

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ალექსანდრე ვეიქრიშვილი

ადგილობრივი ენდლეულ ზემიღებულ იმალის იმტკიცის ბეტონების ფიზიკურ-
მექანიკური მახასიათებლების კვლევა;

სადოქტორო პროგრამა: „მშენებლობა“

შიფრი: 0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

აკტორეფერატი

თბილისი

2026 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

სამშენებლოფაკულტეტი

სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიებისა და საშენი მასალების
N103 დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: მალხაზ ტურძელაძე

1. რეცენზენტები: ნებიერიძე ნიკოლოზი-პროფესორი, სტუ (რეცენზენტი); სამშენებლო
ფაკულტეტი;
2. რობაქიძე გიორგი-აკადემიური დოქტორი ჰანიველცემენტის ქარხნის ბეტონის
ლაბორატორიის უფროსი, ტექნიკური მენეჯერი,(მოწვეული რეცენზენტი)

საჯარო დაცვა შედგება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო
ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, 2026 წლის 25
თებერვალი 15 საათი, პირველი სასწავლო კორპუსი, 508 აუდიტორია (ბიბლიოთეკა).

მისამართი: 0160, თბილისი, მ.კოსტავას № 68

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

მისამართი: 0160, თბილისი, მ.კოსტავას № 77

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი
პროფესორი :



დ.ტაბატაძე

ნაშრომის ზოგადი მიმოხილვა

თემის აქტუალურობა: თანამედროვე მშენებლობაში ნათლად გამოიკვეთა მაღალი სიმტკიცის ბეტონების (მსბ) დამზადების ტექნოლოგიების ათვისების აუცილებლობა. ამ სახის ბეტონის და არმატურის რაციონალური კომბინირებით შესაძლებელია მათი თვისებების უფრო სრულად და ეფექტურად გამოყენება. მაღალი სიმტკიცის ბეტონით მონოლითური და ასაწყობი კონსტრუქციების დამზადების შემთხვევაში მცირდება მათი საკუთარი მასა და განიკვეთის ფართობი, რაც იწვევს ნედლეულის, ნახევარფაბრიკატების, მზა პროდუქციის ტრანსპორტირებაზე და მშენებლობაზე გაწეული დანახარჯების შემცირებას.

არსებობს მსბ-სა და ჩვეულებრივი ბეტონებს შორის საზღვრის დაწესების ორი თვალსაზრისი: ერთის მიხედვით, მსბ-ად ითვლება ბეტონები, რომელთა სიმტკიცის ზღვარი მეტია ცემენტის სიმტკიცეზე; მეორეს მიხედვით – ბეტონები, რომელთა სიმტკიცე აღემატება ნორმატულ მაქსიმუმს. თუმცა, ზუსტი საზღვარი პირობითია, რადგან ნორმები ცვალებადია.

მსბ ხასიათდება სწრაფი გამყარებით, რაც აჩქარებს მშენებლობას მონოლითურ ბინათმშენებლობაში და ამცირებს გაორთქლის პერიოდს ქარხნულ წარმოებაში, ზოგჯერ თბოტენიანი დამუშავების გარეშე. დაბალი დეფორმაციის უნარი აუმჯობესებს სიხისტეს, ამცირებს ცოცვადობით გამოწვეულ დანაკარგებს არმატურის დამაბვისას. შეკლების დეფორმაციები არ აღემატება ჩვეულებრივი ბეტონის მაჩვენებლებს.

მსბ (80-150 მპა) მიიღება მაღალაქტიური ცემენტებით, გარეცხილი ქვიშით, მაღალსიმტკიცე ღორღით, მაპლასტიფიცირებელი მოდიფიკატორებითა და მიკროდანამატებით (კირქვა, მეტაკაოლინი, ნაცარი, წიდა, მიკროკაჟმიწა). წ/ც ფარდობა დაბალია (0,3-0,35). ისინი გამოირჩევიან სიმკვრივით, ხანგამძლეობით, აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგობით.

ტექნოლოგიის მოთხოვნაა მაღალი სიმკვრივე, მიღწეული მტკიცე შემვსებლების მაქსიმალური გაჯერებით, რაც ქმნის ხისტ კარკასს და ზრდის სიმტკიცეს 15-20%-

ით. მეორე თავისებურებაა ცემენტის მარკაზე მაღალი ბეტონის მიღება მასალების ოპტიმალური შეხამებით.

ტერმინი „მაღალი სიმტკიცის ბეტონი“ პირველად გამოიყენეს აშშ-ში 1929 წელს (130 მპა ლაბორატორიულად); 1940-იან წლებში გერმანიაში – 140 მპა. მიღწეული იყო ხისტი დუღაბით, კომბინირებული შემკვრელებითა და ავტოკლავური დამუშავებით. 1970-იან წლებში იაპონიასა და გერმანიაში დაამატეს ორგანული ნაერთები (სულფომელამინები, ნაფტალინფორმალდეჰიდები) და მიკროკაჟმიწა, რამაც გაზარდა სიმტკიცე პუცოლანური რეაქციით.

დღეს იყენებენ ნაცარს, წიდას, მეტაკაოლინს; წ/ც შემცირდა 0,25-0,3-მდე, რაც იძლევა 120-150 მპა. ევროკავშირი აქვს ნორმატივი (EN 206). საქართველოში შესაძლებელია ადგილობრივი მასალებით: ჰაიდელბერგცემენტი, ხრამის/იმირის ინერტები, ზესტაფონის ნაცარი/სილიკომანგანუმი, ტყიბულის ნაცარი, მიკროსილიკა, კარბოქსილატური დანამატები.

მსბ-ის პერსპექტივა საქართველოში დიდია: ამცირებს დროს/შრომას, აუმჯობესებს ხარისხს, სიმტკიცეს, კოროზიამდეგობას. ნაშრომი ეძღვნება მსბ-ის გამოყენებას საქართველოში, შედგენილობის გაანგარიშებას, თვისებების კვლევას, დანერგვას.

ნაშრომში განხილულია: ადგილობრივი ნედლეულის მიმოხილვა; თვისებების განსაზღვრა; მდგენელების გავლენა; შედგენილობის შერჩევა (შემკვრელები, ნარჩენები, დანამატები); სიმტკიცის/დეფორმაციის შედარება; ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები.

მიზანი: ადგილობრივ ნედლეულზე (თერმოდამუშავებული არგილითი, ზესტაფონის მიკროკაჟმიწა) მიღებული მსბ-ის (B40, B60+) თვისებების კომპლექსური კვლევა, შედგენილობების შერჩევა, ეფექტიანობის ანალიზი საქართველოს სეისმურ პირობებში.

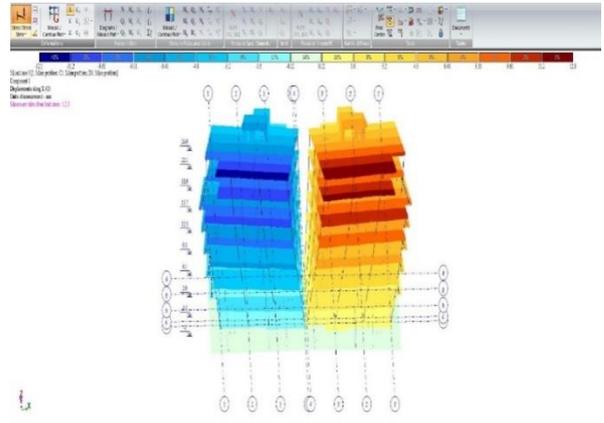
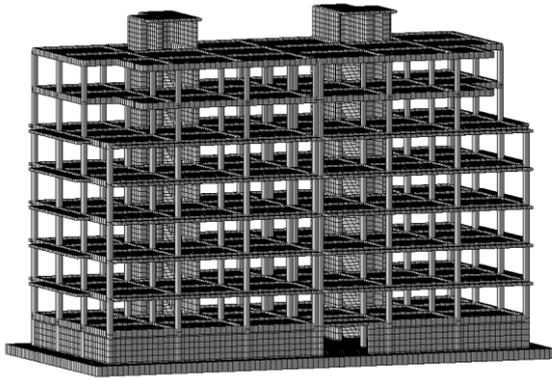
ამოცანები:სანედლეულო ბაზის ანალიზი: ცემენტები (რუსთავი, კასპი), შემკვრელები (ხრამი, იორი, ლიახვი, ხობისწყალი), დანამატები (არგილითი, სილიკომანგანუმი) – მინერალოგია, ეკონომიკა.

ნედლეულის დახასიათება: ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები (EN, ASTM, ГОСТ) – აქტიურობა, მარცვლობა, მინარევები.გავლენის შესწავლა: სუპერპლასტიფიკატორები (Sika ViscoCrete), მიკროშემვსებლები – რეოლოგია, სიმტკიცე, წ/ც.შედგენილობების დაპროექტება: ACI 211.4R, Bolomey მოდელები – B40/B60+ ლაბორატორიული ტესტირება.ექსპერიმენტული კვლევა: სიმტკიცე (EN 12390-3), დეფორმაცია, წყალშეუღწევადობა (EN 12390-8), ყინვამდეგობა (ГОСТ 10060.1 – 500 ციკლი).სტრუქტურული ანალიზი: FEM „ЛИРА®-САПР“-ში – მრავალსართულიანი შენობის მოდელი, B60 vs B25 სეისმურ პირობებში (SNIIP 2.01.07-85), რისკები.ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება: TCO/LCA – ღირებულება, ვადები, გამძლეობა.მეთოდოლოგია: თეორიული ანალიზი (ლიტერატურა: Mehta, Aitcin; ნორმები: EN 206, ACI 318), ლაბორატორიული კვლევები აკრედიტებულ ლაბორატორიაში (სამხარაულის ბიურო, ISO 17025 (ფოტო 1; 2), აპარატურა (CONTROLS: წნეხები, ყინვის კამერა), სტანდარტები (EN 12350/12390, ГОСТ 10060). მასალები: CEM I/II 42,5 R, ხრამის გაბრო-დიაბაზი, Sika ViscoCrete, არგილითი, სილიკომანგანუმი, ბაზალტის ფიბრა. სტრუქტურული მოდელირება: FEM „ЛИРА®-САПР“ – სივრცითი მოდელი, სეისმური სპექტრული ანალიზი (ფოტო 3;



4).

(ფოტო 1)(ფოტო 2)



(ფოტო 3)(ფოტო 4)

ნაშრომი აქტუალურია თანამედროვე მშენებლობისთვის, ხელს უწყობს მსბ-ის დანერგვას საქართველოში, ეკონომიკური და ეკოლოგიური სარგებლით (ნარჩენების უტილიზაცია). შედეგები უზრუნველყოფს მაღალხარისხიან კონსტრუქციებს სეისმურ რეგიონში.

