზე დამზადებული დუღაბისაგან (ნარევი შედიოდა აგრეთვე მცირე რაოდენობით თავისუფალი კირი). ზოგიერთი ნიმუში დამზადებულ იქნა მაღალთიხამიწოვან ცემენტზე. დეფორმაციების გაზომვა ხდებოდა ციფერბლატური კომპარატორებით, სიზუსტით 0,0002 დმ, 5 დღეზე უფრო მეტი ასაკის ნიმუშებზე (შეკლების ძირითადი დეფორმაციების შეწყვეტის შემდეგ).

კვლევებით დადგენილია, რომ პერლიტის ქვიშის წყალშემცველობა აფუების შემდეგ შეადგენს 0,3%-ს მასის მიხედვით. ჰაერზე შენახვისას ქვიშა იერთებს ატმოსფერულ ტენს დაახლოებით 1,4%-ს წელიწადში. განმეორებითი რეჰიდრატაცია შეიძლება მნიშვნელოვნად დაჩქარდეს ჰიდროთერმული დამუშავებით: 96 საათის განმავლობაში 200°C-ზე გააორთქლისას ქვიშის წყალშემცველობა იზრდება 1,2-1,4%-მდე მასის მიხედვით.

პერლიტის ქვიშის გამოყენება გამოწვის დამთავრებისთანავე იწვევს დუღაბის მნიშვნელოვან გაფართოებას. ბუნებრივ პირობებში ქვიშის ნაწილობრივი რეჰიდრატაცია, ან მისი ერთქლით დამუშავება ამცირებს დუღაბის გაფართოების სიჩქარეს. მეორეული გაფართოება ასევე შეიძლება შენეიდეს საკუთრივ ნიმუშების თბოტენიანი დამუშავებისას. 112 კგ/მ³-ზე

ნაკლები ზოგადი სიმკვრივის ქვიშებზე დამზადებული დუღაბები ხასიათდებიან უდიდესი მოცულობითი გაფართოებით.

თაბაშირზე დამზადებული დუღაბების გაფართოების ხარისხი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული თაბაშირის თვისებებზე: რაც მეტია შემკვრელის ჰიგროსკოპულობა, მით მეტია თაბაშირ-პერლიტოვანი დუღაბების დეფორმაციულობა. თაბაშირპერლიტის დუღაბის გაფართოება იზრდება აგრეთვე გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მატების შემთხვევაშიც: კერძოდ, ფარდობითი ტენიანობის 55-დან 80%-მდე გაზრდის დროს დეფორმაციები იზრდება დაახლოებით ორჯერ. ორთქლდამუშავების გარეშე ნაკეთობების დამზადებისას, ჰილი იძლევა მსუბუქი პერლიტის ქვიშების ტომრებში ჩაყრამდე, მათი თბოტენიანი დამუშავების რეკომენდაციას.

აფუებული პერლიტის ღორღი წარმოადგენს მეიფე, ძალიან ფორიან მასას; ფორები იკავებენ მოცულობის ნახევარზე მეტს და აქვთ პრიალა, მომრგვალებული ფორმა, დიამეტრით 0,05-0,2 მმ; გვხვდება 2-5 მმ ზომის ცალკეული უჯრედებიც. აფუებული პერლიტის ღორღის ძირიადი მასა გამჭვირვალე მინისებურია; მასში შეიმჩნევა მტვრისებრი ნაწილაკები, რომლებიც მთელს მასაშია გაბნეული.

ქვიშა და ღორღი მოთეთრო – მოვარდისფრო შეფერილობისაა. ზოგ შემთხვევაში გამოირჩევა მოყვითალო – ნარინჯისფერით, რაც გამოწვეულია რკინაშემცველი ნივთიერებების არსებობით.

თაზი III

პერლიტბეტონის ტექნოლოგიის საფუძვლები

პერლიტბეტონი წარმოადგენს მსუბუქ შემვსებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონის ერთ-ერთ სახესხვაობას.

მსუბუქ შემვსებებზე დამზადებული ბეტონის ნარეგები-სათვის დამახასიათებელია ადვილჩაწყობადობის დაქვეითე-ბული და განშრეგების გაზრდილი უნარი. წინასწარ მოცემული სიმტკიცის, ზოგადი სიმკვრივის, თბოგამტარო-ბისა და ყინვამდებობის პერლიტბეტონის მიღება, ცემენტის მინიმალური ხარჯისას, შესაძლებელია საჭირო შემკვრე-ლის, შემვსებების ოპტიმალური მარცვლოვანი შედგენილო-ბების და სხვა ტექნოლოგიური ილეთების გამოყენებით.

3.1. აფუებული პერლიტის შემვსებები (ქვიშა და ღორღი)

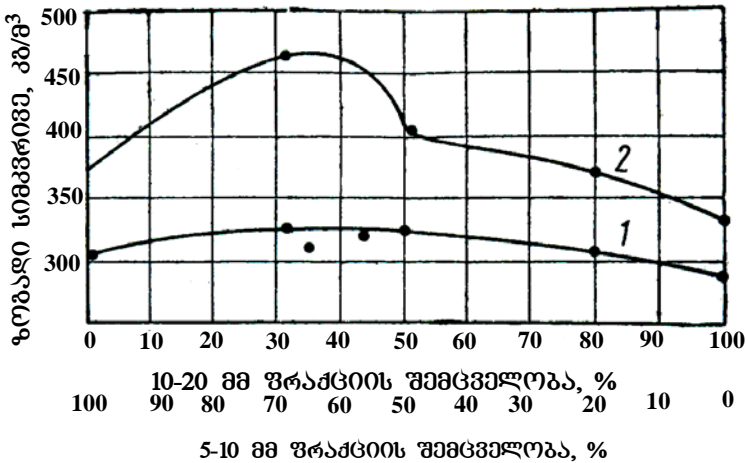
პროფ. ნ. პოპოვის წინადადებით, ფორიანი შემვსების (ხრეში ან ღორღი) მარცვლოვანი შედგენილობა აიწერება ფორმულით:

$$y = (x/D)^n, \quad (3.1)$$

სადაც y – საცერში გასული ფორიანი შემვსების რაოდე-ნობაა, ფარლობითი სიდიდე; x – საცრის ნახვრეტის ზომებია, მმ-ში; D – ფრაქციის უდიდესი

სისხო, მმ-ში; n – ექსპერიმენტულად განსაზღვრული გრანულომეტრიის მახასიათებელია.

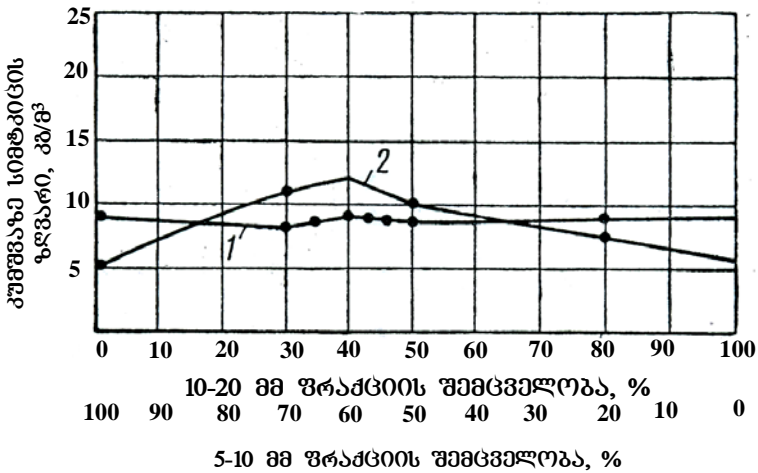
პერლიტბეტონებისათვის n -ის ოპტიმალური მნიშვნელობის დასადგენად გამოკვლეულია მუხორ-ტალინსკის და ფარავნის ადგილმდებარეობის პერლიტის აფუებული ღორღი. ღორღის ზოგადი სიმკვრივე და სიმტკიცე კუმშვისას შესწავლილია 10–20 და 5–10 მმ ფრაქციის 14 ნარევეზე. ნარევეების შედგენილობა იცვლებოდა სხვადასხვა ფრაქციის პერლიტის ღორღის 0-დან 100%-მდე შემცველობით. პერლიტის ღორღის სიმტკიცე ისაზღვრებოდა მოქმედი სტანდარტის მიხედვით. აფუებული პერლიტის ღორღის ნარევეების მახასიათებლები მოცემულია ნახაზებზე 3.1-ზე და 3.2-ზე.



ნახ. 3.1. პერლიტის ღორღის ზოგადი სიმკვრივე მისი გრანულომეტრული შედგენილობის მიხედვით
1 – ფარავნის პერლიტი; 2 – მუხორ-ტალინსკის პერლიტი.

ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით, სხვადასხვა მინერალოგიური შედგენილობის ფარავნის პერლიტის ღორღის ნაყარი ზოგადი სიმკვრივეები მცირედ თუ იცვლება.

მათი შეფარდების მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 1,1-ს. სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას ასევე თითქმის უცვლელია. რაც შეეხება მუხორ-ტალინსკის ადგილმდებარეობის პერლიტის ღორღის ანალოგიურ მანქნებლებს, ისინი გრანულომეტრული შედგენილობის ცვლილების მიხედვით მნიშვნელოვნად იცვლებოდნენ. პერლიტის ღორღის ნარეგების სხვადასხვა პროპორციების მიხედვით ნაყარი ზოგადი სიმკვრივების მაქსიმალური შეფარდება შეადგენდა 1,38-ს. ხოლო სიმკვრივების – 1,76-ს.



ნახ. 3.2. პერლიტის ღორღის სიმტკიცე მისი გრანულომეტრული შედგენილობის მიხედვით
 1 – ფარანის პერლიტი; 2 – მუხორ-ტალინსკის პერლიტი.

ფარანის და მუხორ-ტალინსკის ადგილმდებარეობის ღორღის მაქსიმალური ნაყარი სიმკვრივე დაფიქსირდა ერთი და იგივე გრანულომეტრული შედგენილობის დროს: 5 –

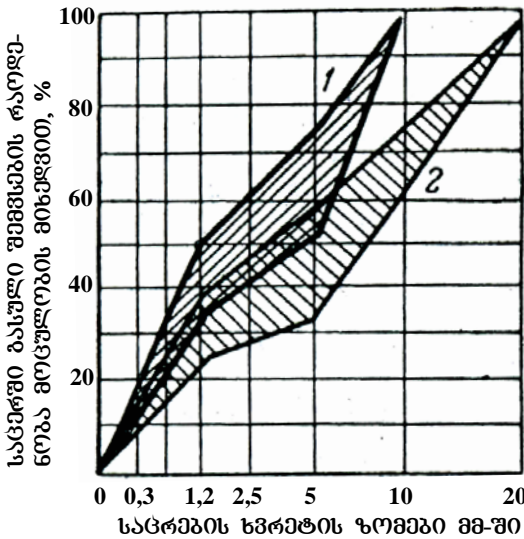
10მმ ფრაქციის შემცველობა – 32%, 10 – 20მმ ფრაქციის შემცველობა – 68%, ე.ი., როცა $n=1,1$.

აღსანიშნავია, რომ მუხორ-ტალინსკის წარმოშობის ღორღის ნარეუს გააჩნია ზოგადი სიმკვრივის გრაფიკზე მკვეთრად გამოსახული ობტიმუმი. ეს აიხსნება იმ გარემოებით, რომ მუხორ-ტალინსკის აფუებული პერლიტის ღორღის, 10-20მმ ფრაქციის ნაყარი სიმკვრივე შეადგენს 373 კგ/მ³-ს, ხოლო 5-10მმ ფრაქციისა – 330 კგ/მ³-ს; ფარავნის პერლიტის ღორღის კი შესაბამისად 311 და 295 კგ/მ³-ს. ამგვარად, მუხორ-ტალინსკის პერლიტის ღორღის ფრაქციების სიმკვრივეებს შორის სხვაობა შეადგენს 15%-ს, ხოლო ფარავნისა 5%-ს. გარდა ამისა, ნაყარი ზოგადი სიმკვრივეების ცვლილებაზე მოქმედებს ასევე პერლიტის ღორღის ფორმის კოეფიციენტი (მუხორ-ტალინსკის პერლიტისათვის ეს კოეფიციენტი იცვლება – 1,36-1,56 ფარგლებში, ხოლო ფარავნისა – 1,53-1,92).

ღუღაბის მაქსიმალური სიმტკიცე მიღებულ იქნა მუხორ-ტალინსკის პერლიტის ღორღის შემთხვევაში შემდეგი გრანულომეტრული შედგენილობებისას: ფრაქცია 5–10მმ – 32%, ფრაქცია 10-20მმ – 68%, $n=1,1$; 5–10მმ – 42%, ფრაქცია 10-20მმ – 58%, $n=0,5$.