ნაშრომისსამეცნიეროსიახლე: ადგილობრივი პუცოლანის ვალიდაცია:

პირველად საქართველოში განხორციელდა ადგილობრივი აწარმო ნარჩენის – თერმოდამუშავებული არგილითის, როგორც აქტიური მინერალური მიკროშემსებების (პუცოლანური დანამატის) – კომპლექსური, სისტემურის ამშენებლო-ტექნიკური გამოკვლევა და ვალიდაცია. ექსპერიმენტულად დადასტურდა, რომ ცემენტის 10%-ის არგილითით ჩანაცვლებამ იღვარა მხოლოდ ძვირადღირებული კლინკერის ეკონომიას, არამედ, სინერგეტიკული ეფექტის (მიკროშემსებების ფიზიკური ეფექტი – ფორების ამოვსება და პუცოლანური ქიმიური რეაქცია – $Ca(OH)_2$ -ის შებოჭვა) ხარჯზე, უზრუნველყოფს იმ ტკიცის უნიკალურ, არატრივიალურმატებას (85,96 მპა-მდე), რაც მნიშვნელოვნად აღემატება როგორც საბაზო (51,71 მპა), ასევე მაღალეფექტიანის უპერპლასტიფიკატორით მიღწეულ (73,4 მპა) შედეგნილობების მაჩვენებლებს.

გამმლეობის უნიკალური მაჩვენებლები:

პირველად დადგინდა და დოკუმენტურად დადასტურდა ადგილობრივი მაღალმტკიც ენედლეულზე (მდ. ხრამის შემსებები) და არგილითის მიკროშემსებებზე დამზადებული მსბ-

ისუნიკალურისაექსპლუატაციომახასიათებლებიდაგამძლეობისპარამეტრები.

დადასტურდაუმაღლესიციწინვამედეგობა (F500 – 500

ციკლისშემდეგსიმტკიცისკლებამხოლოდ 1,80%, 5%-

იანიორმატიულიზღვრისფონზე)

დაპრაქტიკულადაბსოლუტურიწყალშეუღწევადობა (წყლისპენეტრაციისიღრმე

1–2 მმ, 0,8 მპაწნევისქვეშ 72 საათისგანმავლობაში). ესმონაცემები,

რომლებიცშეესაბამება W16–W20 მარკებს,

ხსნისახალპერსპექტივებსაღნიშნულიბეტონისგამოყენებისთვისგანსაკუთრებითაგ

რესიულგარემოშიმომუშავე (ჰიდროტექნიკური, საგზაო, სანაპირო) ნაგებობებში,

სადაცგამძლეობასიმტკიცეზეარანაკლებმნიშვნელოვანია.

„სეისმურიპარადოქსის“

რაოდენობრივიშეფასება:

პირველადჩატარდაადგილობრივნიღვეულზემიღებული B60 კლასისმსბ-

ისადატრადიციული B25 ბეტონისშედარებითისტრუქტურული FEM ანალიზი,

უშუალოდსაქართველოსსეისმურიორმებისკონტექსტში.

ანალიზმარაოდენობრივადშეაფასადაგამოავლინამსბ-

ისგამოყენებისკრიტიკულითავისებურება (ე.წ. „სეისმურიპარადოქსი“):

ერთისმხრივ,

სიმტკიცისადასიხისტისზრდაიწვევსსტრუქტურისსეისმურიმდგრადობის

(მზიდუნარიანობის) 30%-იანზრდას, თუმცა, მეორესმხრივ,

იწვევსმასალისდრეკადობისკრიტიკულშემცირებასდაზრდისმყიფე,

უეცარინგრევისრისკს,

რაცკატეგორიულადმიუღებელიასეისმომედეგიდაპროექტებისთანამედროვეფილ

ოსოფისთვის.

ესსამეცნიეროსიახლეფუნდამენტურიიაადგილობრივისაპროექტოპრაქტიკისთვის.

ოპტიმიზებულიადგილობრივიშედეგნილობები:

ნაშრომშიშემუშავდა,

ლაბორატორიულადდადასტურდადასტრუქტურულადგანალიზდა B40–B80

დიაპაზონისმაღლისიმტკიცისბეტონებისოპტიმალური,

ტექნოლოგიურიდაეკონომიკურადგამართლებულიშედეგნილობები

(რეცეპტურები),

რომლებიცსრულად

(ანმაქსიმალურად)

ეფუმნებასაქართველოსადგილობრივსანედლეულობაზას (რუსთავისცემენტი,
ხრამისლორდი, არგილითიდა/ანზესტაფონისმიკროკაჟმიწა).
ესამცირებსდამოკიდებულებასძვირადღირებულიიმპორტზე.

ნაშრომისძირითადიშინაარსი

სადისერტაციონაშრომისტრუქტურულადშედგებაშესავლის,
ოთხილოგიკურადდაკავშირებულითავის,
ძირითადიდასკვნებისადაპრაქტიკულირეკომენდაციებისგან,
გამოყენებულილიტერატურისვრცელიჩამონათვალისადადანართებისგან,
რომლებიცშეიცავსექსპერიმენტულიმონაცემებისამსახველფოტოებს,
ცხრილებსადადიაგრამებს.

შესავალში (ნაშრომისზოგადიდახასიათება)
დასაბუთებულიაკვლევისაქტუალობაგლობალურდალოკალურ (საქართველოს)
კონტექსტში,
მკაფიოდარისჩამოყალიბებულიკვლევისმთავარიმიზანიდამისმისაღწევადგადასაჭ
რელიამოცანები,
დეტალურადარისაღწერილინაშრომისსამეცნიეროსიახლედაკვლევისპრაქტიკული
ღირებულებასამშენებლოინდუსტრიისთვის.

პირველთავში – „ლიტერატურისმიმოხილვადაპრობლემისდასმა“ –
განალიზებულიამსბ-
ისგანვითარებისისტორიულიეტაპებიდათანამედროვეტენდენციები.
დეტალურადარისგანხილულიმსბ-ისტექნოლოგიისფუნდამენტურიასპექტები.

• ისტორიულიკონტექსტი: დაწყებული 1920-იანიწლებიდან (როდესაცაშშ-
სადაგერმანიაშილაბორატორიულადმიღებულიქნა 130–140
მპასიმტკიცისბეტონებისსტინარეგებისადაავტოკლავურიდამუშავებისგზით)

ვიდრე 1970-იან წლებამდე, როდესაც სუპერპლასტიფიკატორების (სპ) დამიკროკაჟმიწის (მკ) აღმოჩენამ რევოლუციამოახდინა ბეტონმცოდნეობაში და შესაძლებელი გახდა მაღალი სიმტკიცის და ამავე დროულად ტექნოლოგიური (ძვრადი) ნარეგების მიღება.

• ქიმიადაფიზიკა: დეტალურად არის განხილული ცემენტის ჰიდრატაციის პროცესები (ადულაბება, კოლოიდიზაცია, კრისტალიზაცია) და იმის გააზრება, რომ მსბ-ის ტექნოლოგია, ფაქტობრივად, წარმოადგენს სტრუქტურის ფორმირების მართვას მიკროდონეზე. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა გარდამავალისაკონტაქტოზონის (Interfacial Transition Zone - ITZ) ფენომენს – სუსტრგოლს ცემენტის ქვასა და შემცვლების მარცვალს შორის, რომელიც განაპირობებს ჩვეულებრივი ბეტონის სწრაფ მსბ-ის მთავარ საიდუმლოს წორედ ITZ-ის მოდიფიცირება და გამძლიერება (მიკროშემცვლების და დაბალი წ/ც-ის ხარჯზე), რის შედეგადაც სწრაფად ხდება არაკონტაქტურ ზონაში, არამედ უშუალოდ შემცვლების მარცვლის გახლეჩვით, რაც მოითხოვს გაცილებით მაღალ ენერჯიას.

• კომპონენტების როლი: გაანალიზებულია სუპერპლასტიფიკატორების (სპ) როლი, მათი კლასიფიკაცია (ნაფტალინფორმალდეჰიდები, მელამინფორმალდეჰიდები და თანამედროვე, ყველაზე ეფექტიანი პოლიკარბოქსილატები) დამოქმედების მექანიზმები (ელექტროსტატიკური განზიდვად ასტერიული ხელის შეშლა). სწორედ პოლიკარბოქსილატებმა გაახდეს შესაძლებელი წყალცემენტის ფარდობის (წ/ც) რადიკალურად შემცირება (0,24–0,28-მდე) დამალალი ძვრადობის, თვითშეკუმშვადი ბეტონის (თშბ - Self-Compacting Concrete, SCC) მიღება. ასევე, დეტალურად არის განხილული მიკროშემცვლებების (განსაკუთრებით მიკროკაჟმიწის) გავლენა, რომელიც მოიცავს ორმაგ: „ფიზიკურ“ (მაღალი დისპერსიულობის გამო ცემენტის მარცვლებს შორის არსებული მიკროფორე ბისმექანიკური ამოვსება, რაც ქმნის უკიდურესად მკვრივ სტრუქტურას) და „ქიმიურ“

(მაღალიპუცოლანურიექტიურობა, რისშედეგადაც SiO₂
რექციამშიშედისცემენტისჰიდრატაციისასგამოყოფილარასასურველ,
დაბალისიმტკიცისკრისტალურფაზასთან – პორტლანდიტთან (Ca(OH)₂) –
დაგარდაქმნისმასდამატებით,
მაღლისიმტკიცისდაამორფულკალციუმისჰიდროსილიკატებად (CSH გელი))
ეფექტებს.

• ადგილობრივიკვლევები:
განალიზებულიასაქართველოსტექნიკურუნვერსიტეტშიდასხვაკვლევითცენტრე
ბშიბოლოწლებშიჩატარებულიკვლევები (მაგ., ლ. ლოლადისნაშრომებითშბ-
ისრეოლოგიაზე, გ. ბუტიკაშვილისკვლევებიხისტსაგზაოსაფარებზე, ი.
გიორგაძისშრომები) ადგილობრივნედლეულზებეტონებისმილებისშესახებ.
ესანალიზიქმნისწინამდებარეკვლევისთეორიულბაზისდაამავდროულად,
გამოკვეთისამეცნიერონიშას (კერძოდ, ადგილობრივიპუცოლანების,
როგორცარგილითია, კომპლექსურიკვლევადამსბ-
ისსეისმურიქცევისსტრუქტურულიანალიზი),
რომელსაცწინამდებარედისერთაციიაავსებს.