ფარავნის პერლიტის სიმტკიცის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიღებულია 5-10მმ ფრაქციის შემცველობა 35-დან 50%-მდე შემსუბუქების მაქსიმალური მოცულობიდან. ამ დროს $n=0,3$ და $n=0,8$.

ამგვარად, ზოგადი სიმკვრივის, სიმტკიცის, ფორმის კოეფიციენტის, ფორიანობის და პერლიტის ღორღის სხვა მახასიათებლების შესაძლო მერყეობის გათვალისწინებით, დაბალი სიმტკიცის პერლიტის ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობის შემთხვევაში, (3.1) ფორმულაში უნდა შევიტანოთ $n=0,5$ მნიშვნელობა, ხოლო მოქმედი სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისი თანაფარდობის მისაღწევად – $n=0,8$.



ნახ. 3.3. პერლიტის ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა
1 – ზღვრული სისხო 10მმ; 2 – იგივე, 20მმ

პერლიტის ღორღის მარცვლოვანი შედგენილობა შეიძლება დანიშნულ იქნას ასევე, ნახ. 3.3-ზე გამოსახული გრაფიკის მიხედვით (ის მოყვანილია ნორმებში – „რეკომენდაციები საცხოვრებელი და სამრეწველო მშენებლობის

შემომზღუდავ კონსტრუქციებში პერლიტბეტონის დაპროექტების, დამზადების და გამოყენების შესახებ“).

3.2. შემკვრელი ნივთიერებები

პერლიტბეტონების წარმოებაში ძირითადი შემკვრელი ნივთიერებებია პორტლანდცემენტი. იყენებენ სხვადასხვა სახის ცემენტებს. მიზანშეწონილია B30 და უფრო მაღალი კლასის ცემენტების გამოყენება, რადგან დაბალი აქტივობის ცემენტის ხარჯი დიდია და თანაც იზრდება პერლიტბეტონის მასა. ასევე, პერლიტის ჰიდრაგლიკური აქტივობის გამო, არ არის სასურველი ჰიდრაგლიკურად აქტიურდამატებთან ცემენტების გამოყენება (მაგ. პუცოლანინი პორტლანდცემენტი). ამორფული კაჟმიწის სიჭარბემ შეიძლება პერლიტბეტონის არამდგრადობა გამოიწვიოს. ცხრილ 3.1-ში წარმოდგენილია B30 კლასის პორტლანდცემენტის საორიენტაციო ხარჯი 1 მ³ პერლიტბეტონისათვის.

ცემენტის ეკონომიისა და პერლიტის სტრუქტურის გაუმჯობესების მიზნით, მიზანშეწონილია, დუღაბის შედგენილობაში შეყვანილ იქნას ჩაუმქრალი ჰიდრატული კირი, ან კირ-პერლიტოვანი შემკვრელი არა უმეტეს 30%-ისა ცხრილ 3.1-ში მოყვანილი ცემენტის ხარჯიდან.

არმირებული პერლიტბეტონის დროს, ლითონის კოროზიისაგან დასაცავად, შემკვრელის საერთო ხარჯი უნდა შეადგენდეს არანაკლებ 250 კგ/მ³-ისა. ნახ. 3.4-ზე წარმოდ-

გენილია დუღაბისა და ბეტონის სიმტკიცის, B30 კლასის ცემენტის ხარჯზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

ცხრილი 3.1

B30 კლასის პორტლანდცემენტის საორიენტაციო ხარჯი 1 მ³ პერლიტბეტონზე

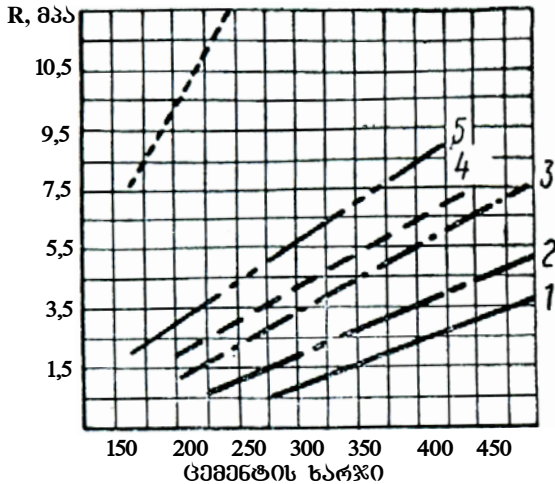
შემესები	შემესების მაქსიმალური სისხო, მმ-ში	ბეტონის კლასი, მპა							
		1,5	2,5	3,5	5	7,5	10	15	20
		ცემენტის ხარჯი კგ/მ ³							
ფარანის ადგილმდებარეობის პერლიტის ქვიშა და ღორღი	10	200	220	240	260	280	300*	450*	500*
	20	180	200	220	240	260	280*	400*	450*
ციმბირის ადგილმდებარეობის პერლიტის ქვიშა და ღორღი	10	220	240	270	300	330	350	—	—
	20	200	220	250	280	310	330	—	—

შენიშვნა: B40 კლასის პორტლანდცემენტის გამოყენების შემთხვევაში გადაწყვანი კოეფიციენტი შეიძლება ავილოთ 0,9-ის ტოლი, ხოლო B45 კლასის პე-ის დროს – 0,8.

B1 – B10 კლასის პერლიტბეტონების სიმტკიცე კუმშვაზე იზრდება ცემენტის ხარჯის ზრდის პროპორციულად. პორტლანდცემენტის ერთი და იგივე ხარჯისას დუღაბი უფრო დაბალი სიმტკიცით ხასიათდება კუმშვაზე, ვიდრე პერლიტბეტონი.

ცემენტის ხარჯის ზრდის შედეგად დუღაბების სიმტკიცე გაცილებით ნაკლებად იმატებს, ვიდრე პერლიტბეტონებისა: მაგალითად ცემენტის ხარჯის 100 კგ/მ³-ით გაზრდის დროს დუღაბების სიმტკიცე იმატებს 1,3–2,1 მპა-ით, ხოლო ბეტონებისა 1,5–3,8 მპა-ით. სიმტკიცის ყველაზე მეტი ზრდით გამოირჩევა პერლიტის დამსხვრეულ ქვიშაზე

დამზადებული ბეტონები: ცემენტის ხარჯის 100კგ/მ^3 -ით გადიდებით ბეტონის სიმტკიცე იზრდება 6,5 მპა-ით.



ნახ. 3.4. დუღაბისა და ბეტონის სიმტკიცის ცემენტის ხარჯზე დამოკიდებულების გრაფიკები

1 – დუღაბი ქვიშის მაქსიმალური სისხოთი 1,2 მმ; 2 – დუღაბი ქვიშის მაქსიმალური სისხოთი 2,5 მმ; 3 – დუღაბი ქვიშის მაქსიმალური სისხოთი 5 მმ; 4 – ბეტონი ღორღის მაქსიმალური სისხოთი 10მმ; 5 – ბეტონი ღორღის მაქსიმალური სისხოთი 20მმ; 6 – ბეტონი დამსხვრეულ ქვიშაზე, ღორღის მაქსიმალური სისხოთი 20მმ.

ცნობილია, რომ საქართველოში სილიკატური ბეტონებისა და ნაკეთობების დამზადება შეჩერებულია. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ახლო საზღვარგარეთის და ევროპის ქვეყნებში მათი წარმოება ფართო სპექტრით მიმდინარეობს. სილიკატური ბეტონებისა და ნაკეთობების დასამზადებლად იყენებენ ჰაერკირს.

ჰაერკირზე დამზადებული სამშენებლო დუღაბი და ბეტონი ხასიათდება დაბალი სიმტკიცით. 28 დღეღამის

შემდეგ იგი 0,5-1,5 მპა-ს შეადგენს. მდგომარეობა რადიკალურად იცვლება კირ-კაჟმიწა შემკვრელზე დამზადებული ბეტონების და ნაკეთობების ავტოკლაფური დამუშავებისას. 0,8-1,4 მპა წნევისა და 175-190°C ტემპერატურის ზემოქმედებისას კირი რეაქციაში შედის კაჟმიწა კომპონენტთან და წარმოიქმნება მტკიცე ჰიდროსილიკატები. ამ რეჟიმით ამზადებენ 10-30 მპა სიმტკიცის სილიკატურ და ფორიზებულ ბეტონებს. ავტოკლაფური სილიკატური მასალების დასამზადებლად იყენებენ სწრაფქრობად კირს, რომელიც მაგნიუმის ჟანგს შეიცავს არაუმეტეს 5%-ისა.

კირი არაჩვეულებრივი დანამატია პერლიტური ბათქაშებისათვის. განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია კომბინირებული ცემენტ-კირის შემკვრელები პერლიტბეტონების დასამზადებლად. საქართველოში საუკეთესო ხარისხის კირქვების მეტად დიდი მარაგებია. შესანიშნავი თვისებებით ხასიათდება დედოფლისწყაროს რაიონში არსებული კირქვები. მათი გამოწვით მიღებული ჰაერკირის ქიმიური შედგენილობა მოყვანილია ცხრილ 3.2-ში.

პერლიტბეტონებისა და პერლიტოვანი დუღაბების წარმოებაში ფართოდ გამოიყენება სამშენებლო თაბაშირი. კომპოზიციური თაბაშირიანი მჭიდები ხასიათდებიან მაღალი მდგრადობით წყლისა და ქიმიური რეაგენტების მიმართ. მათ რიცხვს მიეკუთვნება თაბაშირცემენტპუცოლანიანი,

კირის ქიმიური შედგენილობა

ქიმიური შედგენილობა %-ში							ჩაუქმქრ. ნაწილ.	ჩაქრობის სიჩქარე წთ	ჩაქრობის ტემპერატ., °C	ზოგადი სიმკვრივე კგ/მ ³	სიმკვრივე გ/სმ ³
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	სხვა დანარჩენი					
0,8	0,08	0,61	80	0,20	0,3	8,22	0,16-0,2	4-6	60-80	900-940	3-3,1
... 1,2	... 0,16	... 0,89	... 88	... 0,60	... 0,58	... 9,7					

თაბაშირკირიანი, თაბაშირპერლიტიანი, თაბაშირწიდა და სხვა მჭიდა მასალები.

თაბაშირის ცომი თაბაშირისა და წყლის დენადი ნარევი. მასში დამატებით შეჰყავთ ქვიშა და წვრილი შემესები (მინერალური და ორგანული). დიდი გამოყენება აქვს შემესებად პერლიტსაც. მათი გამყარებით მიიღება თაბაშირიანი ბეტონები.

თაბაშიროვან შემკვრელებზე დამზადებული ნაკეთობები ფართო გავრცელებას პოულობენ საშენ მასალათა მრეწველობაში. ეს გამოწვეულია ნედლეულის, თაბაშირის ქვის (ბუნებრივი ორწყლიანი თაბაშირი) დიდი მარაგით, წარმოების ადვილი ტექნოლოგიით, ნაკეთობების მაღალ-ესთეტიკური გამომსახველობით და შესანიშნავი საექსპლუატაციო თვისებებით.

თაბაშირის ნაკეთობების თვისებებია: ცეცხლმედეგობა, კარგი თბოიზოლაცია, დაბალი სითბოგამტარობა, დაბალი სიმკვრივე, დეფორმაციულობა, დაბალი თვითღირებულება; მეორე მხრივ, თაბაშირის ნაერთებს ახასიათებთ დაბალი წყალმედეგობა (მათი ექსპლოატაცია მიზანშეწონილია შენობებში, სადაც ტენიანობა არ აღემატება 60%-ს), დაბალი შეჭიდულობა არმატურასთან და შემესებთან. ამ შემთხვევაში უფრო რეკომენდებულია კომპოზიციური თაბაშირიანი შემკვრელების გამოყენება.

თაბაშირი შეუცვლელია სილიკატური და ჩვეულებრივი უჯრედოვანი ბეტონების დამზადების პროცესში. მისი

დამატებით იზრდება აირბეტონების და ქაფბეტონების ერთ-გვარობა, რაც ფრიად მნიშვნელოვანია ფორების წარმოქმნის პროცესში.

3.3. პერლიტბეტონის დასამზადებელი წყალი და ზედაპირულ-აქტიური დანამატები

ბეტონის ნარევის აღუღაბებისათვის გამოყენებული წყალი არ უნდა შეიცავდეს მავნე მინარევებს (მჟავებს, სულფატებს, ცხოველურ ცხიმებს, ზეთებს, შაქარს და სხვა), რომლებიც ხელს უშლიან ცემენტის შეკვრის და გამყარების პროცესს.

ბეტონის ნარევის ასაღუღაბებლად უპირატესად იყენებენ სასმელ წყალს. გარდა ამისა, გამოიყენება ბუნებრივი წყალი (მდინარეების, ბუნებრივი წყალსატევების), რომლის წყალბადური მანვენებელი $pH < 4$, ხოლო მინერალური მარილების შემცველობა არაუმეტეს 5000 მგრ/ლ-ზე, მათ შორის სულფატური მარილებისა < 2700 მგრ/ლ-ზე SO_4 -ზე გადაანგარიშებით.