მეორეთავში –
„კვლევისმეთოდოლოგიადაადგილობრივნედლეულისბაზისკვლევა (შედეგები)“
–
დეტალურადარისაღწერილიექსპერიმენტულისამუშაოებისდაკომპიუტერულიმო
დელირებისმეთოდიკა, გამოყენებულისტანდარტებიდააპარატურა
(როგორცესზემოთ, „მეთოდოლოგიის“ ნაწილშიააღწერილი).
თავისძირითადინაწილიეთმოზამსბ-
ისტვისპოტენციურიადგილობრივიმასალებისლაბორატორიულიკვლევისკონკრეტ
ულშედეგებს:

• ცემენტებისტესტირებისშედეგები:
წარმოდგენილიარუსთავისადაკასპისცემენტების (CEM I 42,5 R და CEM II 42,5 R)
ქიმიურიშემადგენლობისდეტალურიანალიზი (მაგ., SiO₂ 19.86–20.90%, Al₂O₃

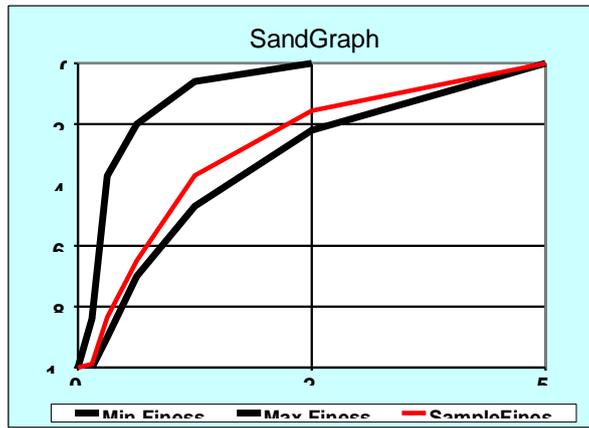
5.31–5.40%, Fe₂O₃ 3.25–3.56%, CaO 63.77–64.34%) დაფიზიკურ-მექანიკური თვისებები (დაფქვის სიწმინდე (ხორბო) 0,3–0,4%, კუთრიზედაპირი 4468–4532 სმ²/გ, შეკვრის ვადები 95–102 წთ (დასაწყისი) / 195–208 წთ (დასასრული)). 28-დღიანი სიმტკიცე (46.8–48.4 მპა), რომელიც აკმაყოფილებდა 42,5 კლასს, და 2-დღიანი სიმტკიცე (24.55–28.28 მპა), რომელიც ადასტურებდა R (Rapid Hardening) ტიპს, სრულად შეესაბამებოდა მსხ-ის მისაღებად საჭირო მოთხოვნებს.

რუსთავის	CEM	I	42,5	R
----------	-----	---	------	---

გამოირჩეოდა მაღალისტაბილურობით და შეირჩა ძირითად შემკვრელად.

შემკვებლების ტესტირების შედეგები: კვლევა მოიცავს მარნეულის ბაზალტის ადაკურსების გრანიტის ღორღის მახასიათებლებს, ასევე საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში (ახალციხე-ახალქალაქი, ზუგდიდი-მესტია, ფოთი-ბათუმი, ქუთაისი-ტყიბული, თელავი-ახმეტა, თბილისი-რუსთავი, მარნეული-დმანისი) მოქმედის ამსხვრევ-სახარისხებელის აწარმოების მიერ გამოშვებული ღორღის ადაქვიმის ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრებს.

მდინარე ხრამის აუზის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე ხრამის აუზის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები დეტალურად შემოწმდა შესაბამისი GOST და EN სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისათვის ღორღის ტენიანობა 0.9%-ს შეადგენდა (GOST 8269-87). ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის გამოყენებით (EN 1097-7) დადგინდა, რომ ნამდვილი სიმკვრივეა 2.71 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: GOST 8269-87-ის მიხედვით, ეს მაჩვენებელი 1.43 გ/სმ³-ია. ცარიელობა: ღორღში ცარიელობა 47.2% შეადგენს, გამოთვლილი GOST 8269-87-ის ფორმულით. მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა 0.42% იყო, რაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია სტანდარტით დასაშვებ ნორმაზე (1%) (GOST 8269-87). გრანულომეტრული შედგენილობა: EN 933-2 და GOST 8269-87 სტანდარტების შესაბამისად, ავტომატურ საცერზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ფრაქცია <5მმ-ზე 2.39%-ია, 5-10მმ – 41.27%, ხოლო 10-20მმ – 56.27%. მსხვრევადობის მაჩვენებელი: GOST 8269.0-97-ის მიხედვით, 10-20მმ ფრაქციის ღორღის მსხვრევადობა 7.05% შეადგენს. GOST 8267-93-ის ცხრილი 5-ის თანახმად,



ამ მაჩვენებელს ღორღის მარკა 1200 შეესაბამება. ყველა გამოკვლეული მახასიათებლის მიხედვით, მდინარე ხრამის აუზის ღორღით **B 80** კლასის ბეტონის დამზადება შესაძლებელია.

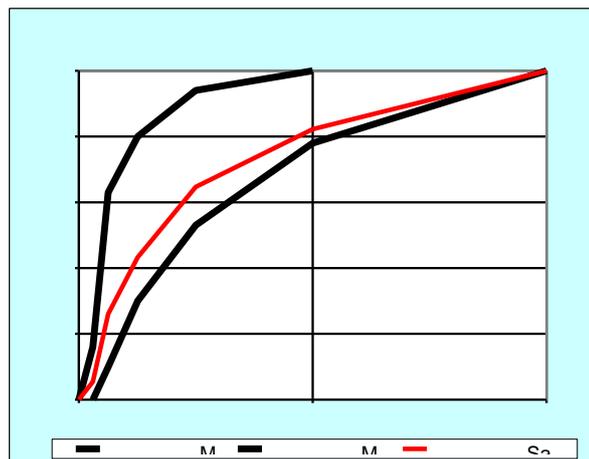
მდინარე ხრამის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე ხრამის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემოწმდა GOST 8735-88 და EN 1097-7/EN 933-2 სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ქვიშის ტენიანობა 5.6% შეადგენდა. ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით დადგინდა, რომ მისი სიმკვრივეა 2.61 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე 1.538 გ/სმ³-ია. ცარიელობა: ქვიშაში ცარიელობა 41.1% შეადგენს. მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ქვიშაში 1.6%-ია, რაც დასაშვებ ნორმაზე (3%) ნაკლებია. გრანულომეტრული შემადგენლობა: ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა (სრული ნარჩენები საცრებზე) ასეთია: 2.5მმ – 15.6%; 1.25მმ – 36.9%; 0.63მმ – 64.85%; 0.315მმ – 83.5%; 0.15მმ – 98.9%. სისხოს მოდული (M_s): ქვიშის სისხოს მოდული არის 3, რაც მას მსხვილი ქვიშების ჯგუფს მიაკუთვნებს. როგორც გაცრის გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდი მოთავსებულია შემოფარგლულ ზონაში, რაც მიუთითებს მის ვარგისიანობაზე გამოსაყენებლად.

(ფოტო 5) მდინარე ხრამის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

მდინარე იორის აუზის ქვიშა-ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე იორის აუზის ქვიშა-ღორღის ხარისხი შემოწმდა შესაბამისი სტანდარტების მიხედვით და შემდეგი შედეგები აჩვენა: ტენიანობა: გამოცდის

მომენტში ღორღის ტენიანობა 1.1%-ს შეადგენდა (GOST 8269-87). ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით (EN 1097-7) დადგინდა 2.67 გ/სმ³. ნაყარი სიმკვრივე: GOST 8269-87-ის მიხედვით, ეს მაჩვენებელი 1.40 გ/სმ³-ია. ფორიანობა და ცარიელობა: ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა 47.6% შეადგენს (GOST 8269-87). მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა 0.85% იყო, რაც დასაშვებ ნორმაზე (1%) ნაკლებია (GOST 8269-87). გრანულომეტრული შემადგენლობა: EN 933-2 და GOST 8269-87 სტანდარტების შესაბამისად, ავტომატურ საცერზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ღორღის უმსხვილესი ზომაა 19 მმ, ხოლო უმცირესი – 5.00 მმ. ეს შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად მსხვილი შემვსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. მსხვრევადობის მაჩვენებელი: GOST 8269.0-97-ის მიხედვით, 10-20მმ ფრაქციის ღორღის მსხვრევადობა 12.7% შეადგენს. GOST 8267-93-ის ცხრილი 5-ის თანახმად, ამ მაჩვენებელს ღორღის მარკა 800 შეესაბამება. გამოკვლეული მახასიათებლების საფუძველზე, მდინარე იორის აუზის ღორღით **B 50** კლასის ბეტონის დამზადებაა შესაძლებელი.

მდინარე რიონის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები - მდინარე



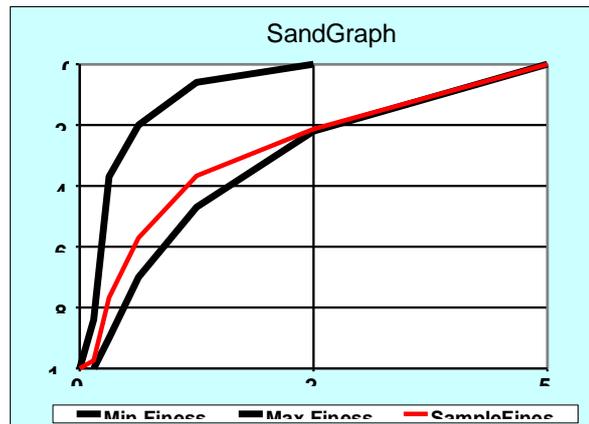
რიონის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემოწმდა GOST 8735-88 და EN 1097-7/EN 933-2 სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ქვიშის ტენიანობა 6.7% იყო. ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით დადგინდა, რომ მისი სიმკვრივეა 2.57 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე 1.52 გ/სმ³-ია. ცარიელობა: ქვიშაში ცარიელობა 40.9% შეადგენს. მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და

მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ქვიშაში 4.6%-ია. ეს მაჩვენებელი აღემატება სტანდარტით დასაშვებ ნორმას (3%), ამიტომ ქვიშა საჭიროებს გარეცხვას. გრანულომეტრული შემადგენლობა: ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა (სრული ნარჩენები საცერზე) ასეთია: 2.5მმ – 17.78%; 1.25მმ – 35.32%; 0.63მმ – 56.73%; 0.315მმ – 73.97%; 0.15მმ – 94.60%. სისხოს მოდული (M_s): ქვიშის სისხოს მოდული არის 2.78. გამოსაკვლევი ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0.63მმ საცერზე შეადგენს 56.73%-ს). როგორც გაცრის გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდი მთლიანად მოთავსდა შემოფარგლულ ზონაში. ეს იმაზე მეტყველებს, რომ საკვლევი ქვიშა იძლევა კარგ ურთიერთშევისებას და ვარგისია ბეტონების დასამზადებლად გარეცხვის შემდეგ.