დასაშვებია ზღვის წყლის გამოყენება მარილების შემცველობით არაუმეტეს 3,4%-ისა, ვინაიდან მარილები გამოდიან ბეტონის ზედაპირზე და ამავე დროს შეიძლება გამოიწვიონ არმატურის კოროზია. არ შეიძლება ჭაობის, საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე და სამრეწველო წყლის გამოყენება გაწმენდის გარეშე.

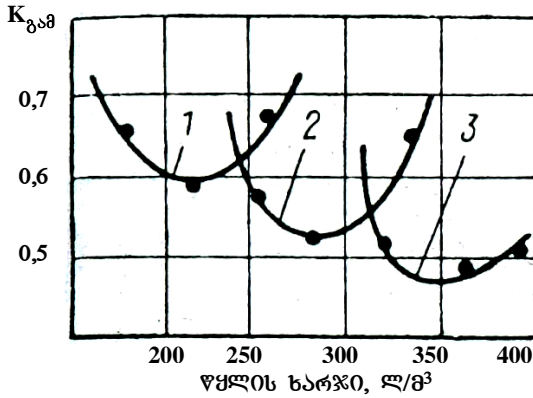
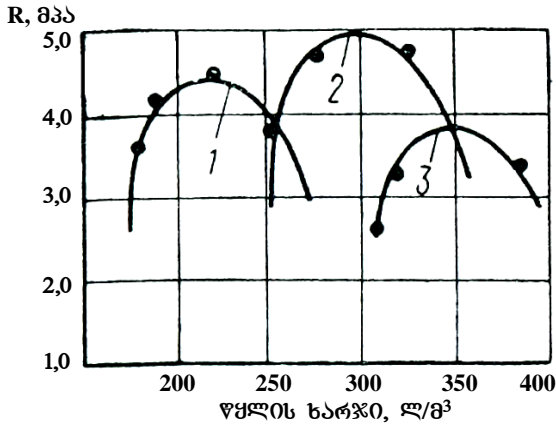
წყლის ხარჯის შერჩევას პერლიტბეტონებისათვის, მათი

მაღალი ჰიდროფობულობის გამო, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. წყლის წინასწარი, საორიენტაციო ხარჯი, ცემენტის დანიშნული ხარჯის მიხედვით, აიღება 250 ლ/მ³-ის ფარგლებში. ხოლო შემდგომ წყლის ოპტიმალურ ხარჯს საზღვრავენ ცდების საფუძველზე. ცემენტის ყოველი ხარჯისათვის გამოითვლება სამი ანარევი და ყოველი ანარევისათვის წყლის ხარჯებს შორის სხვაობა 10%-ია. წყლის ოპტიმალური ხარჯი მერყეობს 260 – 320 ლ/მ³-ის ფარგლებში.

კარპატის და ამიერკავკასიის აფუებულ პერლიტზე დამზადებული ბეტონები გამოირჩევიან გაზრდილი წყალმთხოვნით. ოპტიმალურთან შედარებით 10%-ით წყლის ხარჯის შემცირება იწვევს ბეტონის სიმტკიცის კლებას 20%-ით. ნარევის წყალმთხოვნა დამოკიდებულია შემესების გრანულომეტრულ შედგენილობაზე: რაც უფრო წვრილია შემესები, მით მეტია წყლის ხარჯი (ნახ. 3.5.).

ერთნაირი გრანულომეტრული შედგენილობის პერლიტბეტონების ასადუღაბებლად საჭირო წყლის ოპტიმალური რაოდენობა, რომელიც უზრუნველყოფს მაღალ სიმტკიცეს, ცემენტის ხარჯის ზრდის დროს 150-დან 500 კგ/მ³-მდე, პრაქტიკულად არ იცვლება.

ბოლო ხანებში სხვადასხვა უცხოური კომპანიების მიერ ჩვენს ქვეყანაში შემოტანილია დიდი რაოდენობის სხვადასხვა სახის დანამატები. მათ შორის აღსანიშნავია სუპერ და ჰიპერ მაპლასტიფიცირებელი დანამატები. ეს



ნახ. 3.5. ბეტონის სიმტკიცის და გამოსაფლიანობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება წყლის ხარჯზე და ბეტონის გრანულომეტრულ შედგენილობაზე

1 - ფრაქცია 10 - 20 მმ - 60%, ფრაქცია 5 - 10 მმ - 40%;
 2 - ფრაქცია 10 - 20 მმ - 35%, ფრაქცია 5 - 10 მმ - 20%,
 ფრაქცია 1,2 - 5 მმ - 10%, ფრაქცია 0 - 1,2 მმ - 35%;
 3 - ფრაქცია 1,2 - 5 მმ - 60%, ფრაქცია 0 - 1,2 მმ - 40%.

ნაერთები ზრდიან ბეტონის ნარევის ძვრადობას და აუმჯობესებენ მის სამშენებლო-ტექნიკურ თვისებებს. მაპლასტიფიცირებელი დანამატები ძირითადად წარმოად-

გენენ სინთეზურ პოლიმერულ ნაერთებს, რომლებიც შეჰყავთ ბეტონში 0,2-1,5%-ის ოდენობით ცემენტის მასიდან. მათი მოქმედება განისაზღვრება 1-2 საათით, რის შემდეგაც ისინი განიცდიან დესტრუქციას და გადადიან ცემენტისათვის უვნებელ ნაერთებში, რომლებიც ხელს არ უშლიან გამყარების პროცესს. მაკლასტიფიცირებელი დანამატების გამოყენებით მიიღება მაღალი სიმტკიცის ბეტონები (60 – 80 მპა), ადვილდება ნაკეთობის დაყალიბება და ცემენტის ხარჯი მცირდება 20%-მდე.

ზოგიერთი მკვლევარი მიიჩნევს, რომ მაკლასტიფიცირებელი დანამატების შეყვანა ბეტონის ნარევიში მნიშვნელოვნად ამცირებს ბეტონის კაპილარული შეკვლების სიდიდეს, რაც მეტად მნიშვნელოვანია პერლიტბეტონებისათვის. ეს დანამატები საშუალებას იძლევა წყლის შემცირების ხარჯზე შემცირდეს ცემენტის ხარჯი ან ცემენტის იგივე რაოდენობის გამოყენებით შემცირდეს V/C -ის ფარდობა, შესაბამისად გაიზარდოს სიმტკიცე, შეუღწევადობა და ყინვაძეგობა.

დახარისხებული აფუებული პერლიტის დოზირება უნდა მოხდეს ფრაქციების მიხედვით – 0-1,2 მმ (წვრილი ქვიშა), 1,2-5 მმ (მსხვილი ქვიშა), 5-10 მმ (წვრილი ღორღი) და 10-20 მმ (მსხვილი ღორღი) მასითი დოზატორებით. პერლიტბეტონის ნარევის მომზადებისას აფუებული პერლიტის ტენიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 4%-ს მასის მიხედვით.

საწარმოო პირობებში ხშირად გამოიყენება დაუფრაქ-

ციებელი პერლიტის ქვიშა და ღორღი, რომელთა ტენიანობა დადგენილი არ არის. რაც აუარესებს პერლიტბეტონის ერთგვარობას.

ზამთარში პერლიტის გათბობა, ბეტონში გამოყენების წინ აუცილებელი არ არის. იმისათვის, რომ ბეტონის ნარევის ტემპერატურა 10°C -ის ფარგლებში შევინარჩუნოთ, საკმარისია გამოვიყენოთ 70°C -მდე გაცხელებული წყალი.

პერლიტბეტონის ნარევს ამზადებენ იძულებითი მოქმედების ხსნარსარევეებში. გრავიტაციული არევის ბეტონსარევეებში პერლიტბეტონის ნარევის მომზადება არ არის მიზანშეწონილი ნარევის დაბალი ძვრადობის, შემკვსებების ზედაპირების სიმჭისისა და დიდი წყალშთანთქმის გამო.

პერლიტბეტონის ნარევის მომზადების ხანგრძლივობა შეადგენს 3–3,5 წთ-ს, მშრალი კომპონენტების არევა – 1,5 წუთი, არევა წყლის დამატების შემდეგ – 1,5–2 წთ.

3.4. პერლიტბეტონის ნაკეთობების დაყალიბება და გამყარება

პერლიტბეტონის ნაკეთობების დაყალიბების დროს იყენებენ ვიბროშემკვრივების და ვიბროდაჯორგვის მეთოდს, რაც უზრუნველყოფს ნარევის საუკეთესო შემკვრივებას, ხელს უშლის მის განშრევებას, ქმნის ერთგვაროვან სტრუქტურას სიმტკიცისა და ზოგადი სიმკვრივის თვალსაზრისით, მთელს ნაკეთობაში. გარდა ამისა, ვიბროდაჯორ-

გვის გამოყენება უზრუნველყოფს საპროექტო სიმტკიცეს, შემგვების გრანულების მაქსიმალური მიახლოების ხარჯზე ამცირებს ბეტონის საკუთარ მასას. პერლიტის შემგვები ნარევის ყველაზე უფრო მსუბუქი მდგენელია. მცირდება აგრეთვე ცემენტის ქვით შევსებული მარცვალთშორისი სივრცე.

პერლიტბეტონის ნაკეთობების ხარისხის გასაუმჯობესებლად მიზანშეწონილია მოვახდინოთ ნარევის მოცულობითი დოზირება და მისი ჩაწყობა განვახორციელოთ ვიბროსაცმით.

თანამედროვე პირობებში პერლიტბეტონის და შერეული მსუბუქი ბეტონის (კერამზიტპერლიტბეტონი, აგლოპორიტპერლიტბეტონი და სხვ.) ნაკეთობებს ამზადებენ სტენდური ან ნაკადურ-კონვეიერული ტექნოლოგიით. ერლიტბეტონის პანელები მზადდება ზომებით 3,2X2,7X0,32 მ; კერამზიტპერლიტბეტონისა – 6,4X2,7X0,32 მ. პერლიტბეტონის პანელებისათვის გამოიყენება აფუებული პერლიტის ღორღი ნაყარი სიმკვრივით 300 კგ/მ³, ქვიშა-250კგ/მ³ და B30 კლასის პორტლანდცემენტი; ხოლო კერამზიტპერლიტბეტონისათვის – კერამზიტი ზოგადი სიმკვრივით 550-640 კგ/მ³, პერლიტის ქვიშა 170 კგ/მ³ და B40 კლასის პორტლანდცემენტი.

ფორიანი შემგვებების დოზირება მოცულობის მიხედვით მიმდინარეობს შემდეგნაირად: ჯერ ურევენ ნარევის კომპონენტებს მშრალად იძულებითი მოქმედების ბეტონსარეგებში, შემდეგ უმატებენ წყალს და არევის დამთავ-

რებისთანავე ნარევი გადააქეთ ბეტონჩამწყოში; იქიდან კი საყალიბე ლენტური ტრანსპორტორით, ლენტის მთელ სიგანეზე თანაბარი განაწილებით, ერთდროული ვიბრირებით და შემკვრივებით, მიეწოდება ყალიბებს (50 ჰერცი სიხშირე). ნაკეთობების თბოტენიანი დამუშავება მიმდინარეობს 100°C ტემპერატურაზე 4–5 საათის განმავლობაში.

ცხრილ 3.3-ში მოცემულია მასალების ფაქტიური ხარჯი 1 მ³ ბეტონზე. საწარმოო პირობებში პერლიტბეტონის და შერეულ შემესებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონების ნაკეთობების გასამყარებლად იყენებენ გასაორთქლ კამერებს. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ აფუებული პერლიტის შემესებებზე დამზადებული ბეტონები შეიცავენ დიდი რაოდენობით წყალს და ამიტომ, მიზანშეწონილია ჩატარდეს ჯერ ნაკეთობების შრობა ტენიანობის შესამცირებლად და შემდეგ თბური დამუშავება. აღსანიშნავია, რომ 80°C-ზე დაბალ ტემპერატურაზე ნაკეთობათა გაორთქელისას ისინი გამოდიან მაღალი ტენიანობით, ხოლო 100°C-ზე მაღალი ტემპერატურა ნაკეთობის ზედაპირის რღვევას იწვევს, რადგან წყალი ზედა შრეებში იწყებს დუღილს. ამიტომ თბური დამუშავების წინ ნაკეთობა საჭიროა დავაყონოთ 1,5–2 საათით. ამ პერიოდში მიმდინარეობს ცემენტის მინერალების ჰიდროლიზი და ნაკეთობის ნაწილობრივი შრობა.

საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებულ იქნა გამოკვლევები პერლიტბეტონის გამყარების დაჩქარებისა, ელექტროგახურების მეთოდით.

მასალების ფაქტიური ხარჯი 1 მ³ ბეტონზე

ნარევის შემადგენლები	პ ა ნ ე ლ ი	
	კერამზიტპერლიტ-ბეტონზე	პერლიტბეტონზე
კერამზიტი ლ-ში ფრაქცია 10-20 მმ	520	—
ფრაქცია 5-10 მმ	530	—
პერლიტი ლ-ში ფრაქცია 10-20 მმ	—	650
ფრაქცია 5-10 მმ	—	320
პერლიტის ქვიშა ფრაქცია 0-5 მმ	520	630
ცემენტი კგ-ში	262	280
წყალი ლ-ში	210	250

B3,5 კლასის პერლიტბეტონის ნიმუშები (პანელები ზომით 150X150X35 სმ) დამზადებულ იქნა ფარანის ადგილმდებარეობის პერლიტზე და გამყარებულ იქნა ელექტროგახურების მეთოდით. თანაბარზომიერი ელექტროგახურების მიზნით, ნაკეთობის ზედაპირებზე ათავსებდნენ დამსხვრეულ ქვანახშირის კოქსს ($d = 2-3$ სმ), რომელიც დასველებული იყო კალციუმის ქლორიდით. ელექტროდებად გამოიყენებოდნენ ყალიბის ფსკერი და პანელში განთავსებული არმატურის ბადე. დაყალიბებიდან 2 საათის შემდეგ, პანელებს ახურებდნენ ცვლადი დენით 5-6 საათის განმავლობაში, 60–127 ვოლტი ძაბვის ქვეშ. ძაბვას თანდათანობით უმატებდნენ ბეტონის თანაბარზომიერი გახურების მიზნით.

228 კგ/მ³ ცემენტის ხარჯის დროს ელექტროგახურების მეთოდით მიიღება B5 კლასის პერლიტბეტონი, რომლის

ზოგადი სიმკვრივეა 1110 კგ/მ³. პროცესის დამთავრების შემდეგ ბეტონის ტენიანობა მასის მიხედვით შეადგენს 11%-ს (ნიმუშების ორთქლით დამუშავებისას ტენიანობა არის 20-25%).

ვლადივოსტოკში დამუშავებული ელექტროგახურების მეთოდის მიხედვით, პერლიტბეტონის გაცხელება ხდება 220 ვოლტი ძაბვის ქვეშ, 300 ამპერი დენის ძალის მქონე ელექტროდენით. ბეტონის გახურების ტემპერატურა შეადგენს 90-100⁰C-ს, ხოლო გახურების დრო – 30-60 წთ-ს; ელექტროენერჯის ხარჯი შეადგენს 30-40 კვტ.სთ/მ³-ს. ელექტროდებად გამოყენებულია ყალიბის ფსკერი და პანელის არმატურის ბადე. ამგვარი თერმოდამუშავებისას, ზემოთ მოყვანილ მეთოდთან შედარებით, მცირდება გახურების დრო და უკეთ გამოიყენება საამქროს საწარმოო ფართობი პანელების ელექტროგახურების პაკეტური მეთოდის გამო. თუმცა ვლადივოსტოკის მეთოდის გამოყენება, ადგილობრივად გაცხელების გამო, შეზღუდულია პანელების კარკასული არმირების დროს.

ჩრდილოეთის ქვეყნებში დამუშავებულია პერლიტბეტონის ნაკეთობების მიღება ცხელი დაყალიბებით. საცდელი ნიმუშები დამზადებულ იქნა ზომებით 10X10X10 სმ, სულ 145 კუბი. ნიმუშები ერთმანეთისაგან განსხვავდებოდნენ შემდგომის გრანულომეტრული შედგენილობით, ცემენტისა და წყლის ხარჯით. ცემენტის კლასია B40; პერლიტბეტონის სიმტკიცის და ზოგადი სიმკვრივის თბური დამუშავების მეთოდზე დამოკიდებულების შესწავლის მიზნით, ნიმუშების

ნაწილი დამზადებულ იქნა ცხელი დაყალიბებით 220 და 380 ვოლტი ძაბვის ზემოქმედების ქვეშ, ხოლო საკონტროლო ნიმუშები კი – ორთქლდამუშავებით (1000 გრად/სთ).

220 ვოლტი ძაბვის და 10-12 ამპერი დენის ძალის დროს პერლიტბეტონის ნარევის გახურების დრო შეადგენდა 5-6 წთ-ს. 380 ვოლტი ძაბვისას 90⁰C-მდე ტემპერატურის აწევის დრო შეადგენდა 1,5-2,5წთ-ს. უმეტეს შემთხვევებში, ტემპერატურის აწევა მეორე წუთზე იწვევდა ბეტონის მასაში არსებული წყლის ადუღებას და ტენის ძალიან სწრაფ აორთქლებას.

250-300 კგ/მ³ ცემენტის ხარჯისას ცხელი დაყალიბების და გაორთქვლის მეთოდით დამზადებული ნიმუშების სიმტკიცეები თითქმის ერთნაირია. ცემენტის გაზრდილი ხარჯისას ცხელი დაყალიბებით გამყარებული ნიმუშების სიმტკიცეები რამდენადმე ნაკლები იყო, ვიდრე გაორთქლილი ნიმუშებისა; ზოგადი სიმკვრივეები კი თითქმის ერთნაირია.

მიუხედავად იმისა, რომ ცხელი დაყალიბების საცდელ ნიმუშებში ასაღუდაბებელი წყლის ოდენობა 10–20%-ით მეტია, ვიდრე საკონტროლო ნიმუშებში, ერთი დღე-ღამის ასაკში მათი ტენიანობები თითქმის ერთნაირია, რადგან ბეტონის გახურების და ჩაწყობის დროს ცხელი დაყალიბების მეთოდით ტენის ნაწილი ორთქლდება.

მოსკოვის ბეტონისა და რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში დამუშავებულია ელექტროგახურებით

პერლიტბეტონის გამყარების დაჩქარების ოპტიმალური რეჟიმები. კვლევები ტარდებოდა M50–100 მარკის ნიმუშებზე, რომელთა ზოგადი სიმკვრივე მერყეობდა 900–1100 კგ/მ³-ის ფარგლებში.

დადგენილია, რომ 95–98⁰C-ზე 2 საათის განმავლობაში ელექტროგახურების და 8-10 საათის გაცივების შემდეგ, გამოცდილი ნიმუშების სიმტკიცემ შეადგინა საპროექტოსამარკო სიმტკიცის 70-80%. ნიმუშების ელექტროგახურებამ 6 საათის განმავლობაში შეამცირა პერლიტბეტონის სიმტკიცე მისი გამომშობის გამო. პერლიტბეტონის ტენიანობა ელექტროგახურების შემდეგ 20–30%-ით ნაკლებია, ვიდრე გაორთქლილი ნიმუშებისა.

ელექტროგახურების დროს, ტემპერატურის ძალზე ნელი აწევისას, პერლიტბეტონის გაფართოება შეადგენს $6-12 \times 10^{-6}$; ამ დროს იქმნება ხელსაყრელი პირობები ბეტონის სტრუქტურის ჩამოყალიბებისათვის.

ამგვარად, პერლიტბეტონის სტრუქტურის რღვევის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია ან ტემპერატურის მდორე, თანდათანობითი აწევა, ან ელექტროგახურების დაწყებამდე წინასწარი დაყოვნება. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ პერლიტბეტონის ნარევის წინასწარი გახურებით მნიშვნელოვნად მცირდება დეფორმაციები, ასევე გამოირიცხება ადგილობრივი გადახურებებები და ტემპერატურული გადამეტბებები ნაკეთობებში.

თაზო IV

პერლიტბეტონის და პერლიტის ძვირფასე დამზადებული შერეული ბეტონების ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები

ვეროპისა და ახლო საზღვარგარეთის რამოდენიმე წამყვან ინსტიტუტში ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების შემდეგ, აფუებული პერლიტის ბაზაზე, შექმნილია მსუბუქი ბეტონების (პერლიტბეტონი, კერამზიტპერლიტბეტონი, წიდაპერლიტბეტონი, სეპარირებული პერლიტბეტონი და სხვ.) სახეობები, შესწავლილია მათი თვისებები და განსაზღვრულია საანგარიშო მახასიათებლები.

მსუბუქ ბეტონებს შორის მინიმალური ზოგადი სიმკვრივით გამოირჩევა აფუებული პერლიტის ქვიშაზე და ღორღზე დამზადებული პერლიტბეტონები (იხ. ცხრილი 4.1).

ცხრილი 4.1

პერლიტბეტონების და პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული შერეული ბეტონების ზოგადი სიმკვრივები

ბეტონის მარკა კუმშვაზე სიმტეხის მიხედვით, მპა	მსხვილი შემესების ნაყარი სიმკვრივები კგ/მ ³					
	პერლიტის ღორღი		კერამზიტის ხრეში		მულკანური წილის და პემზის ღორღი, ნაკლები 600 კგ/მ ³	წილის პემზის, აგლომორიტის და ტუფის ღორღი, მეტი 600 კგ/მ ³
	400-ზე ნაკლები	400-ზე მეტი	500-ზე ნაკლები	500-ზე მეტი		
3,5	600	800	700	950	1000	1200
5,0	700	900	800	1100	1100	1200
7,5	800	1000	900	1150	1200	1400
10,0	1000	1100	1100	1200	1400	1500

მსუბუქ ბეტონებს უფრო ხშირად იყენებენ შემომზღუდავ კონსტრუქციებში, სადაც ზოგად სიმკვრივეს გადამწყვეტი როლი აკისრია. აფუებული პერლიტის ქვიშა კი ყველაზე მსუბუქია, ხელოვნურ და ბუნებრივ ფორიან ქვიშებს შორის და მისი გამოყენება სხვა სახის ფორიან ღორღთან ერთად მიზანშეწონილია ნაკეთობის მასის შესამცირებლად.

4.1. პერლიტბეტონის ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები

წინა საუკუნის შუა წლებიდან საბჭოთა კავშირში პირველად, კავკასიის ადგილმდებარეობის პერლიტის აფუებულ ქვიშაზე და ღორღზე, მიღებულ იქნა პერლიტბეტონი. ამის შემდეგ ყოფილი საბჭოთა კავშირის სხვადასხვა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებულ იქნა მრავალრიცხოვანი კვლევები და დამზადებულ იქნა სხვადასხვა შედგენილობის პერლიტბეტონები. მათ შორის თბილისის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, მბრუნავ ღუმელში აფუებულ ფარანის პერლიტის ღორღსა და ქვიშაზე, მიღებული იქნა მაღალი ხარისხის პერლიტბეტონი.

პერლიტბეტონის საცდელ ანარეგებს ამზადებდნენ ლაბორატორიულ დუღაბსარეგებში. აყალიბებდნენ კუბის ფორმის ნიმუშებს ზომებით 10X10X10, 15X15X15 და 20X20X20 სმ და პრიზმებს ზომებით 10X10X40, 15X15X60 და 20X20X80 სმ.

გამყარების დასაჩქარებლად ნიმუშებს ორთქლავდნენ შემდეგი რეჟიმით: წინასწარი დაყოვნება – 2-3სთ, ტემპერატურის აწვევა 80-95⁰C-მდე – 2-3სთ, იზოთერმული დამუშავება – 8-10სთ, ტემპერატურის დაწვევა – 2-3სთ. გაორთქვლის შემდეგ ნიმუშების სიმტკიცე შეადგენდა საბოლოო სიმტკიცის 80-90%-ს.

გამოკვლეულ იქნა პერლიტბეტონის ძირითადი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები ხანმოკლე სტატიკური და დინამიკური, ასევე ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვების დროს.

კუბური სიმტკიცე. პერლიტბეტონის საკვლევი ნიმუშები გამოცდილ იქნა 28 დღის და უფრო მეტი ხნის ასაკში, გაორთქვლის შემდეგ, მოქმედი სტანდარტის შესაბამისად.

კუბების გამოცდის შემდეგ მიღებულ იქნა სიმტკიცის გადამყვანი კოეფიციენტების სხვადასხვა მნიშვნელობები; კერძოდ: 10X10X10 სმ ზომის კუბების სიმტკიცის გადამყვანი კოეფიციენტები 20X20X20 სმ ზომის კუბების სიმტკიცის მიმართ, შეადგენდა 0,87-ს; 15X15X15 სმ-დან 20X20X20სმ-ზე შეადგენდა 0,94-ს, ხოლო 10X10X10 სმ-დან 15X15X15 სმ-ზე კი 0,91-ს.

კუბური სიმტკიცე დროთა განმავლობაში იზრდება. მაგალითად, ორი წლის შემდეგ სიმტკიცის ზრდა მერყეობდა 9–27%-ის ფარგლებში. ხოლო ცემენტის მომეტებული ხარჯით გამორჩეული ნიმუშები სიმტკიცის უფრო ინტენსიური ზრდით ხასიათდებიან.