(ფოტო 6) მდინარე რიონის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

მდინარე ლიახვის აუზის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე ლიახვის აუზში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემოწმდა შესაბამისი სტანდარტების (GOST და EN) მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ღორღის ტენიანობა 1.7%-ს შეადგენდა (GOST 8269-87). ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით (EN 1097-7) დადგინდა 2.66 გ/სმ³. ნაყარი სიმკვრივე: GOST 8269-87-ის მიხედვით, ეს მაჩვენებელი 1.41 გ/სმ³-ია. ფორიანობა და ცარიელობა: ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა 47%-ს შეადგენს (GOST 8269-87). მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა 0.88%-ია, რაც დასაშვებ ნორმაზე (1%) ნაკლებია (GOST 8269-87). გრანულომეტრული შემადგენლობა: EN 933-2 და GOST 8269-87 სტანდარტების შესაბამისად, ავტომატურ საცერზე (15D0410) ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ღორღის უმსხვილესი ზომა 19მმ-ია, ხოლო უმცირესი – 5მმ. ეს შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად მსხვილი შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. მსხვრევადობის მაჩვენებელი: GOST 8269.0-97-ის მიხედვით, 10-20მმ ფრაქციის ღორღის მსხვრევადობა 10.3%-ს შეადგენს. GOST 8267-93-ის ცხრილი 5-ის თანახმად, ამ მაჩვენებელს ღორღის მარკა 900 შეესაბამება. ყველა გამოკვლეული მახასიათებლის გათვალისწინებით,

მდინარე ლიახვის აუზის ღორღით B 50 კლასის ბეტონის დამზადებაა

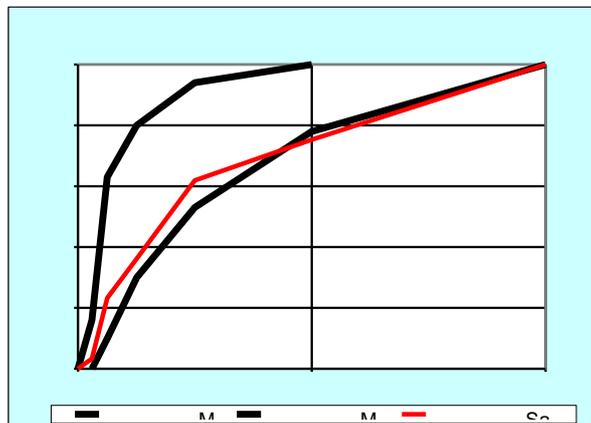


შესაძლებელი.

მდინარე ლიახვის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე ლიახვის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემოწმდა GOST 8735-88 და EN 1097-7/EN 939-2 სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ქვიშის ტენიანობა 5.2% აღმოჩნდა. ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით დადგინდა, რომ მისი სიმკვრივეა 2.63 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე 1.583 გ/სმ³-ია. ფორიანობა და ცარიელობა: ქვიშაში ფორიანობა და ცარიელობა 39.80% შეადგენს. მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ქვიშაში 2.63%-ია, რაც დასაშვებ ნორმაზე (3%) ნაკლებია. გრანულომეტრული შემადგენლობა: ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა (სრული ნარჩენები საცრებზე) ასეთია: 2.5მმ – 21.33%; 1.25მმ – 36.69%; 0.63მმ – 57.09%; 0.315მმ – 76.72%; 0.15მმ – 97.40%. სისხოს მოდული (M_{sm}): ქვიშის სისხოს მოდული არის 2.89. GOST 8736-93-ის მიხედვით, წარმოდგენილი ქვიშა სისხოს მოდულით (M_{sm}=2.89) მსხვილი ქვიშის კატეგორიას მიეკუთვნება. ასევე, მისი სრული ნარჩენი 0.63მმ საცრებზე (57.09%) და 0.15მმ-ზე გასული ნარჩენის რაოდენობა (ნაკლებია 2.6%<3%) მიუთითებს, რომ ის პირველი კლასის ქვიშაა. როგორც გაცრის გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდი მოთავსებულია შემოფარგლულ ზონაში, რაც ადასტურებს, რომ ქვიშა ვარგისია გამოსაყენებლად.

(ფოტო 7) მდინარე ლიახვის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

მდინარე არაგვის აუზის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - არაგვის აუზში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემოწმდა GOST და EN სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტში ღორღის ტენიანობა 0.9% შეადგენდა (GOST 8269-87). ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით (EN 1097-7) დადგინდა 2.71 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: GOST 8269-87-ის მიხედვით, ეს მაჩვენებელი 1.42 გ/სმ³ -ია. ფორიანობა და ცარიელობა: ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა 47.6% შეადგენს (GOST 8269-87). მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა 0.91% იყო, რაც დასაშვებ ნორმაზე (1%) ნაკლებია (GOST 8269-87). გრანულომეტრული შემადგენლობა: EN 933-2 და GOST 8269-87 სტანდარტების შესაბამისად, ავტომატურ საცერზე (15D0410) ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ღორღის უმსხვილესი ზომა 19მმ-ია, ხოლო უმცირესი - 6.30მმ. ეს შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონების მისაღებად მსხვილი შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. მსხვრევადობის მაჩვენებელი: GOST 8269.0-97-ის მიხედვით, 10-20მმ ფრაქციის ღორღის მსხვრევადობა 9.24% შეადგენს. GOST 8267-93-ის ცხრილი 5-ის თანახმად, ამ მაჩვენებელს ღორღის მარკა



1000 შეესაბამება. ყველა გამოკვლეული მახასიათებლის გათვალისწინებით, მდინარე არაგვის აუზის ღორღით **B 60** კლასისბეტონის დამზადებაა შესაძლებელი.

მდინარე არაგვის აუზისქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე არაგვის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემოწმდა GOST 8735-88 და EN 1097-7/EN 933-2 სტანდარტების მიხედვით:ტენიანობა: გამოცდის

მომენტისთვის ქვიშის ტენიანობა 4.65% იყო.ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით დადგინდა 2.59 გ/სმ³.ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე 1.508 გ/სმ³-ია.ცარიელობა: ქვიშაში ცარიელობა 41.8% შეადგენს.მინარეები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარეების შემცველობა ქვიშაში 2.3%-ია, რაც დასაშვებ ნორმაზე (3%) ნაკლებია, ამიტომ ქვიშა არ საჭიროებს გარეცხვას.გრანულომეტრული შემადგენლობა: ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა (სრული ნარჩენები საცრებზე) ასეთია: 2.5მმ – 24.73%; 1.25მმ – 38.12%; 0.63მმ – 63.84%; 0.315მმ – 76.75%; 0.15მმ – 96.70%.სისხოს მოდული (M_s): ქვიშის სისხოს მოდული არის 3.00.გამოსაკვლევი ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0.63მმ საცერზე შეადგენს 63.84%-ს).როგორც გაცრის გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდის გარკვეული ნაწილი ვერ მოთავსდა შემოფარგლულ ზონაში. ეს იმაზე მეტყველებს, რომ საკვლევი ქვიშა არ იძლევა კარგ ურთიერთშეესებას დაშედგენილობის კორექტირების გარეშე ნაკლებად ვარგისია ბეტონების დასამზადებლად.

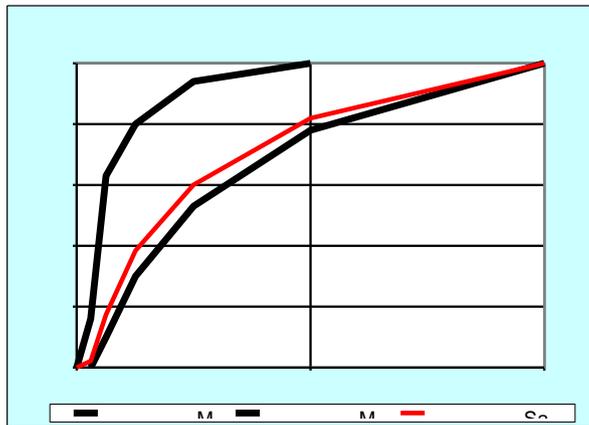
(ფოტო 8) მდინარე არაგვის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

მდინარე სუფსის აუზის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე სუფსის აუზში წარმოებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემოწმდა შესაბამისი GOST და EN სტანდარტების გამოყენებით, რამაც შემდეგი შედეგები აჩვენა: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ღორღის ტენიანობა 0.8% აღმოჩნდა (ГОСТ 8269-87). ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით (EN 1097-7) დადგინდა 2.72 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით, ეს მაჩვენებელი 1.395 გ/სმ³-ია. ფორიანობა და ცარიელობა: ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა 48.7% შეადგენს (ГОСТ 8269-87). მინარეები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარეების არსებობა ღორღში 0.87% შეადგენს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე (1%) (ГОСТ 8269-87). გრანულომეტრული შემადგენლობა: EN 933-2-ით და ГОСТ 8269-87-ის მოთხოვნების შესაბამისად ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგად, ღორღის უმსხვილესი ზომაა 19მმ, ხოლო უმცირესი – 6.3მმ. გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე

ბეტონებისთვის მსხვილი შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. მსხვრევადობის მაჩვენებელი: GOCT 8269.0-97-ის პუნქტი 4.8-ის მიხედვით, 10-20მმ ფრაქციის ღორღის მსხვრევადობა 8.45% შეადგენს. GOCT 8267-93-ის ცხრილი 5-ის თანახმად, ამ მაჩვენებელს ღორღის მარკა 1100 შეესაბამება. გამოკვლეული მახასიათებლების საფუძველზე, მდინარე სუფსის აუზის ღორღით **B 70** კლასის ბეტონის დამზადებაა შესაძლებელი.

მდინარე ხობისწყლის აუზის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე ხობისწყლის აუზში მოპოვებული ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემოწმდა შესაბამისი GOST და EN სტანდარტების მიხედვით, რამაც შემდეგი შედეგები აჩვენა: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ღორღის ტენიანობა 0.75% აღმოჩნდა (GOCT 8269-87). ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით (EN 1097-7) დადგინდა 2.69 გ/სმ³. მოცულობითი სიმკვრივე: GOCT 8269-87-ის მიხედვით, ეს მაჩვენებელი 1.373 გ/სმ³-ია. ფორიანობა და ცარიელობა: ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა 49% შეადგენს (GOCT 8269-87). მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ღორღში 0.88% შეადგენს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე (1%) (GOCT 8269-87). გრანულომეტრული შემადგენლობა: EN 933-2 და GOCT 8269-87 სტანდარტების შესაბამისად, ავტომატურ საცერზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ღორღის უმსხვილესი ზომა 19მმ-ია, ხოლო უმცირესი – 5.0მმ. გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონებისთვის მსხვილი შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. მსხვრევადობის მაჩვენებელი: GOCT 8269.0-97-ის პუნქტი 4.8-ის მიხედვით, 10-20მმ ფრაქციის ღორღის მსხვრევადობა 10.03% შეადგენს. GOCT 8267-93-ის ცხრილი 5-ის თანახმად, ამ მაჩვენებელს ღორღის მარკა 1000 შეესაბამება. გამოკვლეული მახასიათებლების საფუძველზე, მდინარე ხობისწყლის აუზის ღორღით **B 60** კლასის ბეტონის დამზადებაა შესაძლებელი.