3,5–7,5 მპა სიმტკიცის, ცემენტის უმცირესი ხარჯით დამ-

ზადებული ნიმუშების მაქსიმალური ზოგადი სიმკვრივე შეადგენდა 600–800 კგ/მ³-ს.

პრიზმული სიმტკიცე. გამოკვლევებით დაგენილია, რომ პერლიტბეტონის პრიზმული სიმტკიცე სამშენებლო ნორმებში მოყვანილზე მეტია. მაგალითად, თბილისის ექსპერიმენტული დაპროექტების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემების მიხედვით, 5–20 მპა კუბური სიმტკიცის დროს $R_p/R_{პრ}$ შეადგენს 0,68-0,97-ს, ხოლო საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული კვლევებით – $R_p=3-11$ მპა კუბური სიმტკიცის დროს $R_p/R_{პრ}=0,72-1,06$ (საშუალოდ 0,89), მაშინ როცა სამშენებლო ნორმებში მოყვანილია $R_p/R_{პრ}=0,8$.

პრიზმებში პირველი ბზარები წარმოიქმნებიან მრღვევი დატვირთვიდან დაახლოებით 0,9 $R_{გრ}$. მნიშვნელობების დროს. ბზარებს უმეტესად ვერტიკალური მიმართულება გააჩნიათ. მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში არიან ისინი დახრილნი ვერტიკალური ღერძის მიმართ. პერლიტბეტონის პრიზმების რღვევის ხასიათი მეტყველებს იმაზე, რომ განივი მიმართულებით ბეტონის წინაღობის უნარი ამოწურულია.

შემგსების გრანულომეტრული შედგენილობა, ცემენტისა და წყლის ხარჯი მნიშვნელოვან გავლენას ვერ ახდენენ $R_{პრ}/R_{კუბ}$. ფარდობაზე.

სხვადასხვა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში სიმტკიცეები გაჭიმვისას განსაზღვრულია რვიანის ტიპის ნიმუ-

შებზე (სიმაღლე 76 სმ, კვეთი 10X10სმ), ცენტრალურად მოდებული დატვირთვით და ღუნვაზე ძელაკებზე ზომებით 15X15X55 და 15X15X120მმ.

მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში გამოსცადეს რვიანის ტიპის ნიმუშები ცენტრალურ გაჭიმვაზე და სტანდარტული, 10X10X40 სმ ზომის ძელაკები ღუნვაზე. რვიანების და ძელაკების ცენტრირება ხდებოდა დატვირთვაზე, რომელიც შეადგენდა მრღვევი ძალის 20%-ს. ნიმუშებს ტვირთავდნენ საფეხურებრივად, 0,1P_{მრღ} დატვირთვით და აჩერებდნენ თითოეულ საფეხურზე 5-6 წუთის განმავლობაში.

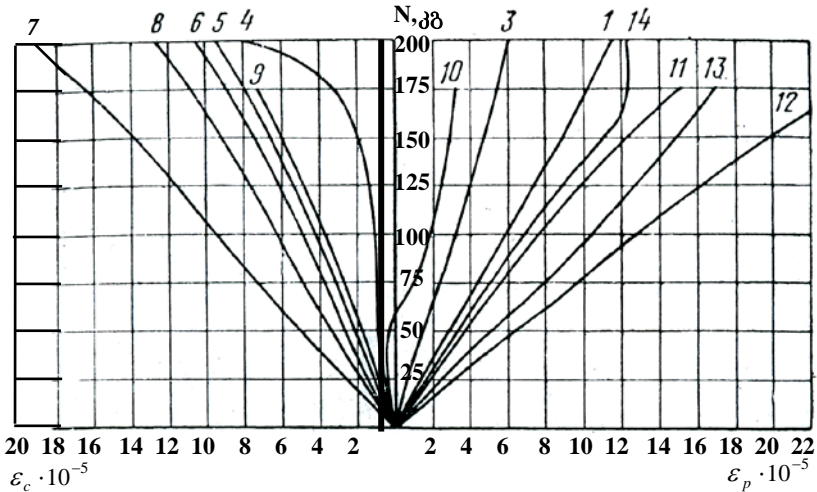
50-100 მარკის პერლიტბეტონებისათვის სიმტკიცეები გაჭიმვაზე ღუნვაზე მერყეობდა 0,62-1,07 მპა-ის ფარგლებში. მაქსიმალური სიმტკიცე მიღებულ იქნა 15X15X55 სმ ზომის ძელაკების გამოცდისას.

50-150 მარკის პერლიტბეტონების ღერძული გაჭიმვის დროს სიმტკიცემ შეადგინა 0,32-0,64 მპა.

ნახ. 4.1-ზე მოცემულია კუმშვისა და გაჭიმვის დეფორმაციების ძახვებზე დამოკიდებულების გრაფიკები, პერლიტბეტონის ღუნვისას.

რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული კვლევების მონაცემებით, პერლიტბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე მკვეთრად განსხვავდება ნორმატული საგან და შეადგენს საშუალოდ მის 50%-ს. სხვა ინსტიტუტებში ჩატარებული ექსპერიმენტების მიხედვით 10 მპა და უფრო

ნაკლები მარკის პერლიტბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ნორმატიულის 65%-ია, ხოლო 15 მპა და უფრო მეტი მარკის პერლიტბეტონებისა კი თითქმის ნორმირებულის ტოლია.



ნახ. 4.1. კუმშვისა და გაჭიმვის დეფორმაციები პერლიტბეტონის ღუნვისას
1 - 14 ტენზოგადამწოდების ნომრები

სანმოკლე დატვირთვების დროს განვითარებული დეფორმაციები. გრძივი დეფორმაციები კუმშვისას განისაზღვრა პრიზმულ ნიმუშებზე, საფეხურებრივი დატვირთვებისას (0,1 მრღვევი დატვირთვიდან), ხუთ-ხუთი (ექსპერიმენტული დაპროექტების ზონალური სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემები) და 6-6 (რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მიხედვით) წუთი დაყოვნებით თითოეულ საფეხურზე. პერლიტბეტონის დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციები ექსპერიმენტული დაპროექ-

ტების ზონალურ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში გაზომილია ელექტროტენზოგადამწოდებით, ხოლო რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ინდიკატორებით.

ექსპერიმენტული დაპროექტების ზონალური სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის კვლევებით, დრეკადი და მთლიანი დეფორმაციების ფარდობა შეადგენს 0,82-0,9, ხოლო რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემებით – 0,86-ს. ზღვრული ჭიმვადობა ცენტრალური კუმშვისას – შესაბამისად $2,3 \times 10^{-3}$ და $1,8 \times 10^{-3}$. გარდა ამისა, ელექტროტენზოგადამწოდებმა საშუალება მოგვცა დაგვეფიქსირებინა, დატვირთვასთან ძალზე ახლოს მდგომი ძაბვები და დეფორმაციები. მიღებული მონაცემები წარმოადგენენ უტყუარ მტკიცებულებას იმისას, რომ პერლიტბეტონი, ისევე როგორც სხვა მსუბუქი ბეტონები, წარმოადგენენ დრეკად-პლასტიკურ ტანებს.

კუმშვისას დრეკადობის საწყისი მოდული განისაზღვრება დატვირთვის დრეკად სტადიაში, 20%-ზე მრღვევი დატვირთვიდან.

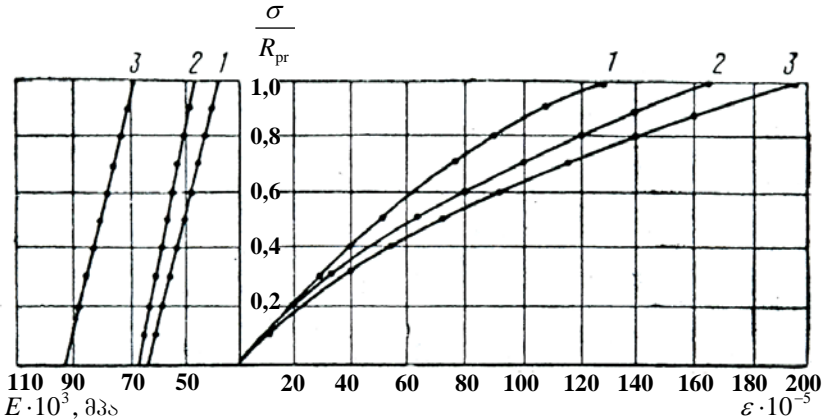
ნახ. 4.2-ზე წარმოდგენილია დრეკადობის მოდულისა და დეფორმაციების ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკები 5, 7,5 და 10 მპა სიმტკიცის პერლიტბეტონებისათვის.

ნახაზებიდან ნათლად ჩანს, რომ დატვირთვის გაზრდით მცირდება დრეკადობის მოდული, რადგან იზრდება ბეტონის ფარდობითი დეფორმაცია. 5–10 მპა სიმტკიცის პერლიტ-

ბეტონების საწყისი დრეკადობის მოდული შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით:

$$E_g = 500(R_{კუბ.} + 50) \text{ მპა};$$

დრეკადობის მოდულის ამ ფორმულით განსაზღვრული მნიშვნელობა ემთხვევა ექსპერიმენტულად მიღებულს; საშუალო კვადრატული გადახრა შეადგენს 14%-ს. სამშენებლო ნორმებში მოყვანილი საშუალო კვადრატული გადახრა შეადგენს 3,7–8,6%-ს.



ნახ. 4.2. კუმშვის დეფორმაციისა და დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულების გრაფიკები
1 – მარკა 5 მპა; 2 – მარკა 7,5 მპა; 3 – 10 მპა

10 მპა-ზე ნაკლები სიმტკიცის პერლიტბეტონებისათვის, მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული კვლევების მიხედვით, დაფქული ქვიშების შემთხვევაში დრეკადობის საწყისი მოდული შეადგენს ნორმატულის 0,9–0,85-ს, ხოლო 180 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის, შახტურ ღუმელში გამომწვარ მსუბუქ ქვიშაზე დამზადებული პერლიტბეტონებისათვის – 0.65-ს.

სამშენებლო კონსტრუქციების ცენტრალური სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემებით, ცემენტ-პერლიტის და კირ-პერლიტის შემკვრელზე დამზადებული, 10 მპა-ზე ნაკლები სიმტკიცის პერლიტბეტონებისათვის, საწყისი დრეკადობის მოდული ნორმატულს უტოლდება, ხოლო 10 მპა-ზე მეტი სიმტკიცის ბეტონებისათვის 25–30%-ით მეტია ნორმატულზე.

თბილისის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემებით, 5–15 მპა სიმტკიცის ფარანის აფუებულ პერლიტზე დამზადებული ბეტონებისათვის დრეკადობის საწყისი მოდული შეადგენს ნორმატული მაჩვენებლის 80%-ს.

ამგვარად, ერთი და იგივე სიმტკიცის პერლიტბეტონების საწყისი დრეკადობის მოდულის გადახრა ნორმატული მაჩვენებლისაგან 10–30%-ს არ აღემატება და მისი სიდიდე დამოკიდებულია პერლიტის ქვიშისა და ღორღის სისხოზე, ფორიანობაზე და სიმტკიცეზე.

პუასონის კოეფიციენტი განსაზღვრულ იქნა პრიზმული ნიმუშების კუმშვისას მრღვევი დატვირთვის 20% მნიშვნელობების დროს (პრიზმული სიმტკიცე <10 მპა):

- სამშენებლო კონსტრუქციების ცენტრალური სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემებით - 0,16–0,26;
- თბილისის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემებით - 0,21–0,26;

– მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტის მონაცემებით – 0,17–0,36.

დრეკადობის მოდული და გრძივი დეფორმაციები განსაზღვრულ იქნა ღერძულ გაჭიმვაზე წინასაწარ ცენტრირებულ ნიმუშებზე მრღვევი დატვირთვის 20%-იანი მნიშვნელობების დროს.

მრღვევთან ახლომდებარე დატვირთვებზე დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების ფარდობა სამშენებლო კონსტრუქციების ცენტრალური სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის და თბილისის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემებით შეადგენს 0,85 და 0,81, ხოლო ზღვრული ჭიმვადობა $8,4-11,2 \times 10^{-5}$ და 12×10^{-5} შესაბამისად.

5–7,5 მარკის პერლიტბეტონების დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას მერყეობს 4000 – 5000 მპა-ს ფარგლებში.

5-20 მარკის პერლიტბეტონების ზღვრული კუმშვადობა საშენი მასალების ინსტიტუტის მონაცემებით არის $2,5 \times 10^{-3}$, ხოლო ზღვრული ჭიმვადობა $2,6 \times 10^{-4}$. ეს მონაცემები სხვა მსუბუქი ბეტონების (კერამზიტბეტონი, თერმოლიტბეტონი და სხვ.) ანალოგიურ მონაცემებთან შედარებით გაცილებით უკეთესია.