მდინარე ხობისწყლის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები - მდინარე ხობისწყლის აუზში მოპოვებული ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემოწმდა GOST 8735-88 და EN 1097-7/EN 933-2 სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ქვიშის ტენიანობა 5.5% შეადგენდა. ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით დადგინდა, რომ მისი სიმკვრივეა 2.60 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე 1.513 გ/სმ³-ია. ცარიელობა: ქვიშაში ცარიელობა 41.8% შეადგენს. მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ქვიშაში 1.8%-ია, რაც დასაშვებ ნორმაზე (3%) ნაკლებია. ამიტომ, ქვიშა არ საჭიროებს დამატებით გარეცხვას. გრანულომეტრული შემადგენლობა: ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა (სრული ნარჩენები საცრებზე) ასეთია: 2.5მმ – 18.06%; 1.25მმ – 39.95%; 0.63მმ – 61.58%; 0.315მმ – 82.59%; 0.15მმ – 97.90%. სისხოს მოდული (M_s): ქვიშის სისხოს მოდული არის 3.00. გამოსაკვლევ ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0.63მმ საცრებზე შეადგენს 61.58%-ს). როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდი მთლიანად მოთავსდა შემოფარგლულ ზონაში. ეს იმაზე მეტყველებს, რომ საკვლევლაკი ქვიშა იძლევა კარგ

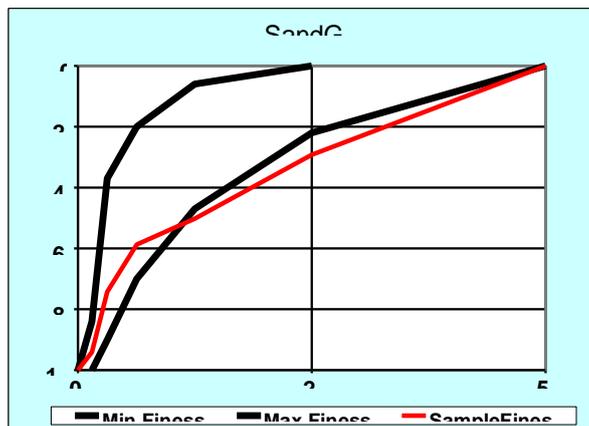


ურთიერთშეხვედრას და ვარგისია ბეტონების დასამზადებლად.

(ფოტო 9) მდინარე ხობისწყლის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

მარნეულის ბაზალტის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მარნეულის ბაზალტის ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემოწმდა შესაბამისი GOST და EN სტანდარტების მიხედვით, რამაც შემდეგი შედეგები

აჩვენა: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ღორღის ტენიანობა 0.5% აღმოჩნდა (ГОСТ 8269-87). ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით (EN 1097-7) დადგინდა 2.78 გ/სმ³. მოცულობითი სიმკვრივე: ГОСТ 8269-87-ის მიხედვით, ეს მაჩვენებელი 1.45 გ/სმ³-ია. ფორიანობა და ცარიელობა: ღორღის მარცვლების ფორიანობა და ცარიელობა 47.8% შეადგენს (ГОСТ 8269-87). მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ღორღში 0.55% შეადგენს, რაც ნაკლებია ნორმატიული დოკუმენტით დაშვებულ ნორმაზე (1%) (ГОСТ 8269-87). გრანულომეტრული შემადგენლობა: EN 933-2 და ГОСТ 8269-87 სტანდარტების შესაბამისად, ავტომატურ საცერზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ღორღის უმსხვილესი ზომა 19მმ-ია, ხოლო უმცირესი – 5.0მმ. გამოკვლეული ღორღის მარცვლოვანი შემადგენლობა აკმაყოფილებს მძიმე ბეტონებისთვის მსხვილი შემავსებლების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. მსხვრევადობის მაჩვენებელი: ГОСТ 8269.0-97-ის პუნქტი 4.8-ის მიხედვით, 10-20მმ ფრაქციის ღორღის მსხვრევადობა 8.5% შეადგენს. ГОСТ 8267-93-ის ცხრილი 5-ის თანახმად, ამ მაჩვენებელს ღორღის მარკა 1400 შეესაბამება. გამოკვლეული მახასიათებლების საფუძველზე, მარნეულის ბაზალტის ღორღით **B 80** კლასის ბეტონის დამზადებაა



შესაძლებელი.

მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემოწმდა GOST 8735-88 და EN 1097-7/EN 933-2 სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის

მომენტისთვის ქვიშის ტენიანობა 6.22% შეადგენდა. ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით დადგინდა, რომ მისი სიმკვრივეა 2.58 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე 1.515 გ/სმ³-ია. ცარიელობა: ქვიშაში ცარიელობა 41.3% შეადგენს. მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ქვიშაში 5.2%-ია. ეს მაჩვენებელი აღემატება სტანდარტით დასაშვებ ნორმას (3%)-ს, რაც მიუთითებს, რომ ქვიშა საჭიროებს გარეცხვას. გრანულომეტრული შემადგენლობა: ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა (სრული ნარჩენები საცრებზე) ასეთია: 2.5მმ – 23.28%; 1.25მმ – 38.85%; 0.63მმ – 59.20%; 0.315მმ – 74.80%; 0.15მმ – 94.48%. სისხოს მოდული (M_s): ქვიშის სისხოს მოდული არის 2.91, რაც მას მსხვილი ქვიშების ჯგუფს მიაკუთვნებს (ნარჩენი 0.63მმ საცერზე შეადგენს 59.2%-ს). როგორც გაცრის გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდის მცირე ნაწილი ვერ მოთავსდა შემოფარგლულ ზონაში, ამიტომ ქვიშის გრანულომეტრული შედგენილობა საჭიროებს მცირე კორექტირებას.

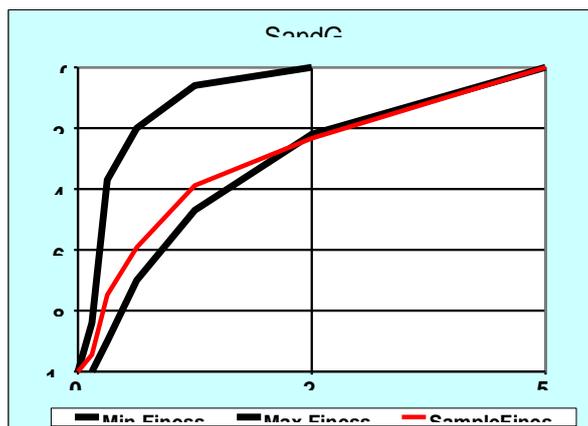
(ფოტო 10) მდინარე მტკვრის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

მდინარე ქსნის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები - მდინარე ქსნის აუზის ქვიშის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემოწმდა GOST 8735-88 და EN 1097-7/EN 933-2 სტანდარტების მიხედვით: ტენიანობა: გამოცდის მომენტისთვის ქვიშის ტენიანობა 3.8% აღმოჩნდა. ნამდვილი სიმკვრივე: პიკნომეტრის მეთოდით დადგინდა, რომ მისი სიმკვრივეა 2.56 გ/სმ³. ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე: ქვიშის ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე 1.523 გ/სმ³-ია. ცარიელობა: ქვიშაში ცარიელობა 40.5% შეადგენს. მინარევები: თიხოვანი, ლამისებრი და მტვრისებრი მინარევების შემცველობა ქვიშაში 5.4%-ია. ეს მაჩვენებელი აღემატება სტანდარტით დასაშვებ ნორმას (3%), რაც მიუთითებს, რომ ქვიშა საჭიროებს გარეცხვას. გრანულომეტრული შემადგენლობა: ქვიშის მარცვლოვანი შედგენილობა (სრული ნარჩენები საცრებზე) ასეთია: 2.5მმ – 29.2%; 1.25მმ – 50.23%; 0.63მმ – 58.73%; 0.315მმ – 74.22%; 0.15მმ – 94.1%. სისხოს მოდული (M_s): ქვიშის სისხოს მოდული არის 3.06. გამოსაკვლევი ქვიშა განეკუთვნება ე.წ. მსხვილი ქვიშების ჯგუფს (ნარჩენი 0.63მმ საცერზე შეადგენს 58.73%-ს). როგორც

გაცრის გრაფიკიდან ჩანს, ქვიშის გაცრის მრუდის მნიშვნელოვანი ნაწილი აცდა შემოფარგლულ ზონას. ეს მიანიშნებს, რომ საკვლევი ქვიშა არ იძლევა კარგ ურთიერთშევისებას და ნაკლებად ვარგისია ბეტონების დასამზადებლად მისი ამჟამინდელი სახით.

(ფოტო 11) მდინარე ქსნის აუზის ქვიშის გაცრის გრაფიკი

შედეგებმანათლადაჩვენამდ. ხრამისგაბრო-
 დიაბაზისლორდისუნიკალურიუპირატესობა: დაბალიწყალშთანთქმა ($W=0,9\%$),
 მაღალინამდვილისიმკვრივე ($\rho_n=2,71$ გ/სმ³), დაბალიფორიანობადასიცარიელე
 ($V=47,2\%$) და, რაცკრიტიკულადმთავარიამსბ-ისთვის,
 უკიდურესადდაბალიმსხვრევადობაცილინდრშიდაჭნეხვით (7,05%),
 რაცშეესაბამებაუმალესმარკას (1200). ამისფონზე, იორისლორდს (12,7%
 მსხვრევადობა, მარკა 800) დალიახვისლორდს (14,1%, მარკა 700)



გაცილებითდაბალიპოტენციალიაქვედამათიგამოყენება B60
 დამეტკლასისბეტონშიმიზანშეწონილიარარის, რადგანშემვსებიგახდება
 „სუსტირგოლი“. შესაბამისად,
 ძირითადკვლევებშიმაღალისიმტკიცისბეტონისთვისგამოყენებულიქნაექსკლუზი
 ურადხრამისლორდი.