კერამზიტპერლიტბეტონი. პირველად კერამზიტპერლიტბეტონი დამუშავდა და მისი თვისებები შესწავლილ იქნა 20 საუკუნის მეორე ნახევარში კიევის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში. შემდგომ უკვე პერლიტ-

ბეტონის თვისებები გამოიკვლიეს აგრეთვე მოსკოვის რკინაბეტონის ცენტრალურ სამეცნიერო-კვლევით და ექსპერიმენტული დაპროექტების ცენტრალურ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტებში.

ექსპერიმენტებში გამოიყენებოდა შემდეგი მასალები:

კოევის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში – ქერჩის კერამზიტის ღორღი ფრაქციით 5-10 მმ, ზოგადი სიმკვრივით – 706 კგ/მ³; ღორღი ფრაქციით 10-20 მმ, ზოგადი სიმკვრივით 569 კგ/მ³; ღორღი ფრაქციით 20-40 მმ, ზოგადი სიმკვრივით 464 კგ/მ³ (ცხრილი №4.1., №1–10); მბრუნავ ღუმელში აფუებული იმიერკარპატის პერლიტის ქვიშა ფრაქციით 0–5მმ, ზოგადი სიმკვრივით 200 კგ/მ³ და შახტურ ღუმელში აფუებული იგივე პერლიტის ქვიშა 170 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივით (№4–9, ცხრილი 4.2.)

მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში – ლიანოზოვის კერამზიტი 415, 530, 570 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივით (№11–15, №16 და №17,18 შესაბამისად); ასევე შახტურ ღუმელებში აფუებული მსხვრეული პერლიტის ქვიშა, სიმკვრივით 540 კგ/მ³ (№115,16, 19 და 20).

ექსპერიმენტული დაპროექტების ცენტრალურ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში - ლიანოზოვის კერამზიტი ფრაქციით 10–20 მმ, 330-390 კგ/მ³, 5-10 მმ, 270-320 კგ/მ³ (№ 21-23); მბრუნავ ღუმელში აფუებული პერლიტის ქვიშა, ზოგადი სიმკვრივით 280-300 კგ/მ³.

შემკვერელად გამოყენებულ იქნა 500 და 600 მარკის პორტლანდცემენტები.

შესწავლილი იქნა 3,5-20 მპა სიმტკიცისა და 650-1300 კგ/მ³ სიმკვრივის კერამზიტპერლიტბეტონების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები ხანმოკლე სტატიკური დატვირთვების დროს, კერძოდ, დრეკადობის მოღული კუმშვაზე და გაჭიმვაზე, პუასონის კოეფიციენტი, კუმშვადობა და ჭიმვადობა, ბზარმედევობა, ცოცვისა და შეკლების დეფორმაციები და ა.შ. ცემენტის ხარჯი ამ ბეტონებისათვის იცვლებოდა 160-500 კგ/მ³-ის ფარგლებში.

კერამზიტპერლიტბეტონის საწყისი დრეკადობის მოღული ელექტროტენზოგადამწოდებით დეფორმაციების გაზომვისას, 20%-იანი დატვირთვის დროს პრიზმული სიმტკიციდან, იცვლებოდა 2,3-დან 12,2X10³ მპა-ის ფარგლებში (იხ. ცხრ. 4.1). ზღვრული კუმშვადობა კიევის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული კვლევების მიხედვით არის 1,85–2,2 მმ/მ, მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში – 1,8–2,3 მმ/მ და ექსპერიმენტული დაპროექტების ცენტრალურ სამეცნიერო-კვლე- კვლევით ინსტიტუტში – 1,4 მმ/მ. კუმშვისას განივი გაფართოების ზღვრული დეფორმაცია ტოლია საშუალოდ 0,4–0,6 მმ/მ.

პუასონის კოეფიციენტის მნიშვნელობები სამივე ინსტიტუტში წარმოებული ექსპერიმენტების მიხედვით იცვლება 0,196-0,235 ფარგლებში.

ცხრილი 4.1

კერამზიტპერლიტბეტონის ძირითადი მაჩვენებლები

№	მასალების ხარჯი 1მ ³ ბეტონში				ზოგადი სიმკვრივე კგ/მ ³	ბეტონის სიმტკიცე მპა	დრეკადობის მოდული მპა
	კერამზიტი ღ-ში	პერლიტი ღ-ში	ცემენტი კგ-ში	წყალი ღ-ში			
1	1002	800	252	235	1030	14,2	9100
2	970	750	345	224	1175	16,5	8850
3	1064	700	266	211	1090	12,4	10340
4	830	760	233	268	985	11,3	5400
5	790	690	344	288	1035	12,2	5400
6	860	760	250	302	955	10,1	5290
7	869	660	360	330	955	11,3	4840
8	603	1000	310	280	860	6,8	3250
9	837	750	156	248	935	8,7	4590
10	1200	800	178	287	1060	7,8	4390
11	930	600	155	155	640	3,5	–
12	930	620	200	170	700	5,0	3900
13	920	620	250	245	760	7,5	–
14	900	400	325	300	850	10,0	–
15	895	395	460	300	975	15,0	–
16	900	400	480	280	1280	20,0	12200
17	1000	630	140	220	945	6,1	5450
18	1000	630	220	230	1070	9,2	5530
19	770	525	180	137	800	2,7	2030
20	980	384	440	308	1200	17,0	9830
21	1083	274	292	212	751	7,5	–
22	1035	258	360	206	1145	7,5	6070
23	858	455	390	210	1149	10,0	6930
24	580	868	290	232	1012	7,5	5070
25	600	895	415	240	1122	10,0	6520
26	740	578	214	214	878	5,0	4500
27	725	552	310	228	969	7,5	5550

კერამზიტპერლიტბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე კიევის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში დადგენილია 10X10სმ კვეთის და 43 სმ სიგრძის მქონე

რვიანების გამოცდით. 5-12,5 კლასის ბეტონის სიმტკიცემ გაჭიმვაზე შეადგინა 0,36-0,76 მპა. დრეკადობის მოდული გაჭიმვაზე იცვლებოდა 3740-დან 10000 მპა-ის ფარგლებში. ზღვრული ჭიმვადობაა 0,1-0,15 მმ/მ.

ინტერესს იწვევს კერამზიტპერლიტბეტონის ბზარმდეგობის გამოკვლევის მეთოდოლოგია, რომელიც შემუშავებულია ი. ნაციევსკის მიერ (დაფუძნებული რგოლის პრინციპზე). რგოლები მზადდება ფოლადის ასაწყობ ყალიბებში (რგოლის გარე დიამეტრია 19 სმ, შიგა 9 სმ, ხოლო სიმაღლე 10 სმ-ია). დაყალიბების, გაორთქლისა და შენახვის ხერხი სტანდარტულია (ტემპერატურა 20⁰C, ფარდობითი ტენიანობა 65-80%). აღმოჩნდა, რომ ყველაზე მცირე ბზარმდეგობით გამოირჩეოდნენ შახტურ ღუმელში აფუებულ ქვიშაზე (ზოგადი სიმკვრივე 200 კგ/მ³) დამზადებული ნიმუშები (მათში ბზარებზე დაკვირვება წარმოებდა გამყარების მე-18 დღეზე); შემდეგ მოდის ქვიშის, ცემენტის და წყლის მომეტებული ხარჯით გამორჩეული კერამზიტპერლიტბეტონის ნიმუშები (პირველი ბზარები აღმოჩენილ იქნა შენახვის 58-ე დღეს).

მბრუნავ ღუმელში აფუებულ პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული ყველა ნიმუში ბზარმდეგი გამოდგა. 8 თვის განმავლობაში დაკვირვებისას მათზე ბზარები არ აღმოჩენილა.

კიევის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში წარმოებული კვლევების მიხედვით კერამზიტპერ-

ლიტბეტონის შეკლებამ 220 დღე-ღამის გამყარების შემდეგ შეადგინა 0,25-0,63 მმ/მ. მაქსიმალური შეკლებით ხასიათდებოდნენ შახტურ ღუმელში აფუებული პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული და გაზრდილი დულაბური ნაწილის მქონე ნიმუშები.

მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული კვლევების მიხედვით 480 დღე-ღამის შემდეგ კერამზიტპერლიტბეტონის შეკლებამ მიაღწია 0,57 მმ/მ. ხოლო შეკლების პროცესის სტაბილიზაცია აღინიშნებოდა 250 დღე-ღამის ასაკში.

მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში შესწავლილ იქნა აგრეთვე კერამზიტპერლიტბეტონის ცოცვალობა **0,3** და **0,5R₃₆** დატვირთვების დროს, 1 და 6 თვის პრიზმულ ნიმუშებზე. 3,5 მპა სიმტკიცის კერამზიტპერლიტბეტონის ცოცვალობის ფარდობითმა დეფორმაციამ 28 დღე-ღამის შემდეგ, **0,3R₃₆** დატვირთვის დროს შეადგინა 0,53 მმ/მ, ხოლო **0,5R₃₆** დროს 0,91 მმ/მ. 15 მპა სიმტკიცის კერამზიტპერლიტბეტონისათვის შესაბამისად – **0,3R₃₆** – 0,85 მმ/მ და **0,5R₃₆** – 1,01 მმ/მ. 6 თვის შემდეგ ეს მაჩვენებლები დაახლოებით 1,5-ჯერ შემცირდა.

ზოგიერთი მკვლევარის აზრით კერამზიტპერლიტბეტონში ბზარები წარმოიქმნება არათანაბარზომიერი შრობის, წყლის სწრაფი აორთქლებისას გარე შრეების შეკლების და კუმშვისას განივი გამჭიმავი ძალების წარმოქმნის გამო. მ.

ხუტორიანსკიმ დაადგინა, რომ ბეტონის ცოცვადობა იზრდება პერლიტის ქვიშის მტვრისებრი ფრაქციის ზრდით. ასე მაგალითად, B3,5 კლასის კერამზიტპერლიტბეტონის ცოცვადობა **0,3R_{აგ}** დროს არის:

- პერლიტის ქვიშაში მტვრისებრი ნაწილაკების 15%-მდე შემცველობისას – 0,65 მმ/მ;
- პერლიტის ქვიშაში მტვრისებრი ნაწილაკების 40%-მდე შემცველობისას – 1,4 მმ/მ.

იმავე მ. ხუტორიანსკის მონაცემებით 10 და 15 მპა სიმტკიცის პერლიტბეტონების წყალშთანთქმის დინამიკა სტაბილიზირდება 5 თვის შემდეგ და შეადგენს შესაბამისად 15,6 და 16,5%-ს, ხოლო 5 მპა სიმტკიცის ნიმუშებისათვის 23,6%-ს. კაპილარულმა შეწოვამ 100 დღე-ღამის შემდეგ, 5, 10 და 15 მპა სიმტკიცის ნიმუშებისათვის შეადგინა შესაბამისად 7,6, 6,87 და 4,85%; დარბილების კოეფიციენტი იყო 0,82-0,89. წიდაპორტლანდცემენტზე დამზადებული კერამზიტპერლიტბეტონის სორბციულმა ტენიანობამ 75%-იან ტენიან გარემოში შეადგინა 7,5%, ხოლო ჩვეულებრივ პორტლანდცემენტზე კი 2,5%.

5 და 7,5 მპა სიმტკიცის და 1060-1140 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის კერამზიტპერლიტბეტონის თბოგამტარობის კოეფიციენტი მშრალ მდგომარეობაში არის 0,35-0,46 ვტ/მ.°C., სორბციული ტენიანობისას – 0,46-0,57, ხოლო გაორთქვლის შემდეგ – 0,52-0,67 ვტ/მ.°C.