მესამეთავი – „ექსპერიმენტულიკვლევები:
 არგილითითმოდვიცირებულიბეტონისშედგენილობადატესტირება“ –
 წარმოადგენსნაშრომისძირითადექსპერიმენტულბირთვის.

ამთავშიდეტალურადარისაღწერილი B40 კლასისბეტონისბაზაზე (მდ.
 ხობისწყლისადახრამისშემვსებლებზე) ჩატარებულიფუნდამენტურიკვლევა,

რომლისმთავარიმიზანიიყოთერმოდამუშავებულარგილითის,
როგორცაქტიურიმიკროშემვსების,
ეფექტიანობისდადგენადარაოდენობრივიშეფასება.

შედგენილობებისდაპროექტებადასიმტკიცისტესტირება: კვლევისამეტაპზე,
შედარებითიანალიზისთვის, შემუშავდა, მომზადდადაგამოიცადა (7 და 28
დღისასაკში) სამიპრინციპულადგანსხვავებულსერიისნიმუშები (კუბები
100×100×100 მმ):

სერია 1: საბაზოშედგენილობა (Baseline/Control):
დამზადდაყოველგვარიქიმიურითუმინერალურიდანამატისგარეშე,
ტრადიციულიდამაღალიწყალცემენტისფარდობით (წ/ც=0,6),
რაცდამახასიათებელიასაშუალოკლასისბეტონებისთვის. 28-
დღიანისიმტკიცისსაშუალომნიშვნელობამ (ცხრილი №33-ისმიხედვით) შეადგინა
51,71 მპა. ესშედგენიწარმოადგენდასაკონტროლონიშნულს,
რომელთანშედარებითაცუნდაშეფასებულიყოდანამატებისეფექტიანობა.

სერია 2: შედგენილობასუპერპლასტიფიკატორით (SP):
ამსერიაშიგამოყენებულიქნათანამედროვეპოლიკარბოქსილატურისუპერპლასტიფი-
კატორი Sika Viscocrete SF-18 (ცემენტისმასის 1%).
ამანშესაძლებელიგახდაბეტონისნარევისსაჭიროძვრადაობის (კონუსისჯდენა)
მიღწევაწყალცემენტისფარდობისრადიკალურიშემცირებით (წ/ც=0,38). 28-
დღიანისიმტკიცისსაშუალომნიშვნელობამიაღწია 73,4 მპა, რაც 42%-
ითაღმატებასაბაზოშედგენს.

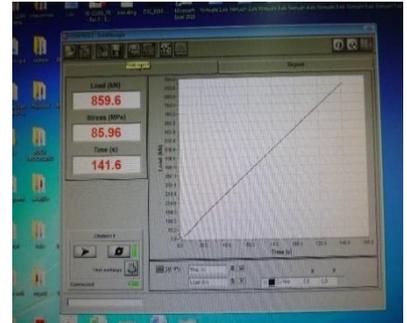
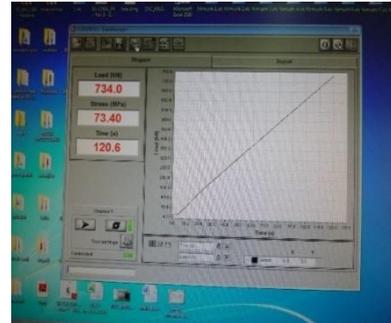
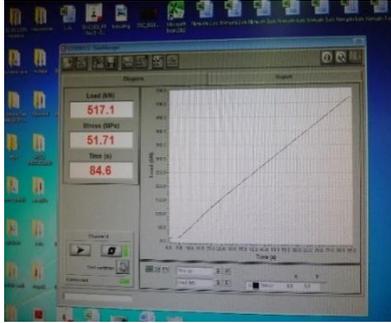
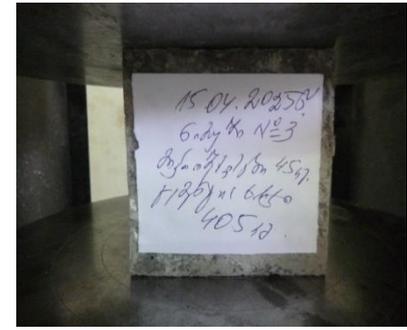
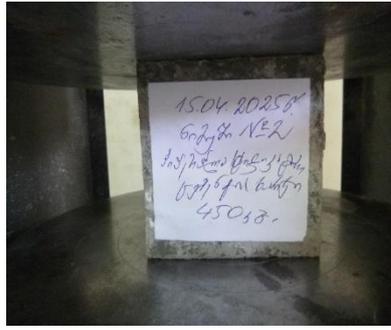
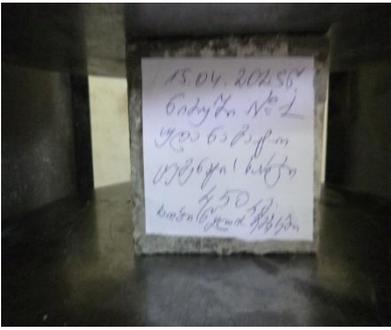
ესშედგენათლადადასტურებსბეტონმცოდნეობისფუნდამენტურპრინციპს
(აბრამსისკანონი): წ/ც-
ისშემცირებაპირდაპირდამკვეთრადზრდისბეტონისსიმტკიცესკაპილარულიფორი-
ანობისშემცირებისხარჯზე.

სერია 3: შედგენილობაარგილითით (Argillite-Modified): ესიყოკვლევისმთავარი,
ინოვაციურისერია. ამშედგენილობაში, ცემენტისსაერთოხარჯიშემცირებულიქნა
10%-ით (რაცწარმოადგენსეკონომიისდაეკოლოგიისფაქტორს).

დაკლებული ცემენტის ნაცვლად ბეტონის შედგენილობაში შეყვანილი ქნათერმოდამ უშავებელი არგილითის წვრილ დისპერსული მამოდიფიცირებელი დანამატი (მიკროშემვსება), ცემენტის მასის 10%-ის ოდენობით. 28-დღიანი სიმტკიცის საშუალო მნიშვნელობა მაჩვენებელია ზემოაღნიშნულიდან, ერთი მხედვით, პარადოქსული შედეგი — 85,96 მპა. დისკუსია (სიმტკიცე): მიღებული შედეგების (51,71 → 73,4 → 85,96 მპა) ანალიზი მაჩვენებს, რომ არგილითის 10%-იანი დანამატი მარამხოლოდ სრულად დააკომპენსირა ცემენტის 10%-იანი შემცირება (რაც თავისთავად უკვე წარმატება იქნებოდა), არამედ უზრუნველყო სიმტკიცის მნიშვნელოვანი დამატებითი მატება (დაახლოებით 17%-ით სუპერპლასტიფიკატორიან შედგენილობასთან შედარებითაც კი).

ეს ფენომენი აიხსნება არგილითის ორმაგი, სინერგეტიკული მოქმედებით: * ფიზიკური ეფექტი (Microfiller Effect): არგილითის წვრილი ნაწილაკები (ცემენტზე უფრო დისპერსიული)

მექანიკურად ვსებენ ცემენტის მარცვლებს შორის არსებულ სიცარიელებს და, რაც მთავარია, ამკვრივებენ სუსტ გარდამავალ საკონტაქტო ზონას (ITZ). * ქიმიური ეფექტი (Pozzolanic Reaction): თერმოდამ უშავების შედეგად არგილითი იძენს მაღალპუცოლანურ აქტიურობას. მისი ამორფული SiO₂ რეაგირებს ცემენტის ჰიდრატაციისას გამყოფილ „სუსტ“ დაარასასურველ კომპონენტთან – კრისტალურ პორტლანდიტთან (Ca(OH)₂) – და გარდაქმნის მას დამატებით, მაღალი სიმტკიცის კალციუმის ჰიდროსილიკატებად (CSH გელი), რომელიც ბეტონის სიმტკიცის მთავარი განმაპირობებელია.



(ფოტო 12 ... 17) ნიმუშების გამოცდის პროცესი და შედეგი

წყალშეუღწევადობის ტესტირება (EN 12390-8): კვლევისმეორეეტაპზე (ფოტო 18 ... 23), მდინარეხრამისშემდგომეზონებზედამზადებული მაღალმტკიცე (80+ მპა) არგილითიანი მიკროშემდგომებიანი ნიმუშები გამოიცა და წყალშეუღწევადობაზე.

CONTROLS-ის დანადგარზე 28 დღისასაკის 6 ნიმუში მოთავსდა 0,8 მპა (800 კპა, ანუ ≈ 8 ატმოსფერო) სიმძლავრის მუდმივი წყლის წნევის ქვეშ 72 (± 2) საათის განმავლობაში. შედეგები:

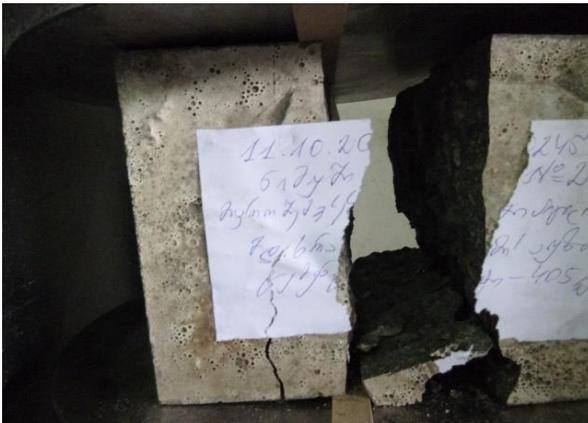
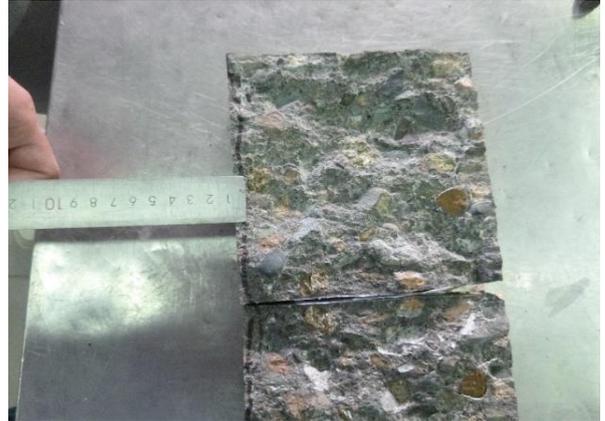
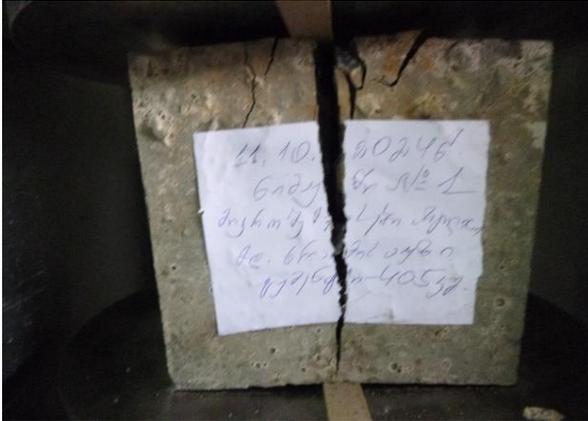
დროის ამოწურვის შემდეგ ნიმუშები გადმოღებული ქნა, დაუყოვნებლივ გაიხლიჩა და დაფიქსირდა წყლის პენეტრაციის მაქსიმალური სიღრმე, რომელმაც შეადგინა მხოლოდ 1–2 მმ. დისკუსია (წყალშეუღწევადობა): ეს შედეგი მიჩნეულია საუკეთესოდ და ფენომენალურად.

იგი მიუთითებს ბეტონის სტრუქტურის უკიდურესად დაბალ, პრაქტიკულად ნულზე ან კაპილარულ ფორიანობაზე და მაღალ სიმკვრივეზე.

არგილითიანი მიკროშემდგომები დაპუცოლანურ მარეაქციაში მოახდინა კაპილარული ფორების სეგმენტაცია და ბლოკირება,

რითაც შეიქმნა წყლის მიგრაციისთვის შეუღწევადი ბარიერი. ეს შედეგი (დეფაქტო, W16–W20 მარკის შესაბამისი)

ათეულობით ჯერაღმატება ყველაზე მკაცრ ევროპულ ნორმებსაც კი (შედარებისთვის, გერმანულის ტანდარტი თბილისის მუშაობისთვის 50 მმ).



(ფოტო 18 ... 23) წყალმულწევადობის ტესტირება

ყინვამედეგობის ტესტირება (ГОСТ 10060.1-95): მესამე ეტაპზე, იგივე მაღალმტკიცე არგილითიანი ნიმუშები (მდ. ხრამის შემგებებზე) გამოიყენება ყინვამედეგობაზე, ყველაზე მაკრო, საბაზომეთოდით (რომელიც ითვალისწინებს არასუბიექტურ ვიზუალურ და თვალისწინებებს სასწრაფო დასაწყის კვლევას, არამედ სიმტკიცის სუბიექტურ კვლევას).

საბაზოსიმტკიცისდადგენა (ციკლებამდე): 6 ცალისაკონტროლო (საბაზო) ნიმუშიგამოიცადაკუმშვაზე. ΓOCT 10180-90-ისმოთხონით, 100 მმ-იანიკუბებისთვისშემასწორებელიკოეფიციენტის (0,95) გათვალისწინებით, საბაზოსიმტკიცისსაშუალომნიშვნელობამშეადგინა 81,26 მპა.

გაყინვა-გალღობისციკლები: 12 ძირითადინიმუში („ტყუპისცალი“) მოთავსდა CONTROLS-ისკლიმატურკამერაში, სადაცწყლითგაქლენთილმდგომარეობაშიგაიარაგაყინვა-გალღობის 500 ციკლი (ტემპერატურულირეჟიმი +20°C-დან -20°C-მდედაუკან).

საბოლოოსიმტკიცისდადგენა (500 ციკლისშემდეგ): 500 ციკლისგავლისშემდეგინიმუშებიგადმოიღეს, გალღვადაკვლავგამოიცადაკუმშვაზე. მათისაშუალოსიმტკიცე (კვლავ 0,95 კოეფიციენტისგათვალისწინებით) დაფიქსირდა 79,80 მპა. შედეგებიდადისკუსია (ყინვამედეგობა): ΓOCT 10060.1-95-ისპუნქტი 7.1-ისმიხედვით,

ყინვამედეგობისმარკადგინდებაციკლებისრაოდენობით, რომლისშემდეგაცსიმტკიცისკლებაარაღემატება 5%-ს.

ჩატარებულექსპერიმენტისიმტკიცისფაქტობრივმაკლებამშეადგინა:

$[(81,26-79,80)/81,26] \times 100 = 1,80\%$. ვინაიდანფაქტობრივიკლება (1,80%)

არსებითადდამნიშვნელოვნად (თითქმის 3-ჯერ)

ნაკლებიდასაშვებნორმატიულზღვარზე (5%), ესუტყუარადადასტურებს, რომარგილითითმოდოფიცირებულმაბეტონისნიმუშებმაწარმატებითდაპრაქტიკუ



ლადუდანაკარგოდგაუმღესგაყინვა-გალღობის 500 ციკლს.

ესფენომენალურიშედეგი (F500)

ახსნებაბეტონისუკიდურესადმკვრივისტრუქტურით,
დახურულიფორიანობითდაწყლისთვისკრიტიკულიგაჯერებისდაბალიხარისხით,
რისგამოცყინვისდესტრუქციულიჰიდრავლიკურიწნევაფორებშიუბრალოდვერვი
თარდება.

(ფოტო 24) ყინვამედეგობის გამოსაცდელი აპარატი - „CONTROLS ADVANTEST“

მეოთხე თავი – „B60 და B25
ბეტონებისშედარებითისტრუქტურულიანალიზისეისმურპირობებში (FEM)“ –
ემღვნებაკვლევისპრაქტიკულ, საინჟინროდამაგვირგვინებელნაწილს. ამეტაპზე,
მესამეთავშიმიღებულიპოზიტიურილაბორატორიულიშედეგების
(მაღალისიმტკიცე B60 დაგამძლეობა F500/W16+)
პრაქტიკულიგამოყენებისმიზანშეწონილობისადა, რაცმთავარია,
უსაფრთხოებისშესაფასებლად,
ჩატარდამრავალსართულიანიშენობისსტრუქტურულიანალიზი „ЛИРА®-САПР“-
ში. შეიქმნარეალურიპროექტისიდენტურიორისივრცითისასრულ-
ელემენტებიანიმოდელი,
სადაცერთადერთიცვლადიიყოგამოყენებულიბეტონისკლასიდანისიმესაბამისიფი-
ზიკურ-მექანიკურიმახასიათებლები (კერძოდ, სიმტკიცე Rb
დაელასტიურობისმოდული Eb):

მოდელი 1 (საკონტროლო): შენობასრულადშესრულებულიტრადიციული B25
კლასისბეტონით (ნორმატიულისიმტკიცე ≈30 მპა, ელასტიურობისმოდული
Eb=30,000 მპა).

მოდელი 2 (საკვლევი):
შენობაშესრულებულიადგილობრივნივდლეულზემიღებული B60 კლასისბეტონით
(ნორმატიულისიმტკიცე ≈80 მპა, ელასტიურობისმოდული Eb=40,000 მპა).
არმატურაორივემოდელშიმიღებულიქნა A500 კლასის.
ანალიზიჩატარდაყველაშესაძლოდატვირთვისკომბინაციაზე, მათშორისმუდმივ

(საკუთარიწონა), დროებით (საექსპლუატაციო) დაგანსაკუთრებულ (სეისმურ) დატვირთვებზესაქართველოსნორმების (SNIp 2.01.07-85) შესაბამისად.

შედეგი 1 (სიმტკიცედაეკონომიურობა): B60-
ისმაღალმასიმტკიცემშესაძლებელიგახადამზიდიელემენტების
(განსაკუთრებითქვედასართულებისძლიერადდატვირთულისვეტების)
განივიგანყოფილებისოპტიმიზაციადაშემცირებასაშუალოდ 15%-ით, B25-
თანშედარებით, იგივემზიდუნარიანობისშენარჩუნებისპირობებში. მაგალითად,
B25-ისპირობითი 800×800 მმსვეტიშესაძლოაჩანაცვლდეს B60-ის 700×700
მმსვეტით. ესიწვევსმასალის (ბეტონი, არმატურა) პირდაპირდანახარჯს,
შენობისსაერთოწონისადაინერციულისეისმურიძალებისშემცირებასდასაძირკველ
ზედატვირთვისკლებას. ტექნიკურ-ეკონომიკურმაანალიზმა,
ამფაქტორებისდამშენებლობისაჩქარებისგათვალისწინებით,
აჩვენაგრძელვადიანპერსპექტივაშიჯამურისამშენებლობარჯების 15-20%-
იანიდაზოგვისრეალურიპოტენციალი.

შედეგი 2 (დეფორმაციებიდასაექსპლუატაციოვარგისობა): B60-
ისმნიშვნელოვნადმაღალიელასტიურობისმოდულის ($E_b=40,000$ მპა B25-ის 30,000
მპა-სწინააღმდეგ) ხარჯზე, B60
მოდელშისტრუქტურულიგადაადგილებებიდასართულთაშორისიძვრებისაექსპლ
უატაციო (მაგ., ქარის) დატვირთვებისასდაახლოებით 20%-ითნაკლებიაღმოჩნდა
B25-ისმოდელთანშედარებით. ესმიუთითებსშენობისგაზრდილსიხისტეზე,
რაცაუმჯობესებსმისსაექსპლუატაციოვარგისობას (Serviceability),
ამცირებსრყევებსდაიცავსარამზიდკონსტრუქციებს (ტიხრები, ფასადები)
დაზიანებისგან.

შედეგი 3 (სეისმურიმდგრადობადაკრიტიკულიდრეკადობისპრობლემა):
სეისმურიდატვირთვის (SNIp-ისმიხედვით) სცენარისანალიზმააჩვენა, რომ B60
კლასისბეტონისგამოყენებამ 30%-ითგაზარდასტრუქტურისსეისმურიმდგრადობა
(შეამცირანგრევისალბათობადადაზიანებისხარისხი) B25-თანშედარებით,
რაცლოგიკურადგამომდინარეობსმისიმაღლისიმტკიცეიდან. o თუმცა,

კვლევამ დასტურებულა, რომ სარაწრფივმა ანალიზმა გამოავლინა დარაოდენობრივად და დასტურა ფუნდამენტური დილემა, „სეისმური პარადოქსი“: o B25 (დრეკადი): B25 კლასის ბეტონი, თავისი შედარებით დაბალი სიმტკიცით, ხასიათდება ბევრად უფრო მაღალი დრეკადობით (პლასტიკურობით).

სეისმური ზემოქმედებისას, B25 კონსტრუქცია განიცდის მნიშვნელოვან პლასტიკურ დეფორმაციებს, ყალიბდება პლასტიკური სახსრები (ძირითადად კოჭების ბოლოებში), რაც მას ბუნებრივად უნარიანს ხდის „შეიწოვოს“ (განიბნოს) სეისმური ენერჯია დეფორმაციების გზით და განიცადოს დრეკადი (Ductile) ნგრევა, რაც აძლევს ადამიანებს ევაკუაციის დროს. o B60 (მყიფე): B60 ბეტონი, მიუხედავად უპირატესი სიმტკიცისა, ბევრჯერ უფრო მყიფეა (ნაკლებად დრეკადი). მისი დეფორმაციული რესურსი ამოწურვამდე გაცილებით მცირეა.