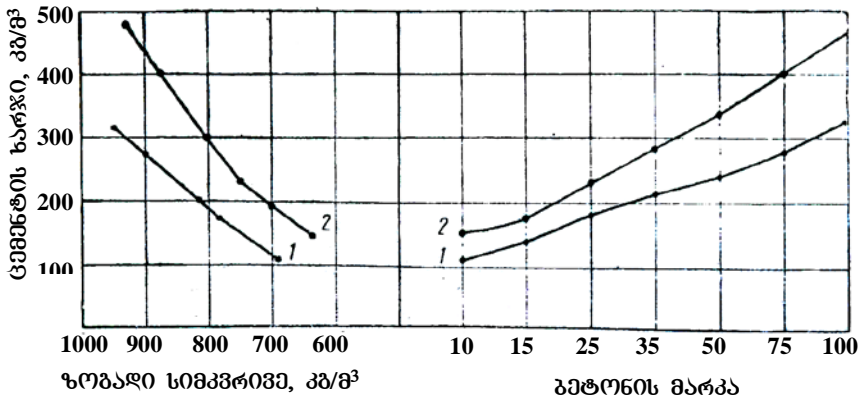
გარკვეულ ინტერესს იწვევს აგრეთვე ერთი და იგივე მსხვილ (კერამზიტი) და სხვადასხვა წვრილ (აფუებული პერლიტის ქვიშა და დამსხვრეული კერამზიტის ქვიშა) შემესებებზე დამზადებული, 3,5-15 მპა მარკის კერამზიტპერლიტბეტონისა კერამზიტბეტონის ძირითადი თვისებების შედარება: კერამზიტპერლიტბეტონის ზოგადი სიმკვრივე 20–25%-ით ნაკლებია კერამზიტბეტონის იგივე მაჩვენებელზე (ერთნაირი სიმტკიცებისა და ცემენტის ერთი და იგივე ხარჯის დროს). კერამზიტპერლიტბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული, შახტურ ღუმელში აფუებული პერლიტის გამოყენების შემთხვევაში, 20-25%-ით ნაკლებია კერამზიტბეტონის იგივე მაჩვენებელზე, ხოლო ჰორიზონტალურ მბრუნავ ღუმელში აფუებისას 5–10%-ით. კერამზიტპერლიტბეტონის ცოცვადობა $0,5R_{კრ}$ მომკუმშავი ძალვის ზემოქმედებისას შეადგენს 0,4–1 მმ/მ, კერამზიტბეტონისა – 0,35-დან 0,75 მმ/მ-მდე; კერამზიტპერლიტბეტონის პუასონის კოეფიციენტი ტოლია 0,22-ის, კერამზიტბეტონის – 0,18-ის. 5-10 მპა სიმტკიცის კერამზიტპერლიტბეტონის ზღვრული კუმშვადობა შეადგენს 1,8 მმ/მ-ს, 10-15 მპა სიმტკიცისა – 2,3 მმ/მ; 10 მპა და უფრო დაბალი სიმტკიცის კერამზიტბეტონის ზღვრული კუმშვადობაა 1,35 მმ/მ; კერამზიტპერლიტბეტონის შეკვლების ფარდობითი დეფორმაცია იცვლება $48X10^{-5}$ -დან $57X10^{-5}$ -მდე, კერამზიტბეტონის კი $22X10^{-5}$ -დან $68X10^{-5}$ -მდე.

წიდაპერლიტბეტონი. სომხეთის საშენი მასალების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მიერ დამუშავებული და

შესწავლილია წიდაპერლიტბეტონი. მსხვილ შემცვლად გამოყენებულია კარმრაშენის ბუნებრივი წიდა ნაყარი ზოგადი სიმკვრივით 318-480 კგ/მ³, რომლის სიმტკიცის ზღვარია კუმშვაზე 0,43-0,75 კგ/მ³. წვრილ შემცვლად გამოყენებულია შახტურ ღუმელში აფუებული არაგაცის პერლიტის ქვიშა, ნაყარი სიმკვრივით 65-90 კგ/მ³ (ძალიან მსუბუქი) და მბრუნავ ღუმელში აფუებული ქვიშით (ნაყარი სიმკვრივე 364-398 კგ/მ³). მიღებული წიდა პერლიტბეტონის სიმტკიცეა 3,5-10 მპა, ზოგადი სიმკვრივე კი 820-970 კგ/მ³. 500 მარკის პორტლანდცემენტის ხარჯია 210-დან 410 კგ/მ³-მდე. პრიზმული და კუბური სიმტკიცეების თანაფარდობაა 0,94. დრეკადობის საწყისი მოდულია 4000-დან 8000 მპა-მდე.

პერლიტის ქვიშის გავლენა წიდაპერლიტბეტონის სიმტკიცეზე და ზოგად სიმკვრივეზე, ასევე ცემენტის ხარჯზე ნაჩვენებია ნახ. 4.3-ზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ წიდაპერლიტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე, პერლიტის ძალზე მსუბუქი ქვიშის გამოყენებისას, დაახლოებით 30%-ით ნაკლებია, მძიმე ქვიშის გამოყენებით მიღებული ბეტონის სიმტკიცეზე. ზოგად სიმკვრივეებს შორის განსხვავება მხოლოდ 3-5 %-ია. იმისათვის, რომ გავზარდოთ ძალზე მსუბუქ პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული წიდაპერლიტბეტონის სიმტკიცე დაგვჭირდება ცემენტის ხარჯის გაზრდა 80-100 კგ/მ³-ით. წიდაპერლიტბეტონის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვისას 15%-ით ნაკლებია ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონის ანალოგიურ მაჩვენებელთან შედარებით. წიდაპერლიტბეტონის შეკლე-

ბისა და ცოცვადობის მახასიათებლები მოცემულია ცხრილ 4.2-ში.



ნახ. 4.3. წიდაპერლიტბეტონის სიმტკიცის, და ზოგადი სიმკვრივის დამოკიდებულება ცემენტის ხარჯზე

- 1 – მბრუნავ ღუმელში აფუებული არაგაცის პერლიტის ქვიშა;
- 2 – იგივე, აფუებული შახტურ ღუმელში

ცხრილი 4.2

წიდაპერლიტბეტონის შეკლება და ცოცვადობა

ქვიშა	ცემენტის ხარჯი კგ/კმ³	ბეტონის კლასი, მკა	შეკლება 360 დღე-ღამის განმავლობაში, მმ/მ	ცოცვადობა 200 დღე-ღამის განმავლობაში მმ/მ
მბიმე	311	5	0,61	0,59
მსუბუქი	369	3,5	0,89	0,66
წიდა	336	7,5	0,61	0,64

4.2-დან ჩანს, რომ შეკლებისა და ცოცვის მაქსიმალური დეფორმაციებით ხასიათდებიან მსუბუქი პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული წიდაპერლიტბეტონები.

ექსპერიმენტული მონაცემებით დასტურდება წიდაპერლიტბეტონის სორბციული და ნარჩენი ტენიანობების

დამოკიდებულება ქვიშის სახეობაზე. მაგ. მძიმე ქვიშაზე დამზადებული წიდაპერლიტბეტონის ტენიანობამ შეადგინა 1,3-2,8% და 5,9 9,2%, ხოლო მსუბუქ ქვიშაზე დამზადებულმა კი – 1,2-4,1 და 6,3-13,6%; თბოგამტარობის კოეფიციენტი შესაბამისად იქნება: 0,24-0,32 და 0,22-0,31 ვტ/მ⁰C.

წიდაპერლიტბეტონი. შესწავლილ იქნა წიდაპემზაპერლიტბეტონი შემდეგ შემსვებებზე: წილის პემზა (ზოგადი სიმკვრივე 825 კგ/მ³, სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 1,4 მპა); პერლიტის ქვიშა: ზოგადი სიმკვრივე – 300 კგ/მ³, და აფუებული ღორღის მსხვრეული ქვიშა (ზოგადი სიმკვრივე 500 კგ/მ³).

აფუებული ქვიშიდან მიღებულ იქნა 3,5-5 მპა სიმტკიცის წიდაპემზაპერლიტბეტონი, რომლის ზოგადი სიმკვრივე მშრალ მდგომარეობაში ტოლია 1100-1200 კგ/მ³, აფუებული ღორღის მსხვრეული ქვიშისგან კი 12,5 კლასის კონსტრუქციული ბეტონი; ამ ბეტონის ზოგადი სიმკვრივე მერყეობს 1400-დან 1550 კგ/მ³-ის ფარგლებში; 50 მპა აქტივობის ცემენტის ხარჯი კი 200-400 კგ/მ³-ია.

7,5-20 მპა სიმტკიცის წიდაპემზაბეტონის საწყისმა დრეკადობის მოდულმა შეადგინა 8700-18500 მპა, რაც მეტია წიდაპემზაბეტონის ნორმატულ მაჩვენებლებზე.

1350 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის წიდაპემზაპერლიტბეტონის თბოგამტარობის კოეფიციენტი არის 0,56 ვტ/მ⁰C. 2,5-3 კლასის წიდაპემზაპერლიტბეტონმა გაუძლო გაყინვა-გაღებობის 25 ციკლს; მისი დარბილების კოეფიციენტია 0,75 კოეფიციენტით.

აგლოპორიტპერლიტბეტონი: ასეთი სახის ბეტონი დამუშავებულია მინსკის საშენი მასალების კვლევით ინსტიტუტში. ბელარუსში აგლოპორიტის დიდი მარაგის გამო შემკვებად გამოყენებულ იქნა აგლოპორიტის ღორღი, ზოგადი სიმკვრივით 700 კგ/მ³ და ორი მასითი კატეგორიის 150 და 300 კგ/მ³-ის აფუებული პერლიტის ქვიშა. მძიმე და მსუბუქ პერლიტის ქვიშაზე დამზადებული აგლოპორიტპერლიტბეტონები ხასიათდებიან პრაქტიკულად ერთნაირი ზოგადი სიმკვრივით, რადგან მსუბუქი ქვიშის მოხმარებისას, სასურველი სიმტკიცის მისაღებად საჭიროა გაიზარდოს ცემენტის ხარჯი, რაც ბეტონის ზოგადი სიმკვრივის მატებას იწვევს. უფრო მსუბუქი აგლოპორიტის ღორღის (ზოგადი სიმკვრივე 400 კგ/მ³) გამოყენება კი ამცირებს ბეტონის მასას 10-15%-ით. მიღებულია 5-20 მპა სიმტკიცის, 930-1265 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის აგლოპორიტბეტონი, 170-430 კგ/მ³ ცემენტის ხარჯით. თანაფარდობა პრიზმულ და კუბურ სიმტკიცეებს შორის 5-10 მპა სიმტკიცის ბეტონებს შორის 0,83-ია, ხოლო 15-20 მპა სიმტკიცის ბეტონებს შორის 0,88. აგლოპორიტპერლიტბეტონის სიმტკიცე ღუნვაზე და გაჭიმვაზე მძიმე ბეტონთან შედარებით 20%-ით ნაკლებია. 5-20 მპა სიმტკიცის აგლოპორიტპერლიტბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული რამდენადმე მაღალია, ვიდრე 300-700 კგ/მ³ სიმკვრივის, ფორიან შემკვებებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონისა. პუასონის კოეფიციენტი 0,16-0,2-ია. ზღვრული კუმშვადობა იზრდება ბეტონის კლასის ზრდას-

თან ერთად და შეადგენს 5 მპა სიმტკიცის აგლოპორიტპერლიტბეტონისათვის $1,08 \times 10^{-3}$ და 20 მპა სიმტკიცის ბეტონისათვის – $2,1 \times 10^{-3}$. ზღვრული ჭიმვადობა დაახლოებით 10-ჯერ ნაკლებია და უდრის $0,14 \times 10^{-3}$.

აგლოპორიტპერლიტბეტონის მოცულობის ზრდა მიმდინარეობს 160-200 დღის მანძილზე. დეფორმაცია ამ დროს შეადგენს 0,02-0,06 მმ/მ-ს. 20 მპა სიმტკიცის ბეტონის შეკლება აღწევს 0,55-0,39 მმ/მ-ს. აგლოპორიტპერლიტბეტონის წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი $20-60^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს შეადგენს $10 \times 10^{-6}-12 \times 10^{-6}$. 5-15 მპა სიმტკიცის გამომშრალი აგლოპორიტბეტონის თბოგამტარობის კოეფიციენტი 0,26-0,29 კკალ/მ²°C-სთ. ასეთი ბეტონი ყინვამედევია ცემენტის მცირე ხარჯის (130-160 კგ/მ³) დროსაც კი. ნიმუშები უძლებენ გაყინვა-გაღებობის 25 ციკლს სიმტკიცის კლების გარეშე. ყინვამედევობის კოეფიციენტი ტოლია 0,81 – 0,94.

ქაფპოლისტიროლპერლიტბეტონი: ამ სახეობის ბეტონში მსხვილ შემვსებად გამოიყენება 40 მმ მაქსიმალური სისხოს აქაფებული ქაფპოლისტიროლი, სიმკვრივით 25 კგ/მ³, წვრილ შემვსებად გამოიყენება ორი ადგილმდებარეობის პერლიტის ქვიშა: არაგაცის – ზოგადი სიმკვრივით 95 კგ/მ³, მაქსიმალური სისხოთი 1,2 მმ (აფუებული შახტურ ღუმელში) და მუხორ-ტალისკის – ზოგადი სიმკვრივით 250 კგ/მ³ (აფუებული პორიზონტალურ ღუმელში), ზღვრული სისხო 5მმ.