სეისმური ზემოქმედებისას, B60 კონსტრუქცია უფრო დიდ ხანს მუშაობს ელასტიკურად, მაგრამ პიკური დატვირთვისას, პლასტიკური დეფორმაციის რესურსის ამოწურვის შემდეგ, იგი მიდრეკილია უეცარი, კატასტროფული დამყიფე (Brittle) ნგრევისკენ (მაგ., სვეტებში აფეთქებითი ან დიაგონალური, ბეტონის მყიფე დაშლა), რაც კატეგორიულად მიუღებელია სეისმომედეგი დაპროექტების თანამედროვე ილ ოსოფიისთვის.

დასკვნა (მოდელოება): B60-ის მაღალი სიმტკიცე იძლევა უნიკალურ კონსტრუქციულ და ეკონომიკურ უპირატესობებს, მაგრამ სეისმურ ზონებში (როგორც საქართველო) მისი უსაფრთხო და ეფექტიანი გამოყენება მოითხოვს დრეკადობის ამკრიტიკული დე ფიციტის აუცილებელ კომპენსირებას. ნაშრომი რეკომენდაციას უწევს B60-ის გამოყენებას არარეგულაციული ბეტონის პირდაპირ შემცვლელს, არამედ მხოლოდ თანამედროვე, სპეციალურ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებთან კომბინაციაში. ასეთი გადაწყვეტებია, მაგალითად (იაპონიის გამოცდილების მსგავსად), სეისმური იზოლაციის სისტემები (ბაზისური იზოლაციის რეზინის საკისრებით, რომლებიც „ა decouple-ებს“

შენობას გრუნტის მოძრაობისგან)

და ენერჯის დამატებითი მოთხოვნის სპეციალური მოწყობილობები

(დემპფერები – ზეთოვანი, ფრიქციული და ა.შ.),

რომლებიც სტრუქტურას იცავენ დამსბ-სსაშუალებას აძლევენ,

იმუშაონ თავიანთი სიმტკიცის მაღალ დიაპაზონში მიყიფენ გრევა მდემის ვლის გარეშე,

რაც ზრდის უსაფრთხოებას.

ძირითადი დასკვნები დარეკომენდაციები

1. ჩატარებული კომპლექსური კვლევების შედეგად, ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე შემუშავდა მაღალი სიმტკიცის (B60-B80 კლასის) ბეტონების მიღების ტექნოლოგიური რეგლამენტი, რითაც გადაწყდა საქართველოს სამშენებლო ინდუსტრიისთვის სტრატეგიული მნიშვნელობის ამოცანა — ძვირადღირებული იმპორტირებული დანამატების ადგილობრივი მასალებით ჩანაცვლება და ეკონომიკურად ეფექტური რეცეპტურის შექმნა.

2. საქართველოს ძირითადი მდინარის აუზებისა და კარიერების შესწავლის საფუძველზე დადგინდა, რომ მარნეულის ბაზალტი, მიუხედავად შესანიშნავი ფიზიკურ-მექანიკური

მახასიათებლებისა, არარენტაბელულის ბეტონის ინდუსტრიული წარმოებისთვის მისი მაღალი საბაზრო ღირებულების გამო, რაც განპირობებულია დეკორატიულ მასალებზე არსებული მოთხოვნით.

3. გრანულომეტრიული შემადგენლობის შედარებითი ანალიზით დასაბუთდა, რომ საქართველოს რამდენიმე მდინარის აუზის ინერტული მასალები (ქვიშა, ღორღი) გამოკვლეული ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები იძლევა მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მინიმალური დანახარჯებით მიღების შესაძლებლობას. მარცვლებს შორის მინიმალური ცარიელობა კი უზრუნველყოფს ცემენტის ცომის ეკონომიას და ბეტონის სიმკვრივის ზრდას.

4. ადგილობრივი „კასპის“ პორტლანდცემენტის (CEM I 52.5 N), ხრამის ინერტული მასალების და პოლიკარბოქსილატური სუპერპლასტიფიკატორების გამოყენებით, წყალ-ცემენტის ფარდობის 0.28-0.33 დიაპაზონში, მიღებულია B60, B70 და B80 კლასის ბეტონები, რომლებიც ხასიათდება სიმტკიცის ზრდის დაჩქარებული კინეტიკით ადრეულ ასაკში.

5. ექსპერიმენტული კვლევებით დაზუსტდა პრიზმული და კუბური სიმტკიცეების თანაფარდობა (R_{pr}/R_{cub}) ადგილობრივი მასალებზე დამზადებული მაღალსიმტკიცის ბეტონებისთვის. დადგინდა, რომ ეს კოეფიციენტი იზრდება 0.85-0.90 ნიშნულამდე (ნაცვლად ტრადიციული 0.70-0.75-ისა), რაც მიუთითებს კონსტრუქციის მზიდი უნარის მაღალ რეზერვზე და ბეტონის ეფექტიან მუშაობაზე პრიზმულ პირობებში.

6. გამოვლენილია მაღალი სიმტკიცის ბეტონის კრიტიკული თავისებურება — გაზრდილი სიმყიფე და ზღვრული დეფორმაციების მკვეთრი შემცირება რღვევის მომენტში. სეისმურად აქტიურ ზონებში დაუშვებელია ტრადიციული ბეტონის მექანიკური ჩანაცვლება მაღალი სიმტკიცის ბეტონით საპროექტო სქემების კორექტირების (სეისმური იზოლაცია, დისპერსიული არმირება) გარეშე, რათა თავიდან იქნეს აცილებული კონსტრუქციის „აფეთქებისებრი“ რღვევა.

7. მიღებული ბეტონები ხასიათდება მაღალი საექსპლუატაციო თვისებებით: წყალშეუღწევადობა შეადგენს W12-W16-ს, ხოლო ყინვამედეგობა — F400-F500-ს. აღნიშნული მაჩვენებლები ადასტურებს მასალის ვარგისიანობას აგრესიულ გარემოში მომუშავე ჰიდროტექნიკური ნაგებობების, ხიდებისა და გვირაბების მშენებლობისთვის.

8. ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის შედეგად დადასტურდა, რომ ადგილობრივი რესურსების გამოყენება 15-20%-ით ამცირებს 1 კუბური მეტრი მაღალი სიმტკიცის ბეტონის თვითღირებულებას იმპორტირებულ ანალოგების გამოყენებით მიღებულ მსბთან შედარებით, რაც ქმნის მყარ საფუძველს შემუშავებული ტექნოლოგიის მასობრივი დანერგვისთვის.

სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ პუბლიკაციებში:

1. ტურმელაძე მ., ფეიქრიშვილი ა., „მდგენელების ხარისხისა და დოზირების გავლენა ბეტონის ნარევის და გამარებული ბეტონის თვისებებზე“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, №1(109), 2024.

2. Peikrishvili A., "High-Strength Concrete Composition Design: Current Trends", Journal "Building" (Construction), №1(71), 2025.

3. ფეიქრიშვილი ა., „მაღალი სიმტკიცის ბეტონის მიღება ადგილობრივი მიკროდისპერსული დანამატების გამოყენებით“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, №1(114), 2026.

4. Peikrishvili A., "Obtaining High-strength Concrete Using Local Microdispersed Additives", Scientific-Technical Journal "Building", 2025

Investigation of Physical-Mechanical Properties of High-Strength Concrete Based on Local Raw Materials

Abstract

The dissertation “Investigation of the Physical and Mechanical Properties of High-Strength Concrete Produced from Local Raw Materials” presents a comprehensive study on the development and implementation of high-strength concrete (HSC) using Georgian raw materials. The research aims to determine the feasibility of producing HSC locally, optimize its composition and technological parameters, and analyze its physical, mechanical, and structural behavior under Georgia’s construction and seismic conditions. Modern construction increasingly relies on HSC to achieve stronger, lighter, and more durable structures while reducing material and energy consumption. The study establishes that Georgia’s diverse geological base provides all necessary resources for producing HSC competitively and sustainably. The investigated materials include local cements (CEM I/II from Rustavi and Kaspi), aggregates from various river basins (Khrami, Liakhvi, Iori, etc.), and pozzolanic additives such as thermally treated argillite and Zestaponi microsilica. The theoretical section outlines the evolution of HSC technologies, highlighting the key factors determining performance: high cement activity, low water-to-cement ratio (0.25–0.35), and the inclusion of active micro-additives. A detailed microstructural analysis explains how HSC achieves superior density and strength by modifying the interfacial transition zone (ITZ) through microfiller and pozzolanic effects. Methodologically, the research integrates international and regional standards (EN,

ASTM, GOST, ACI) and combines laboratory testing with finite element modeling (FEM) using LIRA®-SAPR. Experiments included compressive strength, permeability, and frost resistance tests, as well as microstructural observations and rheological studies. Results demonstrated that the gabbro-dabase gravel from the Khrami River basin offers optimal aggregate characteristics: high density (2.71 g/cm³), low porosity (47.2%), and minimal crushing index (7.05%), enabling concrete strengths up to B80 class. Among sands, Khrami and Liakhvi samples met all EN 933-2 grading requirements. Three series of concrete mixes were designed. The control mix (W/C = 0.6) achieved 51.7 MPa; a mix with superplasticizer (Sika Viscocrete SF-18) reached 73.4 MPa. The most significant result was obtained by replacing 10% of cement with thermally treated argillite — the compressive strength rose to 85.96 MPa, confirming a strong synergistic effect from both microfilling and pozzolanic reactions. Durability testing showed exceptional results: water penetration depth was only 1–2 mm under 0.8 MPa pressure for 72 hours (EN 12390-8), while frost resistance after 500 freeze-thaw cycles caused only a 1.8% strength reduction, corresponding to F500 class. These findings demonstrate extremely low permeability and high structural stability. Structural modeling of multi-story buildings indicated that using B60 HSC increases load-bearing capacity by about 30% compared to B25 concrete. However, the analysis also revealed a “seismic paradox” — greater stiffness reduces ductility, increasing the risk of brittle failure. This underscores the need for special design approaches for HSC in seismic regions. The scientific contributions include: (1) validation of thermally treated argillite as an effective local pozzolan; (2) experimental confirmation of exceptional durability parameters (W16–W20, F500); (3) first FEM-based seismic modeling of locally produced HSC; and (4) development of optimized, economically viable mix designs (B40–B80) based entirely on Georgian materials.

In conclusion, the study proves that Georgia possesses the technical and resource base to produce high-strength, eco-efficient, and cost-effective concrete. The results form a scientific and practical foundation for implementing HSC in the national construction industry, supporting sustainable development and enhancing seismic resilience.