არაგაცის პერლიტის ქვიშა – წვრილმარცვლოვანი, 0,14-0,63 მმ ფრაქციის შემცველობა შეადგენს 55,5% (მოცულობის მიხედვით), ამასთან 0,14მმ-ზე ნაკლები ფრაქციის შემცველობა ტოლია 27,4%. მუხორ-ტალინსკის პერლიტის ზღვრული სისხოა 5მმ, მოცულობის 50%-ზე მეტს შეადგენს 1,2–2,5 მმ ფრაქცია. აქაფებული ქაფპოლისტიროლი შედგება 5–20 მმ ფრაქციისაგან – 68% (მოცულობის მიხედვით). მინიმალური სისხო არის 1,2 მმ.

საცდელი ნიმუშები დამზადებულია სხვადასხვა გრანულომეტრული შედგენილობის შემგებებზე: აფუებული პოლისტიროლის შემცველობა იცვლება 25-დან 60%-მდე მოცულობის მიხედვით შემგებების საერთო ხარჯიდან. ცემენტის ხარჯმა შეადგინა 200-400 კგ/მ³, წყლის ხარჯმა კი – 230-280 ლ/მ³; ნიმუშების დაყალიბება ხდებოდა ვიბრო-დაჯორგვით (15-30 გკ/სმ² ძალის მოქმედებით); ნიმუშების გაორთქვლა მიმდინარეობდა 70⁰C ტემპერატურაზე შემდეგი რეჟიმით: ტემპერატურის აწევა – 3სთ, იზოთერმული დაყოვნება – 8სთ, გაცივება 3სთ. ამგვარად შესაძლებელია მიღებულ იქნას B1,5-B3,5 კლასის და 650-750 კგ/მ³ ზოგადი სიმკვრივის ქაფპოლისტიროლპერლიტბეტონი. უმეტესი სიმტკიცით გამოირჩევა მუხორ-ტალინსკის ადგილმდებარეობის პერლიტის აფუებულ ქვიშაზე დამზადებული ბეტონი.

ფენოვანი პერლიტბეტონი. თანამედროვე ტექნოლოგიები და ადგილობრივი ნედლეულის მარაგი გვაძლევს საშუალებას დავამზადოთ მეტად რენტაბელური ფენოვანი

კონსტრუქციები, კერძოდ ბეტონისა და რკინაბეტონის ორფენიანი ნაკეთობები, რომელთა ფენები უზრუნველყოფს, როგორც თბოსაიზოლაციო, ისე კონსტრუქციულ თვისებებს. ორფენიანი ბეტონის გამოყენების სფერო პრაქტიკულად არ განსხვავდება იმავე სისქის ბეტონის ერთფენიანი კონსტრუქციების გამოყენების სფეროსაგან. ამასთან, ორფენიანი ნაკეთობები მკვეთრად ამცირებენ თბოდანაკარგის აღსადგენ საექსპლუატაციო დანახარჯებს.

მრავალსტადიური ტექნოლოგიით ფენების ცალ-ცალკე დაყალიბების შემთხვევაში, ექსპლუატაციის პირობებში ხშირად ირღვეოდა კონტაქტი ფენებს შორის, რაც მოითხოვდა დამატებით ხარჯებს. ახალი მაპლასტიფიცირებელი დანამატების გამოყენებით, რომლებიც საგრძნობლად უწყობდნენ ხელს ბეტონის ნარევის გათხევადებას, შესაძლებელი გახდა ერთსტადიანი დაყალიბებით ფენოვანი ბეტონის ნაკეთობების მიღება (საავტორო მოწმობა №1488190, 15. XII. 87). ნაკეთობა შედგება კონსტრუქციული ფორიზებული ბეტონის ფენისაგან, რომელიც მზიდ ფუნქციას ასრულებს და აირბეტონის თბოსაიზოლაციო ფენისაგან. ასეთი ნაკეთობის დამზადება წარმოებს მძიმე და მსუბუქი ბეტონის ნარევების არევით, ყალიბში ჩასხმითა და ვიბრაციით. ვიბრირებისას მძიმე ბეტონის ნარევი ჩადის ქვევით და ქმნის კონსტრუქციულ ფენას. ამგვარ ბეტონებში გამოყენებულია, როგორც აფუებული პერლიტის

ქვიშა და ღორღი, ისე ჩვეულებრივი კვარცის ქვიშა და ბაზალტის ღორღი. მათი ზოგადი სიმკვრივეების დიდ განსხვავებაზეა დაფუძნებული განშრევეების ფაქტორი.

კვლევებით დადგენილია ბეტონის განშრევეების ზღვრები; აგრეთვე შესწავლილია ვიბრირების გავლენა ბეტონის ნარევის მახასიათებლებზე. მაპლასტიფიცირებელი დანამატის გამოყენება ბეტონის ნარევეში საშუალებას იძლევა შევამციროთ წყლის ხარჯი, რაც შესაბამისად ცვლის ნარევის განშრევეების ზღვრებს, გარდა ამისა იწვევს ბეტონის სიმტკიცის ზრდას. ბეტონის ნარევის განშრევეების პირობების შესწავლის საფუძველზე დადგენილია ორფენიანი ფორიზებული ნაკეთობების შედგენილობები კირქვიშოვან შემკვრელზე და ცემენტის გამოყენებით, მათი მახასიათებლების შესადარებლად. ექსპერიმენტში აგრეთვე იცვლება საჭირო წყლის რაოდენობა, ვიბრაციის დრო და გამოყენებული მაპლასტიფიცირებელი დანამატის რაოდენობა. აირწარმოქმნელ დანამატად გამოყენებულ იქნა ალუმინის ფხვნილი ПAK-1 და ПAK-3. ნარევის შედგენილობები მოყვანილია ცხრილ 4.3-ში.

ფენოვანი ნაკეთობების დეფორმაციული თვისებების კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ნიმუშების ცალკეული ფენების დეფორმაციები არ განსხვავდება ფორიზებული ბეტონების დეფორმაციების უკვე ცნობილი მონაცემებისაგან. ფენოვანი პერლიტბეტონი რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნას,

როგორც შემომზღუდავ ისე მზიდ კოსტრუქციებში, სოფლის მშენებლობისათვის, კარკასული მშენებლობის ბრტყელი გადახურვისას, სართულშუა გადახურვისათვის და სხვა.

ცხრილი 4.3

ბეტონის ნარევის შედგენილობები

ბეტონის სახე	თბოსაიზოლაციის და კონსტრუქციული ფენის ფარდობა	მასალის ხარჯი კგ-ში 1 მ ³ ბეტონში									გობრიგების დრო განშრეგებისას, წთ
		შემკვრელობა		მსხვილი ქვიშა	ღორღი	დაფქვილი ქვიშა	წყალი	მაპი 0,5%	ალუმინის ფხვნილი	თაბაშირი	
		ცემენტი	კირქვიშოვანი								
აირსილი-კატი	1 : 2	–	486	425	757	300	359	2,43	0,72	3	1,5 – 2
	1 : 2	–	550	342	650	327	363	2,75	0,79	4	1 – 1,5
	2 : 1	–	560	253	480	340	367	2,8	0,84	4	1 – 1,5
აირბეტონი	1 : 2	293	–	525	937	89	200	1,46	0,68	3	1,5 – 2
	1 : 2	281	–	394	703	133	194	1,41	0,63	4	1,5 – 2
	2 : 1	270	–	263	469	178	188	1,37	0,60	4	1,5 – 2,5

ბამოყენებული ლიტერატურა

1. ა. ნადირაძე. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობათა ტექნოლოგია თბილისი განათლება 1994.
2. ა. ნადირაძე. ბეტონის შემესვების ტექნოლოგია თბილისი 1988.
3. ა. ტატიშვილი. მსუბუქი ბეტონები საქართველო ბუნებრივ და ხელოვნურ შემესვებზე თბილისი მეცნიერება 1988.
4. ა. ტატიშვილი. საშენი მასალები თბილისი 1990.
5. ლ. ბოლქვაძე. თბოსაიზოლაციო მასალების ტექნოლოგია თბილისი 1985.
6. მ. ტურძელაძე, ზ. ქარუმიძე. წვრილმარცვლოვან ბეტონში ბზარწარმოქმნის პროცესზე მასშტაბური ფაქტორების გაელენა „საშენი მასალები“, თბილისი 2000.
7. ზ. ქარუმიძე, მ. ტურძელაძე. ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობათა ტექნოლოგია. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი 2006.
8. Alexander A. Poruere D. Yvannusee S. The creep and related properties of very leigh-strenght superplasticized concrete. “Cem and Concrete res 1980.
9. Davis R.E, davi H .E, brown E.U plasticflow and volume charge of concrete. sos. for. Test Mat. Proc. 1987.
10. Humee A, Weshe R, Brand W. Der Einfluss der Zement art des wasser verhaltviss und der belastung saeters auf das keiechens von beton. “Deutschen Ansschuss jaz stahebeton 1972.
11. ზ. ქარუმიძე, მ. ტურძელაძე. სუბუქი ბეტონის მიღება დურუჯის თიხა-ფიქლის გამოყენებით. თბილისი, 2008.
12. Горлов Ю.П., Меркин А.П. Технология теплоизоляционных материалов. М., Стройиздат, 1980.

13. Горяинов К.Э., Дубенецкий К.Н., Васильев С.Г. Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. М., Стройиздат, 1994.
14. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. М., Стройиздат, 1989.
15. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов. М., Стройиздат, 1991.
16. Евдокимов А.А., Пфлаумер О.Э. Технология и строительные свойства бетона на естественных пористых заполнителях. М., Стройиздат, 1999.
17. Чистяков А.В. Легкие многослойные ограждающие конструкции. М., Стройиздат, 1987.
18. Самедов А.Л. Перлитокерамические изделия. М. Стройиздат, 1988.
19. Лоладзе В.В., Карумидзе З.И. Способ формования бетонных и железобетонных изделий переменной объемной массы. А.С. № 1488190. М., 1989.
20. Лоладзе В.В., Карумидзе З.И. и др. Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона. А.С. № 1447802. М., 1988.
21. Будников П.П., Жуков А.В. Производство и применение вспученного перлита. Киев, 1980.
22. Горяинов К.Э., Волкович Л.С. Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов и изделий. Издательство «Высшая школа» Москва-1980.
23. Соков В.Н., Лабзина Ю.В., Федосеев. Лабораторный практикум по технологии отделочных, теплоизоляционных и гидро-изоляционных материалов. Москва «Высшая школа» 1991.

24. Методические рекомендаций по технологии производства и применению в жилищно-гражданском, промышленном и сельском строительстве ограждающих конструкций из легких бетонов на основе вспученного перлитового песка. Киев, 1986.
25. ზ. ქარუმიძე, ვ. ბექაია. პერლიტის გამოყენება სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ნაგებობებში. თბილისი. უ. ენერჯია №3, 2008.
26. ზ. ქარუმიძე, გ. ხარაიშვილი. ქიმიური დანამატების მოქმედება კერამზიტოპერლიტობეტონსა და გრანულირებულ წიდაზე დამზადებულ წიდაპემზობეტონზე. თბილისი. უ. ენერჯია №2, 2010.
27. მ. ტურძელაძე, ზ. ქარუმიძე. ქაფბეტონის წარმოების თანამედროვე ტექნოლოგია. თბილისი. უ. ენერჯია, №3. 2011.

სარჩევი

შესავალი	3
თავი I. ბუნებრივ ფორიან შემვსებებზე და მსუბუქ ბეტონებზე ჩატარებული კვლევების ანალიტიკური მიმოხილვა	9
თავი II. ფარავნის პერლიტის ზოგადი დახასიათება, ავუმბადობა, ავუმბული პერლიტის ბაზაზე მიღებული შემვსებების გამოყენების შესაძ- ლებლობა მსუბუქ ბეტონებში	24
2.1. პერლიტის ზოგადი დახასიათება. პერლიტის აფუება	24
2.2. აფუებული პერლიტისა და მის ბაზაზე დამზადე- ბული ბეტონისა და დუღაბის თვისებები	41
თავი III. პერლიტბეტონის ტექნოლოგიის საფუძვლები	58
3.1. აფუებული პერლიტის შემვსებები (ქვიშა და ღორღი)	58
3.2. შემკვრელი ნივთიერებები	63
3.3. პერლიტბეტონის დასამზადებელი წყალი და ზედაპირულ-აქტიური დანამატები	69
3.4. პერლიტბეტონის ნაკეთობების დაყალიბება და გამყარება	73
თავი IV. პერლიტბეტონისა და პერლიტის ძვიშაზე დამზადებული შერეული ბეტონების ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები	80
4.1. პერლიტბეტონის ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები	81
გამოყენებული ლიტერატურა	106

რედაქტორი: მ. ტურძელაძე

ტექ. რედაქტორი: გ. ნადირაშვილი

კორექტორი: ხ. ლეჟავა

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.04.12

გადაეცა წარმოებას 04.05.12

გვ. რაოდენობა: 110

ტირაჟი 100

საგამომცემლო სახლი “ჩოხი”